

# Tesis doctoral

## Elaboración de zumos pasteurizados mediante tratamiento térmico convencional y calentamiento óhmico a partir de zanahoria de descartes

Livia María Negri Rodríguez

2021





# TESIS DOCTORAL

Año 2021

**ELABORACIÓN DE ZUMOS  
PASTEURIZADOS MEDIANTE  
TRATAMIENTO TÉRMICO CONVENCIONAL  
Y CALENTAMIENTO ÓHMICO A PARTIR DE  
ZANAHORIA DE DESCARTES**

**LIVIA MARÍA NEGRI RODRÍGUEZ**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**DIRECTORA: DRA. NORA AIMARETTI**

**CODIRECTORAS: DRA. NATALIA SZERMAN**

**DRA. MARÍA LUISA ROJAS CERVANTES**





"(...) la verdadera prosperidad de un pueblo, como la verdadera nobleza de los individuos, está basada en la educación. No necesito señalar su penetración y cuáles son los obstáculos a la difusión de la enseñanza. Se quiere al país sumido en la ignorancia para dominarlo mejor".

Juana P. Manso (1819 -1875)

Dedicado a mis hijos, Juana y Bautista





Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación



**Dña. Nora Rosa AIMARETTI**, Investigadora de la Agencia de Extensión Rural Monte Vera del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), **Dña. Natalia SZERMAN**, Investigadora del Instituto Tecnología de Alimentos del INTA y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y **Dña. María Luisa ROJAS CERVANTES**, Catedrática de Química Inorgánica de la UNED,

#### **INFORMAN:**

Que **Dña. Livia M. Negri Rodríguez** ha realizado su Tesis Doctoral en el en el Instituto Tecnología de Alimentos, del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA), perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina. Parte de los estudios fueron realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires de Argentina.

Durante la realización de esta tesis, Dña. Livia Negri Rodríguez se ha mostrado como una doctoranda responsable, interesada por su trabajo y ha demostrado en todo momento su interés y buen hacer. Es una investigadora en formación de trato amable con todos los grupos de trabajo con los que ha compartido laboratorios y equipos.

Su formación está avalada por la presentación de los resultados obtenidos en la 5ª Jornada de Actualización Técnica (JAT 2019), celebradas en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; en la decimoquinta edición del Concurso nacional de Innovaciones INNOVAR 2019, en Argentina, siendo seleccionado su proyecto para la publicación en el catálogo INNOVAR 2019; así como por la publicación del siguiente artículo científico (categoría Q1) :

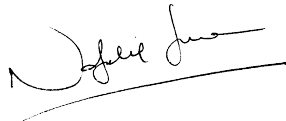
- Livia M. Negri Rodríguez, Ricardo Arias, Trinidad Soteras, Ana Sancho, Natalia Pesquero, Luciana Rossetti, Hernán Tacca, Nora Aimaretti, María Luisa Rojas Cervantes, Natalia Szerman. “Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment”, LWT-Food Science and Technology 145 (2021) 111255-1 a 111255-9.

Por todo ello, informamos que esta Tesis Doctoral, titulada **“Elaboración de zumos pasteurizados mediante tratamiento térmico convencional y calentamiento óhmico a partir de zanahoria de descartes”**, realizada por Dña. Livia M. Negri Rodríguez bajo nuestra dirección, reúne todos los requisitos, por lo que autorizamos su presentación y posterior defensa pública.

Firmado a 10 de junio de 2021



Nora Rosa Aimaretti



Natalia Szerman

María Luisa Rojas  
Cervantes

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Educación a Distancia, que me permitió formarme con un alto nivel académico.

A las autoridades, personal técnico y administrativo del ITA-INTA Castelar (Argentina).

A mis directoras Nora, Natalia y María Luisa, tres grandes profesionales y tres grandes mujeres. Por haber confiado en mí, por brindarme todo su apoyo, por ayudarme a mejorar y por la paciencia inmensa. Fue un placer realizar la Tesis con ustedes.

A Gabriela Denoya, por su invaluable ayuda, su generosidad en compartir sus conocimientos.

A Luciana Rossetti y Natalia Pesquero, gracias por la colaboración y las respuestas a todas mis insistentes preguntas.

A Trinidad Soterias, una profesional que me dio con toda generosidad su ayuda y conocimiento y una persona imprescindible.

A mis queridísimos compañeros y amigos de área: Leandro, Rafael y Manuela. Cada día no sería el mismo sin Uds.

A Patricia Benedetti, incondicional compañera de todos nuestros trabajos.

A Claudio Sanow, gracias por colaborar en los ensayos. Siempre con excelente predisposición.

A Ana Sancho por su ayuda en los análisis estadísticos.

A Mariana Pelypenko, gracias por hacer más ameno este trabajo.

A mis compañeros del Instituto Tecnología de Alimentos, porque de una u otra manera me ayudaron en este trabajo.

A Vati, mi hermana. Por estar siempre a mi lado, por demostrarme su amor incondicional y ser ejemplo de una lucha incansable. Por ser mi mejor amiga.

A Juana y Bautista. Porque son mi vida y porque los amo con todo el corazón. Por ser mi cable a tierra, por regalarme el amor más puro y sincero.

A Federico, quien siempre me apoyó y ayudó.

A César, mi padre. Por marcarme el rumbo en la vida y estar ahí.

A Mauro. Porque entendiste el desafío que implicaba este camino, por bancarme, por acompañarme y estimularme a nuevos desafíos. Gracias.

A todos, los que, sin ser mi intención, me olvidé de mencionar.

## RESUMEN

En la horticultura y sus industrias derivadas, uno de los principales problemas es la importante cantidad de desechos y subproductos, que suelen ser descartados o subutilizados. En este contexto, los descartes de zanahoria (*Daucus carota L.*), una de las hortalizas más populares con producción mundial, pueden utilizarse para producir zumo. El zumo de zanahoria tiene un alto valor comercial por sus propiedades nutricionales asociadas al contenido de carotenos, fuente de provitamina A, y al potencial antioxidante debido al contenido de compuestos fenólicos, entre otras; pero su vida útil es muy corta si no es pasteurizado. El calentamiento óhmico (CO) podría ser una alternativa para la pasteurización del zumo ya que, a diferencia de los tratamientos térmicos convencionales (TC), no alteraría los componentes de alto valor nutricional ni las características sensoriales del alimento, por sus condiciones de proceso. En función de ello, el objetivo general de la presente tesis fue aplicar el CO como una nueva tecnología de preservación que permita obtener zumo de zanahoria con parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y propiedades sensoriales adecuados, valorizando los descartes.

El desarrollo del trabajo se inició con la evaluación de la percepción de consumidores respecto al zumo de zanahoria fresco proveniente de descartes, como punto de partida para la elaboración de un zumo de zanahoria pasteurizado de similares registros sensoriales. Los resultados indicaron una elevada aceptabilidad general del zumo. De esta manera, se obtuvieron resultados relevantes para la continuidad del trabajo.

Posteriormente, se diseñó y construyó un equipo de CO estático, a escala laboratorio, con capacidad para procesar entre 200 y 2.500 mL de zumo de zanahoria, y se describió su funcionamiento mediante la escritura del manual de usuario. En una segunda etapa se realizaron las adecuaciones al prototipo de CO necesarias para evitar la electrólisis,



alcanzar la temperatura de 80 °C en el menor tiempo posible, construir las celdas de calentamiento adecuadas para el proceso, lograr que el equipo sea de fácil uso, proteger al operador del equipo frente a eventuales accidentes, monitorear la temperatura y la potencia aplicada durante el proceso y disponer de información para calcular la conductividad del alimento durante el proceso. Tras ser realizadas exitosamente estas modificaciones, el equipo fue sometido a pruebas para evaluar su operatividad en los límites de trabajo. Este equipo permitió la pasteurización del zumo de zanahoria aplicando una combinación de 80 °C y 7 min, pudiendo calentar una solución de conductividad de hasta 112 mS/cm, siendo este valor el límite superior de operatividad del equipo.

Posteriormente, se estudió el efecto de la pasteurización del zumo de zanahoria por CO y por TC sobre los parámetros fisicoquímicos y cromáticos, la inactivación enzimática y microbiológica, los compuestos volátiles, la capacidad antioxidante, el contenido de carotenos y sus características sensoriales, que se compararon con los del zumo control, no pasteurizado. Entre los resultados obtenidos se menciona que ambos tratamientos permitieron obtener zumo de zanahoria microbiológicamente estable durante 60 días en almacenamiento refrigerado (4 °C). Además, ambos tratamientos provocaron la inhibición de la actividad de las enzimas peroxidasa (POD), pectinmetilesterasa (PME) y polifenoloxidasas (PPO). Se destaca que el zumo de zanahoria tratado por CO presentó, respecto al zumo control, diferencias en sus parámetros cromáticos, las cuales fueron percibidas y preferidas por panelistas semientrenados. Paralelamente, el zumo tratado con CO presentó la mayor capacidad antioxidante total entre los zumos evaluados y la mayor aceptabilidad general entre los consumidores.

Finalmente, se avanzó de manera preliminar proponiendo una estrategia tecnológica para la utilización de la pulpa de zanahoria, el subproducto de la elaboración del zumo.

A través de la estrategia propuesta se obtuvieron tres productos: un ingrediente alimentario (polvo de pulpa de zanahoria de alto contenido en fibra dietaria); un insumo para elaborar panificados para celíacos (premezcla incorporando polvo de pulpa de zanahoria para panificados libre de gluten); y un alimento (magdalenas sin gluten fuente de fibra dietaria). El enriquecimiento de alimentos con polvo de pulpa de zanahoria podría ser utilizado como una estrategia a desarrollar no solo para la población celíaca, sino también para otros consumidores.



# ÍNDICE

|  |          |
|--|----------|
| Abreviaturas.....  | v        |
| Listado de figuras .....   | ix       |
| Listado de tablas.....   | xiii     |
| <b>1. Introducción.....</b>  | <b>1</b> |
| 1.1. Producción y comercialización de la zanahoria .....   | 3        |
| 1.2. Zumo de zanahoria .....   | 7        |
| 1.2.1. Valor nutricional e importancia del zumo de zanahoria.....                                    | 7        |
| 1.2.2. Proceso de elaboración del zumo de zanahoria .....  | 12       |
| 1.2.3. Alteraciones del zumo de zanahoria .....  | 14       |
| 1.2.4. Parámetros de calidad del zumo de zanahoria y metodologías utilizadas para su evaluación..... | 18       |
| 1.2.4.1. Estabilidad física.....   | 19       |
| 1.2.4.2. Color .....   | 20       |
| 1.2.4.3. Enzimas .....   | 22       |
| 1.2.4.4. Compuestos volátiles.....   | 25       |
| 1.2.4.5. Capacidad antioxidante total.....   | 29       |
| 1.2.4.6. Carotenoides.....   | 30       |
| 1.2.4.7. Evaluación sensorial.....   | 31       |
| 1.3. Tratamientos térmicos de preservación de los alimentos .....                                    | 34       |
| 1.3.1. Tratamiento térmico convencional.....   | 34       |
| 1.3.2. Calentamiento óhmico.....   | 37       |
| 1.3.2.1. Principios del calentamiento óhmico.....  | 39       |
| 1.3.2.2. Equipo de calentamiento óhmico.....   | 42       |
| 1.3.2.3. Ventajas e inconvenientes del calentamiento óhmico .....                                    | 43       |
| 1.3.2.4. Aplicaciones comerciales del calentamiento óhmico en la industria alimentaria.....          | 46       |
| 1.3.2.5. Efecto del calentamiento óhmico sobre las enzimas .....                                     | 48       |
| 1.3.2.6. Efecto del calentamiento óhmico sobre los microorganismos .....                             | 49       |
| 1.3.2.7. Efecto del calentamiento óhmico sobre los componentes nutricionales .....                   | 50       |
| 1.3.2.8. Efecto del calentamiento óhmico sobre las propiedades sensoriales .....                     | 51       |
| 1.4. Aprovechamiento de la pulpa de zanahoria.....   | 52       |

|   |    |
|---|----|
| 2. Objetivos .....  | 59 |
| 3. Materiales y métodos .....   | 63 |
| 3.1. Elaboración del zumo de zanahoria .....  | 65 |
| 3.2. Evaluación sensorial del zumo de zanahorias de descarte .....  | 66 |
| 3.3. Evaluación de los parámetros de calidad de los zumos de dos variedades de zanahorias comerciales ..... | 68 |
| 3.4. Proceso de calentamiento óhmico .....  | 68 |
| 3.4.1. Adecuación del equipo de calentamiento óhmico .....  | 68 |
| 3.4.2. Fundamento del funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico.....                                | 69 |
| 3.4.3. Ensayos de funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico.....                                    | 70 |
| 3.5. Tratamientos de pasteurización de los zumos de zanahoria .....   | 71 |
| 3.5.1. Pasteurización por calentamiento óhmico.....   | 72 |
| 3.5.2. Pasteurización por tratamiento térmico convencional .....  | 73 |
| 3.5.3. Determinación de los parámetros de calidad de los zumos tratados .....                               | 73 |
| 3.5.3.1. Estabilidad física .....   | 74 |
| 3.5.3.2. pH .....   | 74 |
| 3.5.3.3. Sólidos solubles totales .....   | 75 |
| 3.5.3.4. Parámetros cromáticos .....  | 75 |
| 3.5.3.5. Actividad enzimática de POD, PPO y PME .....   | 76 |
| 3.5.3.6. Evaluación microbiológica .....  | 78 |
| 3.5.3.7. Compuestos volátiles.....  | 79 |
| 3.5.3.8. Capacidad antioxidante total.....  | 80 |
| 3.5.3.9. Carotenos .....  | 81 |
| 3.5.3.10. Evaluación sensorial .....  | 82 |
| 3.5.4. Diseño experimental y análisis estadístico.....  | 85 |
| 3.6. Aprovechamiento del subproducto de la elaboración de zumo de zanahoria....                             | 87 |
| 3.6.1. Tratamiento aplicado a la pulpa de zanahoria.....  | 87 |
| 3.6.2. Determinaciones realizadas en el polvo de pulpa de zanahoria .....                                   | 88 |
| 3.6.2.1. Humedad .....  | 88 |
| 3.6.2.2. Cenizas .....  | 88 |
| 3.6.2.3. Proteína bruta .....   | 89 |
| 3.6.2.4. Lípidos .....  | 89 |
| 3.6.2.5. Fibra dietaria total .....   | 90 |
| 3.6.2.6. Hidratos de carbono.....   | 90 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.6.3. Elaboración de una premezcla de harinas libre de gluten con polvo de pulpa de zanahoria para panificados .....   | 90         |
| 3.6.3.1. Ingredientes .....   | 90         |
| 3.6.4. Elaboración de magdalenas libres de gluten utilizando una premezcla de harinas.....  | 92         |
| 3.6.4.1. Ingredientes .....   | 92         |
| 3.6.4.2. Elaboración de magdalenas libres de gluten .....   | 92         |
| 3.6.4.3. Determinaciones realizadas en las magdalenas libres de gluten .....  | 93         |
| <b>4. Resultados y discusión.....</b>   | <b>97</b>  |
| 4.1. Evaluación sensorial del zumo de zanahoria fresco elaborado a partir de descartes.....   | 99         |
| 4.2. Adecuación del equipo de calentamiento óhmico.....   | 102        |
| 4.2.1. Modificaciones realizadas en el equipo de calentamiento óhmico.....  | 102        |
| 4.2.2. Ensayos de funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico.....  | 108        |
| 4.3. Pasteurización del zumo de zanahoria de descartes por calentamiento óhmico y por tratamiento térmico convencional y sus efectos sobre los atributos de calidad.. | 117        |
| 4.3.1. Tiempo del proceso de pasteurización.....  | 117        |
| 4.3.2. Determinación de la conductividad eléctrica del zumo de zanahorias de descarte.....  | 119        |
| 4.3.3. Parámetros fisicoquímicos de los zumos tratados y del zumo control .....   | 120        |
| 4.3.4. Parámetros cromáticos de los zumos tratados y del zumo control .....   | 123        |
| 4.3.5. Actividad enzimática de POD, PPO y PME de los zumos tratados y del zumo control.....   | 126        |
| 4.3.6. Evaluación microbiológica de los zumos tratados y del zumo control.....  | 131        |
| 4.3.7. Compuestos volátiles de los zumos tratados y del zumo control .....  | 135        |
| 4.3.8. Capacidad antioxidante total de los zumos tratados y del zumo control ...  | 141        |
| 4.3.9. Carotenos de los zumos tratados y del zumo control.....  | 144        |
| 4.3.10. Análisis de componentes principales .....   | 146        |
| 4.3.11. Evaluación sensorial de los zumos tratados y del zumo control .....   | 150        |
| 4.4. Aprovechamiento de la pulpa de zanahoria en la elaboración de magdalenas libres de gluten.....   | 154        |
| <b>5. Conclusiones .....</b>  | <b>161</b> |
| <b>6. Referencias bibliográficas.....</b>   | <b>165</b> |
| <b>Anexos.....</b>  | <b>201</b> |





## ABREVIATURAS

- a\*. Parámetro que representa cromaticidad del verde al rojo
- ABTS. 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico)
- ACP. Análisis de componentes principales
- ALP. Fosfatasa alcalina
- ANOVA. Análisis de la varianza
- AOAC. *Association of Official Agricultural Chemists*
- b\*. Parámetro que indica cromaticidad del azul al amarillo
- β-GAL. β-galactosidasa
- C. Cenizas
- Ch. Parámetro Chroma que indica la saturación o intensidad del color
- CA. Corriente alterna
- CIE. *Commision Internationale de l'Eclairage*
- CO. Calentamiento óhmico
- CP. Componente principal
- CSR. Recuento de *Clostridium* sulfito-reductores
- Σ. Conductividad eléctrica
- ΔE. Diferencia total de color
- ΔA/min·L. Cambio de absorbancia a la longitud de onda correspondiente por minuto y por litro de muestra
- DMAPP. Difosfato de dimetilalilo
- DPPH. 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
- DVB. Divinilbenceno
- EC. Comisión de enzimas
- ER. Equivalente de retinol
- ET. Equivalente de Trolox
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FDA. *Food and Drugs Administration* de Estados Unidos
- FDT. Fibra dietaria total
- FRAP. *Ferric Reducing Antioxidant Power*
- H°. Parámetro cromático que representa el tono o ángulo de color, ángulo *Hue*
- H. Humedad
- HC. Hidratos de carbono
- HPLC. Cromatografía líquida de alta eficiencia

- HyL. Recuento de hongos y levaduras
- I. Intensidad de corriente eléctrica
- INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
- IP. Índice de pardeamiento
- IPP. Difosfato de isopentenilo
- ISO. Organización Internacional de Normalización
- L\*. Parámetro cromático que representa “Luminosidad”
- L/A. Relación entre la distancia y el área de los electrodos
- $\lambda$ . Constante de celda
- LOX. *Lipoxigenasa*
- m/z. Relación masa a carga
- n. Número de muestras
- NIST. *National Institute of Standards Technology*
- OMS. Organización Mundial de la Salud
- P. Potencia
- P. Probabilidad
- PCA. Medio de cultivo “*Plate Count Agar*”
- PDMS.: Polidimetilsiloxano
- PEC. *Pectinasa*
- PET. Tereftalato de polietileno
- PME. *Pectinmetilesterasa*
- POD. *Peroxidasa*
- PPO. *Polifenoloxidasa*
- ppz. Polvo de pulpa de zanahoria
- PPZ. Premezcla que contiene polvo de pulpa de zanahoria
- PTFE. Politetrafluoroetileno
- PVPP. Polivinilpolipirrolidona
- R. Resistencia eléctrica
- Rcm. Raíz cuadrada media
- RCT. Recuento de coliformes totales
- RCSR. Recuento de *Clostridium* sulfito-reductores
- RMAT. Recuento de microorganismos aeróbicos totales viables
- RRD. Requerimiento recomendado diario
- SPS. Medio de cultivo “*Sulfite Polymyxin Sulfadiazine*”
- SAFE. *Solvent-assisted flavour extraction*

- SPE. *Solid-phase extraction*
- SPME. *Solid-phase microextraction*
- SST. Sólidos solubles totales
- TC. Tratamiento térmico convencional
- TPTZ. 2, 4, 6- tripiridil-s-triazina
- UAA. Unidades arbitrarias de área
- UFC. Unidades formadoras de colonias
- YEDC. Medio de cultivo "*Yeast Extract Dextrose Chloramphenicol*"



## LISTADO DE FIGURAS

### Introducción

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1. Variedades de zanahorias disponibles actualmente (fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, <a href="https://www.magyp.gob.ar">https://www.magyp.gob.ar</a> ). .....   | 4  |
| Figura 1.2. Mapa de la producción mundial de zanahoria en el año 2016 (fuente: <a href="https://www.wordmapper.org">https://www.wordmapper.org</a> ). .....  | 5  |
| Figura 1.3. Diagrama de flujo de una producción estándar de zumo de zanahoria (modificado de Reiter et al., 2003). .....   | 12 |
| Figura 1.4. Vías alternativas del pardeamiento enzimático en frutas y vegetales (modificado de Bayindirli, 2010). .....  | 17 |
| Figura 1.5. Representación de los espacios de color. a) CIE L*a*b*; b) CIE L*C*H°. (fuente: Graphic Quality Consultancy, <a href="http://www.colourphil.co.uk/">http://www.colourphil.co.uk/</a> ). .....  | 22 |
| Figura 1.6. Esquema de la biosíntesis de terpenoides en el citosol y en los plástidos. DMAPP: dimetilalildifosfato, IPP: isopentenil difosfato (modificado de Jones, 2008)...  | 27 |
| Figura 1.7. Microextracción en fase sólida (SPME) que muestra la fibra en posición baja y alta (Elmore, 2015). .....   | 29 |
| Figura 1.8. Influencia de la información combinada de los cinco sentidos en la percepción del flavor (modificada a partir de: <a href="http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2016/brain-tricks-to-make-food-taste-sweeter-how-to-transform-taste-perception-and-why-it-matters/">http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2016/brain-tricks-to-make-food-taste-sweeter-how-to-transform-taste-perception-and-why-it-matters/</a> ). ..... | 32 |
| Figura 1.9. Sistema de esterilización y llenado aséptico en línea en un proceso automatizado comercial de producción de zumo de zanahoria (fuente: <a href="https://shchase.en.made-in-china.com">https://shchase.en.made-in-china.com</a> ). .....  | 36 |
| Figura 1.10. Principio del calentamiento óhmico (traducido de Sensoy, 2012). .....   | 40 |
| Figura 1.11. Diagrama de un circuito de CO estático. CA: Corriente alterna (traducido de Tumpanuvat & Jittanit, 2012). .....   | 42 |
| Figura 1.12. Imágenes de premezclas de harinas libres de gluten disponibles comercialmente. .....  | 56 |

### Materiales y métodos

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1. Esquema representativo de la elaboración de zumo de zanahoria.....                                  | 66 |
| Figura 3.2. Planilla utilizada para realizar la evaluación de aceptabilidad general del zumo de zanahoria. .... | 67 |
| Figura 3.3. Equipo de CO calentando zumo de zanahoria fresco. ....  | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.4. Diagrama de los tratamientos y determinaciones realizados en el zumo de zanahoria.....   | 72  |
| Figura 3.5. Muestras de zumo de zanahoria presentadas a los evaluadores para la prueba de ordenamiento de preferencia de color.....  | 83  |
| Figura 3.6. Planilla utilizada en la prueba de ordenamiento de preferencia de color... ..  | 83  |
| Figura 3.7. Muestras de zumo presentadas a los evaluadores para la realización de la prueba de ordenamiento de preferencia de flavor.....  | 84  |
| Figura 3.8. Planilla utilizada en la prueba de ordenamiento de preferencia de flavor. .  | 84  |
| Figura 3.9. Presentación del zumo de zanahoria a los consumidores.....   | 85  |
| Figura 3.10. Fotografías de las etapas del proceso de tratamiento para obtener el polvo de pulpa de zanahoria.....   | 87  |
| Figura 3.11. Fotografías de las etapas del proceso de elaboración de magdalenas libres de gluten. (a): ppz; (b) y (c): mezcla de los ingredientes; moldes con la mezcla de magdalena control (d) y con ppz (e) antes de hornear..... | 93  |
| Figura 3.12. Muestras de magdalenas presentadas a los panelistas para su evaluación. ....  | 94  |
| Figura 3.13. Planilla de evaluación sensorial de las magdalenas entregada a los panelistas.....  | 94  |
| <b>Resultados y discusión</b>  |     |
| Figura 4.1. Rango etario de los participantes en la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria fresco. ....   | 99  |
| Figura 4.2. Resultados de la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria fresco (n=81). ....   | 100 |
| Figura 4.3. Esquema de una celda de calentamiento, con líquido en su interior, para CO (fuente: Arias (2018)).....   | 102 |
| Figura 4.4. Esquema de las dos celdas de calentamiento diseñadas para utilizar con el equipo de CO.....  | 103 |
| Figura 4.5. Celdas de calentamiento construidas en material acrílico para el equipo de CO. ....  | 104 |
| Figura 4.6. Comparación de las consolas del equipo de CO antes (izquierda) y después (derecha) de las modificaciones. ....   | 105 |
| Figura 4.7. Equipo de CO utilizado para el calentamiento de zumo de zanahoria.....   | 106 |
| Figura 4.8. Diagrama de conversión de energía en el sistema de CO (fuente: Arias (2018)). ....   | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.9. Curvas de conductividad (azul) y resistencia (roja) en función de la temperatura de calentamiento de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L. ....   | 109 |
| Figura 4.10. Evolución de los parámetros eléctricos voltaje (V), intensidad de corriente (I) y potencia (P) en función de la temperatura, durante el proceso de CO de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L. ....  | 109 |
| Figura 4.11. Conductividad eléctrica en función de la temperatura durante el CO de los zumos de zanahorias de dos variedades comerciales. ....   | 116 |
| Figura 4.12. Curvas de penetración de calor del zumo de zanahoria durante el proceso de pasteurización por CO y por TC. ....   | 118 |
| Figura 4.13. Conductividad eléctrica del zumo de zanahoria de descartes en función de la temperatura. En azul se muestran los datos obtenidos y en negro la recta de regresión lineal a la que se ajustan. ....  | 120 |
| Figura 4.14. Fotografías de los zumos control y pasteurizados por CO y por TC tras 0, 2 y 7 días de almacenamiento a 4 °C.....   | 122 |
| Figura 4.15. Evolución con el tiempo del recuento de microorganismos aerobios totales (RMAT) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. Diferentes letras (a, b) representan una diferencia significativa dentro del mismo rango de tiempo ( $p < 0,05$ ). RMAT<1: por debajo del límite de cuantificación..... | 132 |
| Figura 4.16. Evolución con el tiempo del recuento de microorganismos coliformes totales (RCT) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. RCT<1: por debajo del límite de cuantificación.....  | 133 |
| Figura 4.17. Evolución con el tiempo del recuento de hongos y levaduras (HyL) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. ....   | 133 |
| Figura 4.18. Compuestos volátiles mayoritarios en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. Los datos están expresados como la media $\pm$ error estándar ( $n=5$ ). Los valores con letras diferentes (a, b), para el mismo terpeno, fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes entre sí.....           | 137 |
| Figura 4.19 . Biplot de los resultados del ACP de los compuestos volátiles de los zumos pasteurizados y del zumo control.....  | 146 |
| Figura 4.20. Biplot de los resultados del ACP de los parámetros de calidad de los zumos pasteurizados y del zumo control.....  | 148 |
| Figura 4.21. Preferencia de color y flavor de los zumos pasteurizados y del zumo control. Letras diferentes (a, b) para un mismo atributo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Color: $n=34$ , diferencia mínima significativa: 16,16; Flavor: $n=31$ .....  | 151 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.22. Rango etario de los consumidores que participaron de la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria pasteurizado.....  | 153 |
| Figura 4.23. Prueba de aceptabilidad por parte de los consumidores del zumo de zanahoria tratado por CO, llevada a cabo en el mercado de productos orgánicos "Sabe la Tierra" (San Fernando, Buenos Aires, Argentina) (n= 117)..... | 153 |
| Figura 4.24 . Superficie (a), sección transversal (b) y corte manual (c) de magdalenas libres de gluten conteniendo 0% (control) y 15% de polvo de pulpa de zanahoria (PPZ).....  | 157 |

## LISTADO DE TABLAS

### Introducción

Tabla 1.1. Composición de la fracción comestible de la zanahoria cruda por cada 100 g de muestra..... 9

Tabla 1.2. Composición del zumo de zanahoria envasado por cada 100 g de muestra. .... 10

Tabla 1.3. Ejemplos de premezclas de harinas y sus ingredientes, disponibles en Argentina, para elaboración de panificados libres de gluten ..... 56

### Materiales y métodos

Tabla 3.1. Números asignados a cada muestra de zumo para realizar las pruebas de preferencia de color y de flavor.....82

Tabla 3.2. Información nutricional de las féculas de maíz y de mandioca y de la harina de arroz..... 91

Tabla 3.3. Composición (%) de las premezclas de harinas libres de gluten. .... 91

Tabla 3.4. Valores máximos de los parámetros a evaluar en las magdalenas, de acuerdo con la norma IRAM (1966).....93

### Resultados y discusión

Tabla 4.1. Dimensiones de las celdas de calentamiento construidas para el equipo de CO. .... 104

Tabla 4.2. Parámetros eléctricos medidos durante el proceso de CO de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L. .... 110

Tabla 4.3. Parámetros de proceso de CO del zumo elaborado a partir de zanahorias comerciales, adquiridas a granel, utilizando dos celdas diferentes ..... 112

Tabla 4.4. Sólidos solubles totales y parámetros cromáticos del zumo de zanahoria fresco de dos variedades comerciales. .... 114

Tabla 4.5. pH, sólidos solubles totales (SST) y estabilidad física de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control. .... 121

Tabla 4.6. Parámetros cromáticos de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control..... 123

Tabla 4.7. Actividad enzimática inicial ( $\Delta A/\text{min}\cdot\text{L}$ ) del zumo control. .... 126

Tabla 4.8. Actividad enzimática residual de los zumos de zanahoria pasteurizados....127

Tabla 4.9. Parámetros microbiológicos, expresados como  $\log(\text{UFC}/\text{mL})$ , de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control a tiempo 0..... 131

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 4.10. Monoterpenos identificados en la fracción volátil de zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control. ....                            | 136 |
| Tabla 4.11. Sesquiterpenos identificados en la fracción volátil de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control. ....                      | 138 |
| Tabla 4.12. Compuestos volátiles, no terpenos, identificados en la fracción volátil de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control. ....  | 139 |
| Tabla 4.13. Capacidad antioxidante total y contenidos de $\alpha$ -caroteno y $\beta$ -caroteno en los zumos pasteurizados y en el zumo control. .... | 142 |
| Tabla 4.14. Comparación entre la composición centesimal del polvo de pulpa de zanahoria y la de algunos valores de referencia. ....                   | 154 |
| Tabla 4.15. Parámetros de la evaluación de las magdalenas libres de gluten. ....  | 155 |

## **1.INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Producción y comercialización de la zanahoria

La zanahoria silvestre es autóctona de Europa, África del Norte y partes de Asia occidental, habiéndose encontrado semillas que datan del período Mesolítico, hace aproximadamente 10.000 años. Esta zanahoria, generalmente reconocida como perteneciente al género *Daucus*, especie *carota*, variedad *carota*, se caracteriza por sus raíces pequeñas, fusiformes, blanquecinas, delgadas, aromáticas, acres y con un sabor desagradable. En algunos países es considerada una mala hierba. La zanahoria silvestre y la domesticada continúan creciendo juntas en el mundo moderno. Es un mito popular que la zanahoria cultivada se desarrolló directamente a partir de la zanahoria silvestre, probablemente debido a su similitud en el olor, patrón de hojas y características de crecimiento (Stolarczyk & Janick, 2011).

Hace casi cinco mil años, las zanahorias domesticadas se cultivaron primero en la meseta iraní (Afganistán, Pakistán e Irán) y luego en el Imperio persa (Brothwell & Brothwell, 1969). El color y el sabor fueron los principales criterios de selección para su cultivo y el color fue cambiando significativamente durante el proceso. Las zanahorias silvestres son de color blanco o amarillo pálido, mientras que el púrpura y el amarillo fueron los primeros colores de las zanahorias cultivadas. Los tipos de zanahorias se dividieron en dos subgrupos: Grupo Oriental/Asiático (variedad *Altorubens*) y Grupo Occidental (variedad *Sativus*) según reporta Vavilov (1951).

Las zanahorias actuales (Figura 1.1) parecen derivar de una combinación de mutación y selección de una compleja colección genética. Estas involucran raíces amarillas de las zanahorias orientales, derivados cultivados de raíz blanca de zanahoria silvestre (cultivada como plantas medicinales desde la época clásica) y poblaciones silvestres no seleccionadas de Europa y el Mediterráneo (Heywood, 1983). Las zanahorias naranjas

probablemente se originaron por mutaciones de formas amarillas y tras la selección humana, que comúnmente se cree que se originó en los Países Bajos (Stolarczyk & Janick, 2011).

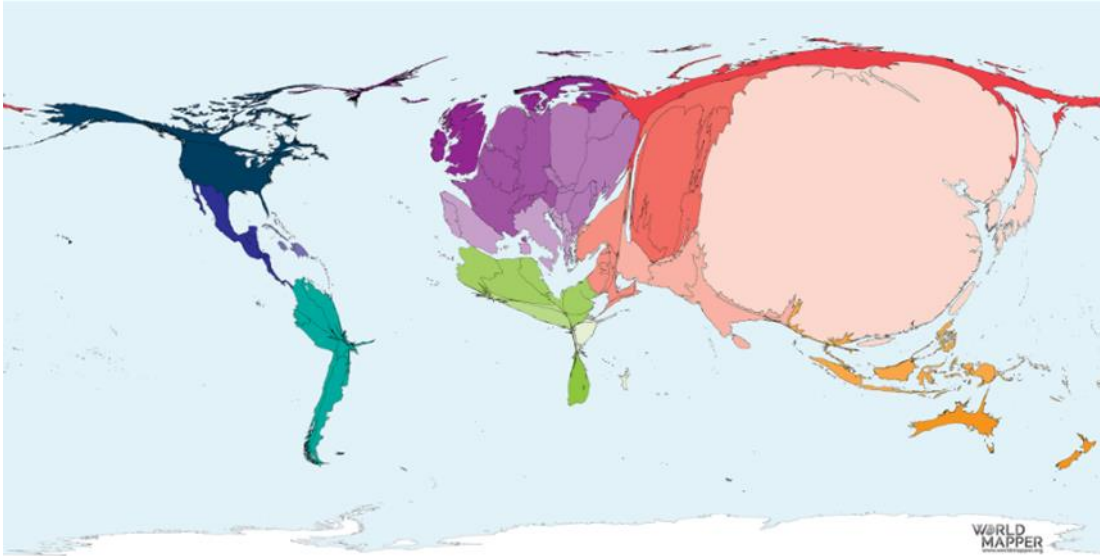


*Figura 1.1.* Variedades de zanahorias disponibles actualmente (fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, <https://www.magyp.gob.ar>).

El principal productor mundial de zanahoria es China (con una participación del 47,9%) y, en segundo lugar, se encuentra Uzbekistán (5,27%). La lista de los diez principales productores mundiales de zanahoria se completa con Rusia, Estados Unidos, Ucrania, Reino Unido, Alemania, Francia, Japón e Indonesia (FAO, 2020). En la Figura 1.2 se presenta el mapa mundial de acuerdo a la producción de zanahoria.

Los principales países exportadores de zanahoria son: China, con una participación en el mercado del 24,7%; Países Bajos, con 13,5%, Estados Unidos con 7,84%, Italia con 5,45% y España, con un 5,28%. Por otro lado, los principales países importadores de zanahoria son: Alemania, con una participación del mercado del 12,4%; Estados Unidos con un 8,41%; Canadá con un 7,84%; Rusia con un 5,93% y Francia con un 5,76% (Simoes & Hidalgo, 2020).





*Figura 1.2.* Mapa de la producción mundial de zanahoria en el año 2016<sup>1</sup> (fuente: World Mapper, <https://www.worldmapper.org>).

Argentina es el principal productor de zanahoria de América del Sur. Su producción representa el 25,4% de la producción total de la región, seguida por Colombia y Chile, con el 20% y el 12,6%, respectivamente (FAO, 2020). Las principales provincias de Argentina con mayor participación en el Mercado Central de Buenos Aires son Santiago del Estero (34%), Mendoza (28%), Santa Fe (20%) y Buenos Aires (18%) (Dansa et al., 2017). Particularmente, en la Provincia de Santa Fe, el rendimiento aproximado del cultivo es de 40 Ton/ha, mientras que en otras zonas los rendimientos son de 13 Ton/ha (Corti, 2019).

Este cultivo presenta un descarte del 15 al 35%, lo que significa un desperdicio entre 60 y 150 ton/día. Esto se debe a que no cumplen con los estándares de calidad (Aimaretti et al., 2012a); sin embargo, mantienen sus características nutricionales. Este es uno de los principales problemas de la actividad hortícola y sus industrias derivadas (Llorach et al., 2003). En este sentido, el volumen de descarte en la producción de zanahoria es

<sup>1</sup> El tamaño de cada país es proporcional a la producción de zanahoria (*Daucus carota*) y cada continente se identifica con un color diferente.

mayor que en la producción de frutas, lo cual está asociado a que los parámetros de calidad utilizados en la selección son únicamente los del mercado fresco (Aimaretti, 2011). Esto se debe a que en la zona de producción y cosecha no hay industrias que amplíen el rango de calidad demandado en función del proceso. Generalmente los grandes excedentes de descartes se localizan en las mismas zonas de producción, debido a que, por el momento, no se han desarrollado tecnologías que permitan la utilización y/o aprovechamiento de los mismos en la elaboración de nuevos productos.

Los principales defectos, causantes de descarte de las zanahorias son: plantas florecidas prematuramente y raíces defectuosas, como fuera de tamaño (excesivamente grandes o pequeñas), bifurcadas o patudas, rajadas, atacadas por insectos y pálidas. También existen otros defectos de color como raíces con hombros verdes o raíces con hombros púrpura, que dependiendo de la época de cosecha pueden considerarse o no como descarte (Gaviola, 2013). El principal destino de estos descartes es la alimentación animal; el resto se desecha generando un gran impacto ambiental, como olores y productos de descomposición que alteran los suelos. Si bien de esta manera se da un destino a los subproductos, no se aprovecha el potencial de los mismos (Aimaretti et al., 2013). En este sentido, en los últimos años, se ha avanzado en la revalorización de los descartes hortícolas desarrollando *snacks*, bebidas y diferentes ingredientes alimentarios valorizando compuestos de alto valor nutricional (Aimaretti et al., 2016; Fernández et al., 2014; Fernandez et al., 2018; O'Shea et al., 2012; Romero & Aimaretti, 2018; Schieber et al., 2001). Paralelamente, la producción de biocombustible se ha propuesto como otro posible uso a los descartes hortícolas (Aimaretti et al., 2012; Aimaretti & Ybalo, 2012).

## 1.2. Zumo de zanahoria

### 1.2.1. Valor nutricional e importancia del zumo de zanahoria

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que la ingesta insuficiente de frutas y verduras es uno de los diez factores principales de riesgo de mortalidad a escala mundial. Así mismo, hace hincapié en el consumo de frutas y verduras como una de las recomendaciones para la elaboración de políticas alimentarias de los países. En este sentido, recomienda un consumo de 400 g/día de frutas y vegetales con el fin de prevenir enfermedades crónicas como cardiopatías, cáncer, diabetes y obesidad. En esta recomendación no se encuentran incluidos aquellos vegetales con alto contenido de almidón como patata, batata, mandioca y choclo (McColl, 2016).

Alineado a las recomendaciones y a las tendencias globales, el mercado mundial de zumos de frutas y verduras se valoró en 154.180 millones de USD en 2016 y se espera que para el año 2025 crezca con una tasa anual de 5,93%. El aumento en el consumo de estos productos, el cambio en los gustos de los consumidores, la adopción de una dieta más saludable y la llegada de zumos prensados en frío, son los principales factores que aceleran el crecimiento de este mercado a nivel mundial. Los zumos de frutas y verduras son uno de los segmentos de más rápido crecimiento en la industria de las bebidas, debido a las crecientes preocupaciones por la salud entre los consumidores. En este sentido, la salud y el estado físico se han vuelto vitales en el mundo actual y ha habido un cambio notable en el consumo de zumos saludables. La demanda de productos más saludables también ha impulsado el crecimiento de la producción industrial de zumos de verduras (GVR, 2018).

Recientemente, en Argentina, el proyecto HidratAr evaluó la ingesta de agua y bebidas en la población, poniendo en evidencia que la mitad de los líquidos ingeridos eran

bebidas e infusiones con azúcar agregado, lo que convierte un hábito saludable, como es la hidratación, en vehículo de un nutriente crítico: el azúcar (Britos, 2018).

Por otro lado, la industria argentina de zumos naturales muestra un desarrollo sostenido, abriéndose nuevas oportunidades y diversidad de productos. En este aspecto, el mercado nacional de zumos naturales pasó de 19 millones de litros en 2009 a 51 millones de litros en 2015. El consumo per cápita de Argentina alcanzó los 1,1 L/año en 2015, siendo un valor bajo respecto a los de otros países de América del Sur, como México y Brasil, con 1,4 y 1,9 L per cápita, respectivamente. Esto muestra que, si bien en Argentina el mercado en zumos naturales aumentó, el mismo puede seguir creciendo bajo la propuesta de alimentos innovadores y naturales. Las evaluaciones del mercado muestran que, aunque los zumos de naranja (46%) y manzana (17%) siguen dominando el mercado, sus ventas están disminuyendo. Las mezclas de frutas (6%) y las mezclas de hortalizas (4%) han llegado al cuarto y quinto lugar de los zumos naturales más habituales en la elección de los consumidores, lo que sugiere que nuevos sabores y combinaciones de sabores son importantes en la elaboración de zumos alternativos (Pittaluga, 2016).

La zanahoria y el zumo de zanahoria son considerados alimentos fuente de provitamina A por su alto contenido en  $\beta$ -caroteno (82,85  $\mu\text{g}/\text{mg}$  y 93,03  $\mu\text{g}/\text{mg}$ , respectivamente) (Tablas 1.1 y 1.2). La zanahoria cruda es rica en hidratos de carbono, fibra alimentaria, potasio y provitamina A, principalmente, y el zumo natural mantiene todas las características de la zanahoria (Menchu & Mendez, 2007).

Actualmente, el zumo de zanahoria se comercializa ampliamente gracias a su alto valor nutricional (DiGiacomo & DiTaglieri, 2009; Picouet et al., 2015). Se ha demostrado que también estimula el sistema inmunológico y ayuda a tratar la anemia, los problemas circulatorios y los trastornos de la piel (Butu & Rodino, 2019). Además, es una fuente importante de carotenoides, como  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, luteína y licopeno (Riganakos

et al., 2017; Sharma et al., 2012), algunos de los cuales pueden exhibir actividad provitamina A (Olson, 1989). Así mismo, es una buena fuente de vitamina C y compuestos fenólicos, que contribuyen sustancialmente a su potencial antioxidante (Zhang et al., 2005). En este sentido, numerosos estudios han demostrado que los polifenoles y sus metabolitos modulan la expresión génica, la regulación epigenética, la señalización celular, la inflamación, la función antioxidante, la desintoxicación y la función inmune (Andarwulan et al., 2012), ejerciendo así una acción protectora sobre la salud humana y siendo componentes clave de una dieta sana y equilibrada (Lima et al., 2014).

**Tabla 1.1.** Composición de la fracción comestible de la zanahoria cruda por cada 100 g de muestra.

|                 |                               |                        |                          |                         |                  |                     |                  |
|-----------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Agua (g)        | Cenizas (g)                   | Energía (Kcal)         | Fibra dietaria total (g) | Hidratos de carbono (g) | Proteínas (g)    | Lípidos totales (g) | Calcio (mg)      |
| 88,29           | 0,97                          | 41                     | 2,8                      | 9,58                    | 0,93             | 0,24                | 33               |
| Cobre (mg)      | Hierro (mg)                   | Flúor (µg)             | Fósforo (mg)             | Magnesio (mg)           | Manganeso (mg)   | Selenio (µg)        | Sodio (mg)       |
| 0,045           | 0,3                           | 3,2                    | 35                       | 12                      | 0,143            | 0,1                 | 69               |
| Potasio (mg)    | Zinc (mg)                     | Ácido pantoténico (mg) | Betaína (mg)             | Colina (mg)             | Folatos (µg)     | β-caroteno (mg)     | α-caroteno (mg)  |
| 320             | 0,24                          | 0,273                  | 0,4                      | 8,8                     | 19               | 8,3                 | 3,5              |
| Licopeno (µg)   | Luteína + zeaxantina (µg)     | Niacina (mg)           | Tiamina (mg)             | Riboflavina (mg)        | β-tocoferol (mg) | Vitamina A, UI (mg) | Vitamina B6 (mg) |
| 1               | 256                           | 0,983                  | 0,066                    | 0,058                   | 0,01             | 16,7                | 0,138            |
| Vitamina C (mg) | Vitamina E (α-tocoferol) (mg) | Vitamina K (µg)        |                          |                         |                  |                     |                  |
| 5,9             | 0,66                          | 13,2                   |                          |                         |                  |                     |                  |

Fuente: USDA (2020).

**Tabla 1.2.** Composición del zumo de zanahoria envasado por cada 100 g de muestra.

|                         |                          |                 |                               |                           |              |                        |              |
|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Hidratos de carbono (g) | Fibra dietaria total (g) | Proteínas (g)   | Lípidos totales (g)           | Calcio (mg)               | Cobre (mg)   | Hierro (mg)            | Fósforo (mg) |
| 9,28                    | 0,8                      | 0,95            | 0,15                          | 24                        | 0,046        | 0,46                   | 42           |
| Magnesio (mg)           | Manganeso (mg)           | Selenio (µg)    | Sodio (mg)                    | Potasio (mg)              | Zinc (mg)    | Ácido pantoténico (mg) | Colina (mg)  |
| 14                      | 0,13                     | 0,6             | 66                            | 292                       | 0,18         | 0,228                  | 9,9          |
| Folatos (pg)            | β-caroteno (mg)          | α-caroteno (mg) | Lycopeno (µg)                 | Luteína + zeaxantina (µg) | Niacina (mg) | Riboflavina (mg)       | Tiamina (mg) |
| 4                       | 9,3                      | 4,3             | 2                             | 333                       | 0,386        | 0,055                  | 0.092        |
| Vitamina A, UI (mg)     | Vitamina B6 (mg)         | Vitamina C (mg) | Vitamina E (α-tocoferol) (mg) | Vitamina K (µg)           |              |                        |              |
| 19,1                    | 0,217                    | 8,5             | 1,16                          | 15,5                      |              |                        |              |

Fuente: Shen & James (2018).

En el mundo, los principales déficits nutricionales de la población son de vitamina A, hierro y yodo. Particularmente, en la población infantil, la principal carencia es la de vitamina A. El déficit de vitaminas y minerales sostenido en el tiempo tiene un impacto negativo en la población, lo cual puede generar una menor resistencia a las infecciones, así como ceguera, letargia, disminución en la capacidad de aprendizaje y la muerte del individuo en situaciones extremas (FAO, 2010).

La vitamina A puede provenir de alimentos de origen animal, en forma de retinol, o de origen vegetal, como provitamina A (β-caroteno). Si proviene del β-caroteno de la dieta, éste se convierte en vitamina A (retinol) en el intestino humano siendo la equivalencia la siguiente (FAO, 2017):

1 µg retinol = 1 ER (equivalente retinol) = 6 µg β-caroteno = 12 µg otros carotenoides de provitamina A = 3,33 unidades internacionales de actividad de vitamina A (retinol).

Los carotenos actúan como provitaminas o precursores de la vitamina A. Además, aunque los niveles altos de vitamina A son tóxicos, grandes cantidades de carotenoides no parecen ser perjudiciales, salvo el hecho de causar una pigmentación excesiva de la piel. Si se deseara un aumento de carotenoides y provitamina A, el zumo de zanahoria podría proporcionar un producto simple, natural y sabroso que se podría absorber en mayores cantidades que los alimentos sólidos (Munsch et al., 1983).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugieren un requerimiento recomendado diario (RRD) de vitamina A entre 400 y 900  $\mu\text{g}/\text{día}$ , según la edad y el estado fisiológico de la persona. Se debe tener en cuenta que estas cifras se basan en dietas mixtas que contienen vitamina A y carotenos. Cuando la dieta es en su totalidad de origen vegetal, se recomiendan cantidades mayores de carotenos, ya que la conversión del caroteno a retinol en el cuerpo no es muy eficaz (FAO, 2017). Una porción de 100 mL de zumo de zanahoria, con un contenido estimado de  $\beta$ -caroteno de 92,70  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , aportaría al organismo un equivalente a 1.545  $\mu\text{g}$  de vitamina A (Tabla 1.1), lo que supera el RDD. Este hecho evidencia la potencialidad del zumo de zanahoria como alimento de calidad nutricional.

En base a lo anterior se observa la oportunidad de disponer de grandes volúmenes de zanahoria descartada que conserva sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales. A su vez, se destaca la necesidad de reducir este descarte hortícola y aprovechar un alimento para consumo humano. De esta manera resulta estratégico desarrollar un alimento que valorice estos descartes manteniendo las características nutricionales y organolépticas de la zanahoria.

### 1.2.2. Proceso de elaboración del zumo de zanahoria

El proceso de elaboración de zumo de zanahoria, comúnmente, involucra las etapas de selección de las zanahorias, lavado, cortado, escaldado, prensado mecánico, acidificación (en caso de necesidad), procesamiento térmico y envasado (Reiter et al., 2003; Sharma et al., 2012; Szczepańska et al., 2020).

A continuación, se describen las etapas principales del proceso típico para la elaboración de zumo de zanahoria, el cual se esquematiza en la Figura 1.3.

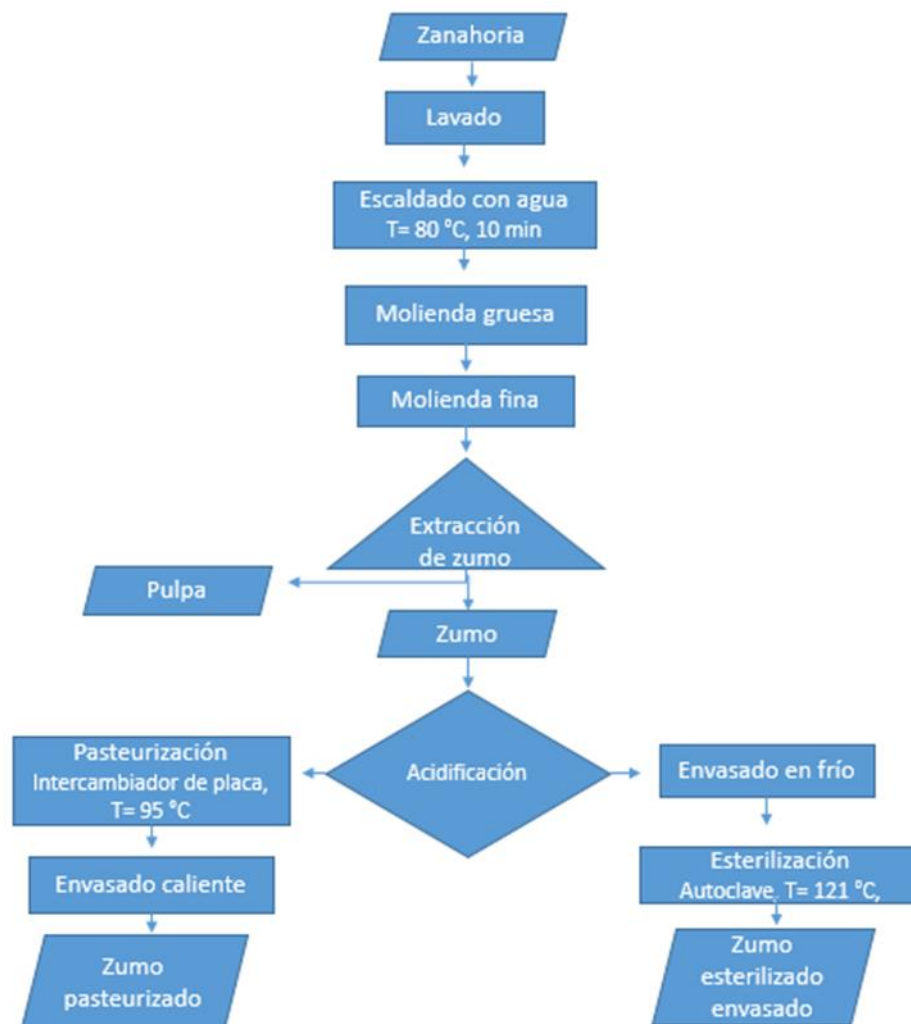


Figura 1.3. Diagrama de flujo de una producción estándar de zumo de zanahoria (modificado de Reiter et al., 2003).



### Lavado y pelado de las zanahorias

El lavado por aspersion suele ser suficiente para lograr la limpieza de las zanahorias. Las zanahorias con mucha suciedad adherida se deben empapar bien en agua antes de pasar por el spray. Para pelar las zanahorias se utilizan diferentes métodos. Tanto un pelador mecánico normal como un pelador a vapor son adecuados. En el pelador a vapor, las zanahorias se calientan primero instantáneamente en vapor a alta presión. La presión se libera repentinamente para producir grietas y ampollas dentro y debajo de la cáscara. Luego se aplica un cepillo mecánico para raspar la piel (Shen & James, 2018).

### Escaldado de las zanahorias

El escaldado de las zanahorias, especialmente en agua ligeramente acidificada, antes de la extracción, mejora el color y la estabilidad de la turbidez del zumo (Reiter et al., 2003). Las zanahorias peladas se someten a escaldado en agua hirviendo para inactivar las enzimas peptídicas.

### Extracción del zumo de zanahoria

Tras las etapas de molienda la zanahoria escaldada generalmente es introducida en un extractor de pulpa en paleta (*paddle pulper-finisher*) para obtener el zumo, mediante la aplicación o no de enzimas. La estructura celular de las zanahorias puede alterarse en el tratamiento enzimático y afectar el rendimiento de zumo. Se ha informado que la producción de zumo de las muestras tratadas con enzimas fue significativamente mayor que la de aquellas no tratadas (Demir et al., 2007; DiGiacomo & DiTaglieri, 2009).

### Acidificación y salazón

Las zanahorias son susceptibles de contaminarse fácilmente con microorganismos de termófilos, algunos de los cuales son formadores de esporas térmicamente resistentes en alimentos poco ácidos. Es por ello que el zumo de zanahoria puede acidificarse, para

lo cual generalmente se utiliza ácido cítrico a un pH de 4,2 o menor. Si bien la acidificación reduce la severidad requerida del procesamiento térmico del zumo (Reiter et al., 2003), afecta negativamente los atributos sensoriales del mismo (Picouet et al., 2015). Una cantidad adecuada de sal agregada, 0,33% por ejemplo, también puede ser útil para resaltar el sabor de la zanahoria en el zumo (Shen & James, 2018), en detrimento de su valor nutricional.

### Procesamiento térmico

El zumo acidificado suele ser sometido a tratamientos térmicos para lograr mayor tiempo de conservación. Estos tratamientos son la pasteurización a 95 °C o la esterilización (Reiter et al., 2003). La esterilización del zumo es el tratamiento térmico más frecuentemente aplicado para su conservación. El zumo de zanahoria se puede envasar en latas y esterilizar a una temperatura de 121 °C o mayor (Pederson, 1975). Kimjun y Gerber (1988) compararon las cualidades de los zumos de zanahoria no acidificados enlatados, congelados y frescos. Estos autores informaron que las cualidades de sabor del zumo congelado eran muy aceptables, al igual que las del zumo fresco; por el contrario, el zumo enlatado poseía un significativo olor a cocido lo que provocó su rechazo.

#### 1.2.3. Alteraciones del zumo de zanahoria

El zumo de zanahoria al presentar un pH natural cercano a 6,0 es un producto de alto riesgo de contaminación bacteriana (Park et al., 2002; Zhang et al., 2016), por lo cual debe ser consumido en un plazo de 1-2 días desde su producción (Alklint et al., 2004).

Como se mencionó previamente, una de las principales alteraciones que puede sufrir el zumo de zanahoria es la contaminación por microorganismos termófilos como *Rhizopus stolonifer* (Shen & James, 2018). Así mismo, debido a su baja acidez, el zumo de zanahoria es susceptible a contaminación por patógenos, como *Clostridium sp.*, el cual

supone un riesgo para la salud. De manera similar a otros zumos, también puede contaminarse con hongos, levaduras y otras bacterias. La contaminación por levaduras, con la consecuente producción de gas, puede llevar a graves alteraciones del producto (Ashurst et al., 2017). En relación a todo ello, la FDA (2007) indica que los zumos de zanahoria no esterilizados deben ser refrigerados hasta su consumo.

El zumo de zanahoria se obtiene mediante el uso de dispositivos mecánicos que desintegran la hortaliza y separa el zumo de los sólidos. Cuando un tejido vegetal se desintegra, las enzimas de las células rotas pueden tener acceso a sustratos en el citosol liberado y catalizar reacciones indeseables. Por esta razón es necesario inactivar las enzimas durante la etapa temprana de procesamiento.

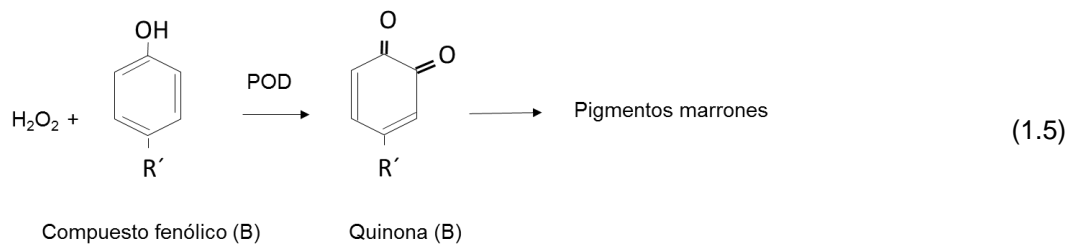
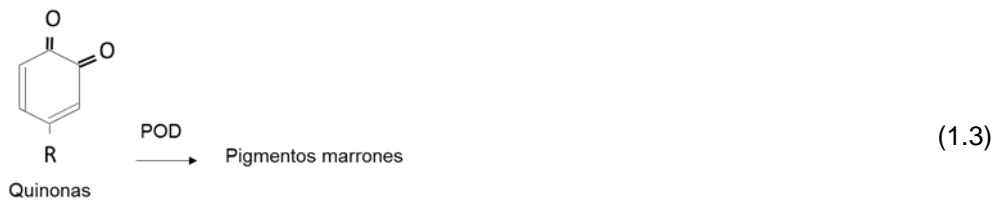
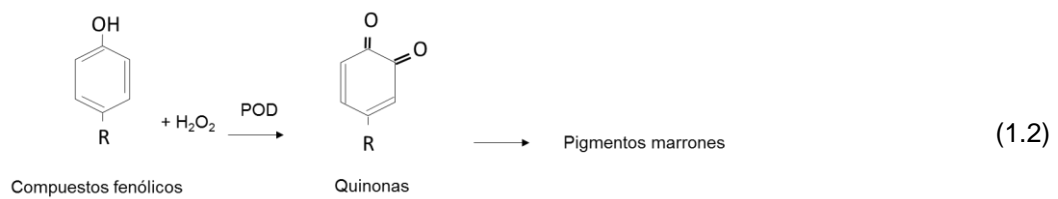
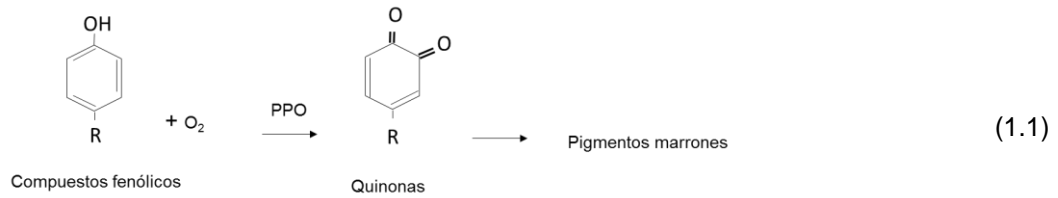
Una de las características físicas más importantes del zumo de zanahoria es la turbidez (Espachs-Barroso et al., 2006; Polydera et al., 2004), que se debe a la suspensión de partículas como proteínas, pectinas, lípidos, hemicelulosas, celulosas y otros componentes minoritarios (Cautela et al., 2010). La pérdida de turbidez y consistencia, y la separación de fases, así como la decoloración y la gelificación, son ocasionadas por la precipitación de la pectina (Park et al., 2002) provocada por la acción de enzimas pécticas, particularmente por la enzima *pectinmetilesterasa* (PME) (Basak & Ramaswamy, 1996). La PME (denominada como EC 3.1.1.11, de acuerdo a la clasificación de la Comisión de Enzimas) se presenta de forma natural en los vegetales, ataca a los grupos carboxilo de la pectina presente en la pared celular de los frutos e hidroliza los enlaces éster de la pectina presente en los zumos, provocando la pérdida de turbidez.

Entre las características del zumo de zanahoria, el color se considera el principal atributo de calidad vinculado con la elección del consumidor. El color anaranjado típico de las zanahorias está relacionado con su contenido de carotenoides (Simon, 1985); sin embargo, cuando se procesa para obtener zumo y se almacena, ocurren reacciones de

pardeamiento indeseables, debido a las reacciones enzimáticas y no enzimáticas que causan la condensación de los ácidos fenólicos, resultando en la decoloración del producto o la formación de melanoidinas por reacción de Maillard (Talcott & Howard, 1999).

La *polifenoloxidasas* (PPO, EC 1.14.18.1) y la *peroxidasa* (POD, EC 1.11.1.7) son enzimas oxidativas relacionadas con el pardeamiento de los zumos (Quitão-Teixeira et al., 2008). La PPO utiliza oxígeno para oxidar los compuestos fenólicos a quinonas, que son altamente reactivas y pueden combinarse entre sí y con otros compuestos para formar pigmentos marrones (Mayer, 2006) (Figura 1.4, reacción 1.1). La presencia de PPO significa que la enzima podría estar involucrada en las reacciones de pardeamiento si está en forma activa y no inhibida por los productos de oxidación fenólica, y si las concentraciones de oxígeno y sustrato fenólico no son limitantes. Estas condiciones se dan en el zumo, cuando el daño al tejido permite que la enzima entre en contacto con el oxígeno atmosférico y los compuestos fenólicos. Alternativa o adicionalmente, la POD puede estar involucrada (Takahama, 2004), actuando como una enzima antioxidante para eliminar el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) presente en exceso, como resultado de las condiciones de estrés impuestas, transformando también los compuestos fenólicos en quinonas (Figura 1.4, reacción 1.2). El  $H_2O_2$  se puede generar durante la degradación enzimática del ácido ascórbico y por la acción de las aminas oxidasas, oxalato oxidasas, superóxido dismutasa y ciertas enzimas POD presentes en cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. La autooxidación de los pigmentos marrones también puede conducir a iones superóxido y  $H_2O_2$  (Bayindirli, 2010). Para algunos compuestos fenólicos se ha propuesto que sus productos de oxidación, las quinonas producidas por la acción de la PPO, pueden actuar directamente como sustratos para la POD (Richard-Forget & Gaillard, 1997) dando lugar a la formación de otros pigmentos (Figura 1.4, reacción 1.3), mientras que para otros compuestos fenólicos las quinonas generan

espontáneamente  $H_2O_2$  (Figura 1.4, reacción 1.4), que puede ser utilizado por POD para oxidar un segundo compuesto fenólico (Murata et al., 2002) (Figura 1.4, reacción 1.5).



*Figura 1.4.* Vías alternativas del pardeamiento enzimático en frutas y vegetales (modificado de Bayindirli, 2010).

Por lo tanto, el zumo de zanahoria debe ser sometido a algún tratamiento de preservación, con el objetivo primordial de lograr su inocuidad y la inactivación enzimática, evitando y/o reduciendo así las alteraciones descritas previamente y prolongando su vida útil. Dichos tratamientos se explicarán en el apartado 1.3.

#### 1.2.4. Parámetros de calidad del zumo de zanahoria y metodologías utilizadas para su evaluación

Dos aspectos determinantes de la calidad de los zumos lo constituyen la apariencia y el sabor. En este sentido, el color y la turbidez son parámetros relevantes. Cualquier deterioro del color puede ser la primera indicación de que el zumo ha sido procesado en exceso o bien almacenado durante un tiempo considerable o en condiciones inapropiadas. Por otro lado, la pérdida de turbidez puede indicar un procesamiento deficiente o la existencia de actividad enzimática. Además del hecho de que sus características sensoriales sean aceptables, la actividad microbiana o enzimática presente en el zumo debe ser nula. La presencia de actividades microbianas o enzimáticas o ambas convertiría al zumo procesado en un producto inaceptable para su consumo. En las especificaciones, se debe detallar una serie de parámetros de calidad e higiene para garantizar que el zumo tenga un estándar aceptado (Ashurst et al., 2017).

Los componentes beneficiosos para la salud constituyen otro aspecto importante en la calidad de los zumos a base de frutas y verduras. En este sentido, estas las bebidas contienen una amplia gama de compuestos biológicos activos, como polifenoles, vitaminas, oligosacáridos y fibras, que pueden inducir efectos antioxidantes, antimicrobianos y antivirales.

La calidad de los zumos es determinada por parámetros fisicoquímicos y cromáticos, por sus componentes nutricionales, por la actividad enzimática y microbiana y por los aspectos sensoriales.

Para la evaluación de los atributos de calidad del zumo de zanahoria se utilizan métodos instrumentales y métodos sensoriales. Los métodos instrumentales aportan información objetiva, posibilitando su estandarización y comparación, mientras que los métodos sensoriales proporcionan información subjetiva sobre la percepción de los atributos de calidad. En este sentido, el color, si bien es consecuencia de ciertos compuestos y condiciones del medio (condiciones objetivas), su percepción es subjetiva. A continuación, se describen los parámetros de calidad y los fundamentos de los métodos empleados para su determinación.

#### 1.2.4.1. Estabilidad física

Los zumos y mezclas de vegetales se encuentran entre los principales productos vegetales procesados. Los zumos, ya sea de frutas o vegetales o sus mezclas, normalmente se agrupan en tres tipos según el aspecto, que se refleja en el contenido y tamaño de los sólidos insolubles: zumo claro, zumo turbio y zumo pulposo. El zumo claro no contiene sólidos insolubles. El zumo turbio es translúcido y contiene diminutas partículas insolubles en suspensión homogénea. El zumo turbio es el tipo de zumos y mezclas de vegetales más popular en el mercado y a este grupo pertenece el zumo de zanahoria (Shen & James, 2018). Por último, el zumo pulposo contiene partículas gruesas que pueden flotar en la superficie, suspender en el líquido o precipitarse al fondo.

La turbidez de ciertos alimentos líquidos se debe a la presencia de agregados insolubles en suspensión. En el caso del zumo de zanahoria, la misma se debe a la presencia de pectina. La estabilidad de esta fase dispersa es un atributo de calidad en el zumo de zanahoria, ya que la separación de fases disminuye su aceptabilidad (Sims et al., 1993; Stinco et al., 2019). La pérdida de turbidez se debe a la acción de la *pectinesterasa* del zumo, que provoca la precipitación de la pectina. Así mismo, esto puede ocasionar una

menor coloración del zumo, debido a la coprecipitación de  $\beta$ -caroteno con las moléculas de pectina (Sims et al., 1993).

La turbidez del zumo puede ser estimada por medio de la evaluación de su estabilidad física (Manassero, 2016). Este método consiste en colocar un volumen de zumo en tubos de vidrio, almacenarlos en refrigeración durante los días que se requiera hacer la evaluación (entre 7 y 10) y medir diariamente el aumento de sedimento, evaluando visualmente la transparencia de la fase superior, como una medida indirecta del grado de sedimentación.

#### *1.2.4.2. Color*

El color es el primer atributo que un observador o consumidor percibe de un alimento y particularmente, en los zumos, tiene un gran impacto. Algunos colores, intuitivamente, no coinciden de forma natural con ciertas categorías que el consumidor tiene en mente y pueden causar repulsión. Esto está asociado a que los consumidores desean que el color de un producto coincida con su uso o propósito previsto (Elliot & Maier, 2014); sin embargo, en ese aspecto, las diferencias culturales pueden ser significativas (Madden et al., 2000).

Fisiológicamente, el color de los vegetales es determinado por los metabolitos secundarios. Éstos actúan como respuesta frente a condiciones de estrés, e incluyen compuestos fenólicos, alcaloides y compuestos que contienen azufre, como los glucosinolatos. Dentro de los compuestos fenólicos se encuentran los flavonoides, como las antocianidinas, las cuales son pigmentos que determinan el color de los vegetales. Por otro lado, los carotenoides como el  $\alpha$ -caroteno, el  $\beta$ -caroteno, el licopeno y las xantofilas (por ejemplo, luteína, neoxantina, violaxantina y zeaxantina) son pigmentos solubles en lípidos, de color naranja, amarillo y rojo. Se encuentran en todas las verduras de hoja verde como el apio, la escarola, la lechuga, la rúcula y el berro (donde



su color está enmascarado por el de la clorofila), así como en las zanahorias, calabazas, tomates y batatas (Lobo et al., 2018).

Actualmente se utilizan tres metodologías predominantes para realizar la medición instrumental del color. La primera de ellas compara el alimento en estudio con estándares visuales; la segunda obtiene el espectro de reflexión o transmisión del objeto en estudio por medio de un sistema físico; en la tercera, las señales de una muestra, obtenidas por reflexión o transmisión, son transformadas a unidades relacionadas con la forma en la que el ojo humano percibe el color, utilizando un sistema colorimétrico triestímulo. Los datos obtenidos, independientemente del sistema utilizado, son convertidos en coordenadas de un sólido tridimensional de color, permitiendo, de esta manera, ubicar el color del objeto en estudio en ese espacio a través de los parámetros calculados (Francis, 1995; Murata et al., 2002).

Los instrumentos utilizados se basan en la reflectancia especular. La misma es provocada cuando el alimento es expuesto a la luz y, aproximadamente, un 4% de la luz se refleja en su superficie. El 96% restante es transmitido hacia la estructura celular. La trayectoria del haz de luz es alterada debido a la estructura del alimento (Abbott, 1999).

Los colorímetros permiten obtener las denominadas coordenadas triestímulo XYZ, definidas por la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) en 1931, con el fin de normalizar las mediciones. Posteriormente, con el fin de mejorar el sistema, en el año 1976 se introdujo el sistema CIE  $L^*a^*b^*$  (Figura 1.5.a), el cual representa un espacio de color de tres dimensiones. El eje  $L^*$  representa la luminosidad y va desde el color negro (valor 0) al blanco (valor 100). El eje  $a^*$  muestra la contribución al color que tienen los componentes rojo (valores positivos) y verde (valores negativos). Por otro lado, el eje  $b^*$  corresponde a la contribución de los componentes amarillo (valores positivos) y azul (valores negativos). De esta manera, todos los colores que se pueden percibir visualmente pueden ser ubicados en este espacio de color (Rocha & Morais, 2003). En

el zumo de zanahoria, una disminución del parámetro  $a^*$  podría relacionarse con la pérdida de color rojo, asociado a un mayor nivel de pardeamiento (Munsch et al., 1983; Szczepańska et al., 2020).

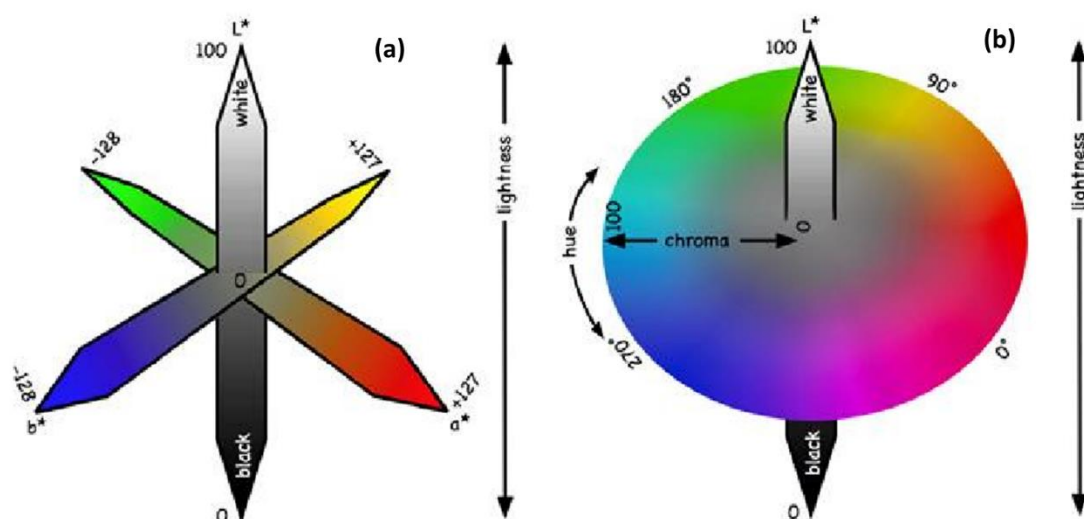


Figura 1.5. Representación de los espacios de color. a) CIE  $L^*a^*b^*$ ; b) CIE  $L^*C^*H^\circ$  (fuente: *Graphic Quality Consultancy*, <http://www.colourphil.co.uk/>).

Además, estos tres valores pueden transformarse mediante fórmulas matemáticas en otro sistema de color denominado  $L^*C^*H^\circ$  (Figura 1.5.b). En este sistema, el parámetro  $C^*$  representa el valor chroma o saturación, para el cual el 0 significa colores grisáceos, apagados, o sin pigmentar, y el valor 60 corresponde a los colores muy vívidos y saturados. El parámetro  $H^\circ$  representa el ángulo que define el tono, en donde  $0^\circ$  (o  $360^\circ$ ) representa al rojo,  $90^\circ$  al amarillo,  $180^\circ$  al verde y  $270^\circ$  al azul. Este sistema es fácil de interpretar porque está relacionado de manera más directa con nuestra percepción visual de las características cromáticas (Korkut, 2012).

#### 1.2.4.3. Enzimas

Las enzimas PPO, POD y PME han sido seleccionadas por distintos autores para evaluar el efecto de los tratamientos de pasteurización en el zumo de zanahoria, por su

estrecha relación con el mecanismo de desarrollo de las principales alteraciones (pardeamiento enzimático y alteración de la turbidez), como ya fue mencionado previamente (apartado 1.2.3).

La PPO y la POD son enzimas oxidativas relacionadas con el pardeamiento de los zumos (Quitão-Teixeira et al., 2008). La POD es considerada, generalmente, como una de las enzimas más termoestables y, por lo tanto, se necesitan tiempos de tratamiento más prolongados para asegurar su inactivación. Por ello, la POD es comúnmente utilizada como indicador de la inactivación de enzimas endógenas y microorganismos durante el calentamiento (Morales-Blancas et al., 2002; Soysal & Söylemez, 2005).

La PME está estrechamente relacionada con la pérdida de turbidez y consistencia, y con la separación de fases, decoloración y gelificación del zumo (Basak & Ramaswamy, 1996; Park et al., 2002). La PME es una enzima presente en la pared celular vegetal que causa la eliminación de grupos metoxilo de las pectinas y produce radicales carboxílicos libres. Una vez alcanzado el grado crítico de esterificación, los cationes divalentes (especialmente el  $\text{Ca}^{2+}$ ) pueden unirse a grupos carboxílicos libres pertenecientes a las cadenas adyacentes de la pectina (Baker & Cameron, 1999). Esta enzima provoca cambios importantes en sustancias pectídicas, carbohidratos, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y otros componentes, afectando las características sensoriales como color, aroma, sabor y textura de los zumos (Pinchao et al., 2014).

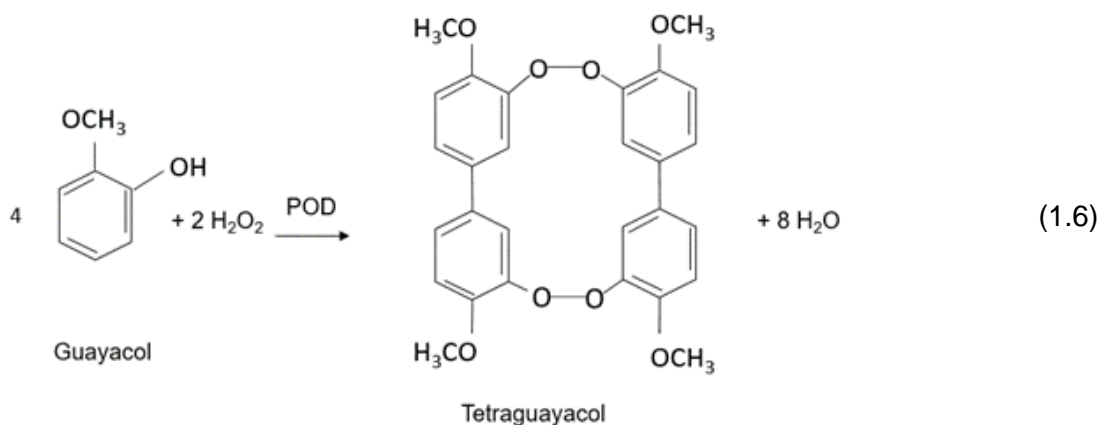
#### Actividad de PPO

Los métodos espectrofotométricos son los más utilizados para medir la actividad de la enzima PPO, por su rapidez y su factibilidad de realización en la mayoría de los laboratorios. Así, la actividad enzimática puede medirse en base a la propiedad de los o-difenoles de absorber fuertemente en longitudes de onda cercanas a los 280 nm, lo que permite medir la formación de estos compuestos a partir de sustratos monofenólicos

(actividad de hidroxilación). En la actualidad, la forma más generalizada de medición es por espectrofotometría visible (400-500 nm), a través de la medición de la velocidad de formación de la correspondiente o-quinona a partir de compuestos o-difenólicos (Yoruk & Marshall, 2003).

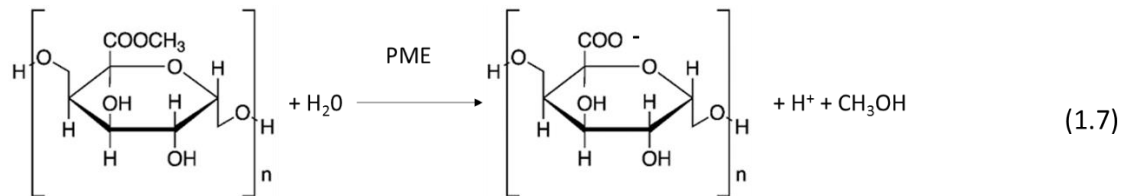
### Actividad de POD

La POD cataliza la oxidación de ciertos compuestos dadores de hidrógeno, como fenoles (guayacol, pirogalol) y aminas aromáticas (o-fenilendiamina) por medio de peróxidos. El sustrato oxidable más usado para medir su actividad es el guayacol. El mismo es oxidado a un complejo coloreado de tetraguayacol en presencia de POD. La velocidad de formación del color rojo ladrillo puede ser utilizada como medida de la actividad enzimática por lecturas espectrofotométricas de las absorbancias en relación con el tiempo. De esta manera, el método más utilizado se basa en la oxidación de guayacol (incoloro) a tetraguayacol (color rojo ladrillo) (reacción 1.6). El sustrato es el guayacol-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Rivas et al., 2006).



### Actividad de PME

La pectina, que se compone de  $\alpha$ -1,4-ácido galacturónico y éster metílico del ácido galacturónico, es degradada por un grupo de pectinasas. Los ésteres metílicos del ácido galacturónico son hidrolizados por la PME (reacción 1.7).

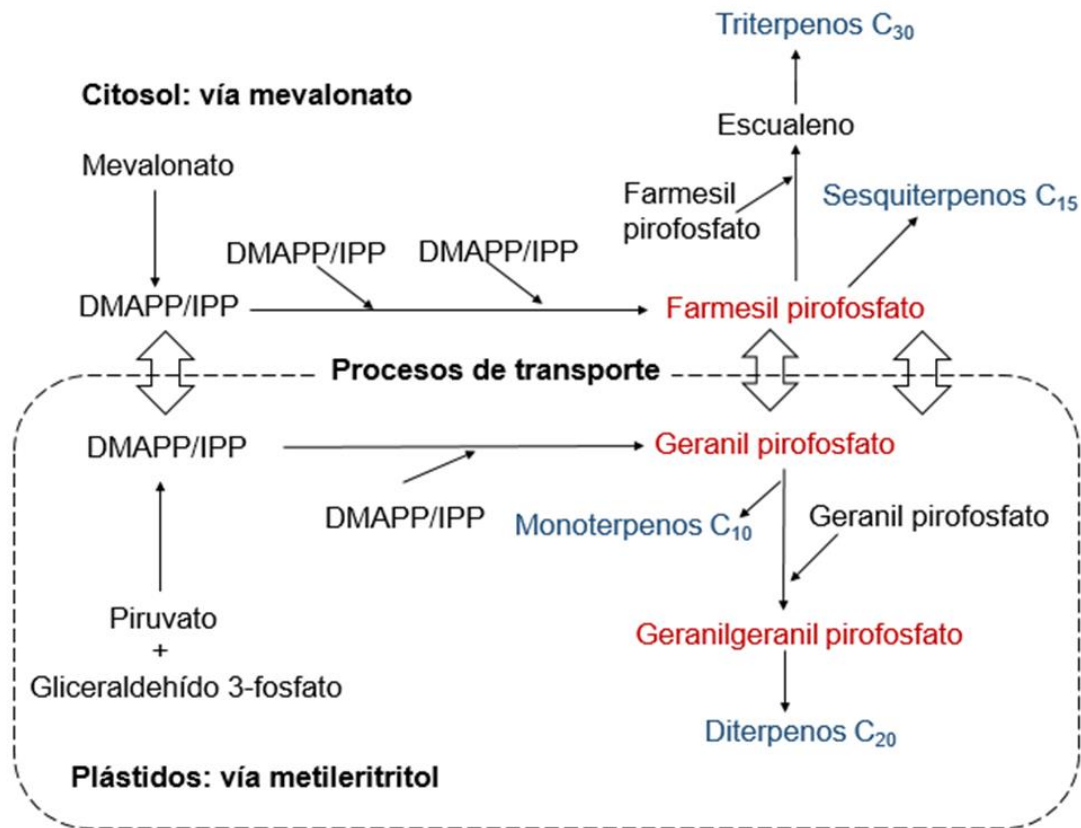


Se han descrito varios métodos para determinar la actividad de la PME midiendo los productos de hidrólisis de la pectina. Por ejemplo, el metanol producido puede determinarse cromatográficamente o colorimétricamente. El ácido producido se puede determinar mediante valoración con un pH-metro. El método cromatográfico para la determinación de metanol es muy sensible, pero no es conveniente para la determinación rutinaria de enzimas. Por otra parte, el método colorimétrico para el metanol y los métodos de valoración de los ácidos requieren grandes volúmenes de reactivos y consumen mucho tiempo. Todos estos métodos no son simples o no poseen la sensibilidad adecuada, mientras que el método basado en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por PME es específico, sensible y simple. A medida que se hidrolizan los enlaces éster (reacción 1.7), se producen grupos ácidos y el pH disminuye, lo que hace que el indicador de pH cambie de color. El cambio de color se controla espectrofotométricamente de forma continua y se determina la velocidad inicial de la reacción (Hagerman & Austin, 1986; Llorach et al., 2003).

#### *1.2.4.4. Compuestos volátiles*

El flavor vegetal proviene de una interacción de factores sensoriales donde los metabolitos secundarios tienen un papel importante. Los terpenoides son una clase de metabolito secundario, sintetizados a partir de unidades de isopreno, que tienen

funciones en la detección y respuesta al estrés (Tholl, 2006) y que son los principales compuestos determinantes del flavor de las zanahorias. Las plantas tienen dos vías biosintéticas para producir los compuestos intermedios que conducen a todos los isoprenoides. Una es la vía del mevalonato (MVA), que ocurre dentro del citosol y la otra vía, independiente del mevalonato, es la del fosfato de metileritritol (MEP), que opera dentro de los plástidos (Brothwell & Brothwell, 1969; Jones, 2008). Ambas rutas, representadas en la Figura 1.6, conducen a la formación de dos intermedios de cinco átomos de carbono, el isopentenil difosfato (IPP) y su isómero, el dimetilalildifosfato (DMAPP). Estos intermedios se transforman posteriormente en geranyl pirofosfato (GPP), farnesil pirofosfato (FPP) y geranylgeranyl pirofosfato (GGPP), que son los tres compuestos precursores de los terpenoides de 10, 15 y 20 átomos de carbono, respectivamente, que se formarán a través de una serie de reacciones de hidroxilación, glicosilación o reducción. Los procesos de transporte, indicados en la Figura 1.6 con flechas de dos puntas, permiten el intercambio de los compuestos entre el plástido y el citosol. En el caso concreto de las zanahorias, Hampel et al. (2005), realizaron un estudio con precursores deuterados y encontraron que el intercambio de los precursores ocurría solo desde los plástidos al citosol, pero no a la inversa. Adicionalmente, la vía MEP conducía a la formación de mono- y sesquiterpenos, mientras que mediante la ruta MVA, solo se formaban sesquiterpenos.



*Figura 1.6.* Esquema de la biosíntesis de terpenoides en el citosol y en los plástidos. DMAPP: dimetilalildifosfato, IPP: isopentenil difosfato (modificado de Jones, 2008).

Uno de los desafíos al que se enfrenta la ciencia del flavor es determinar cuáles de los miles de compuestos volátiles que han sido identificados por una instrumentación analítica, cada vez más poderosa, contribuye realmente al perfil de aroma de los alimentos. Esto implica la combinación de métodos instrumentales y sensoriales (Parker, 2015).

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) es una técnica extremadamente sensible para identificar los compuestos volátiles, pero requiere un extracto que contenga un mínimo de material no volátil y, preferiblemente, nada de agua. Aunque existen numerosas técnicas de extracción de compuestos volátiles de los alimentos, son tres de ellas las que se han popularizado en los últimos veinte años. En primer lugar, la microextracción en fase sólida (SPME), desarrollada

hace 25 años, es la técnica más utilizada para extracción de aromas, y fácil de usar. En segundo lugar, la extracción de flavor asistida por solventes (SAFE) es ampliamente considerada como la técnica que proporciona un extracto aromático más representativo del aroma del alimento en sí. Finalmente, la extracción en fase sólida (SPE), que se usa ampliamente en todos los aspectos de la química analítica para la limpieza de analitos, tiene un gran potencial para el análisis de los compuestos aromáticos más polares en alimentos bajos en grasa (Elmore, 2015).

La metodología SPME ha sido seleccionada para la extracción de los compuestos volátiles en zumo de zanahoria, por ser la más específica para los compuestos presentes y además porque no utiliza solventes (Elmore, 2015). SPME utiliza una fibra de sílice fundida recubierta, colocada dentro de un dispositivo similar a una jeringa (Figura 1.7). Aunque la fibra se puede sumergir directamente en una muestra líquida para la extracción de los compuestos volátiles, es más apropiado obtener un extracto del espacio superior de la muestra de alimento (Zhang & Pawliszyn, 1993) porque el material no volátil en los alimentos, particularmente los lípidos, puede contaminar la fibra, haciéndola inadecuada para su uso. Durante la extracción de SPME, existe un equilibrio entre la muestra, el espacio de cabeza y la fibra, para todos los compuestos volátiles de la muestra. Al minimizar el volumen del espacio de cabeza, la cantidad de material absorbido/adsorbido en la fibra se puede maximizar. Las fibras SPME se pueden recubrir con material absorbente (los volátiles se unen a la superficie de la fibra) o adsorbente (los volátiles quedan atrapados dentro de los poros en la fase estacionaria) o una combinación de ambos (Shirey, 2000).





*Figura 1.7.* Microextracción en fase sólida (SPME) que muestra la fibra en posición baja y alta (Elmore, 2015).

#### 1.2.4.5. Capacidad antioxidante total

La actividad antioxidante total es un parámetro que cuantifica la capacidad de una muestra biológica compleja para eliminar los radicales libres (Khandare et al., 2011). Los zumos de vegetales muestran una alta capacidad antioxidante que puede ser cuantificada mediante ensayos bioquímicos (Giovanelli & Pagliarini, 2009). Dichos ensayos se basan en dos reacciones de los antioxidantes para reducir los radicales libres: transferencia de electrones simples o transferencia de átomos de hidrógeno (Ozgen et al., 2006). Entre las metodologías basadas en la reacción de transferencia de electrones, se encuentran *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP) (Benzie & Strain, 1996; Nazzaro et al., 2008; Song et al., 2006), 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) (Brand-Williams et al., 1995; Dumbravă et al., 2011; Kedare & Singh, 2011) y 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico (ABTS) (Kim, 2015; Ozgen et al., 2006). Se trata de metodologías simples, económicas, fáciles de interpretar y que muestran, o la capacidad reductora (FRAP) o la inhibición directa de radicales libres (DPPH y ABTS).

El ensayo FRAP es un método espectrofotométrico que mide la reducción, en presencia de antioxidantes y medio ácido, de un complejo formado por un cromógeno incoloro, TPTZ (2, 4, 6- tripiridil-s-triazina) y cationes férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), a un complejo ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ) de un color azul verdoso intenso. La actividad antioxidante se determina como el aumento de la absorbancia medida a 593 nm, que varía de forma lineal con la concentración del complejo formado (Huet Breña, 2017). En el ensayo FRAP, se usa un exceso de  $\text{Fe}^{3+}$  y de esta manera el factor limitante de la formación de  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ y, por lo tanto, del color, es la capacidad reductora de la muestra. Los resultados de la metodología FRAP se suelen expresar en términos de la cinética de reacción y relaciones dosis-respuesta, utilizando como referencia soluciones de ácido ascórbico, ácido úrico, bilirrubina, Trolox (un análogo soluble en agua de la vitamina E),  $\alpha$ -tocoferol o albúmina (Benzie & Strain, 1996).

#### *1.2.4.6. Carotenoides*

Los carotenoides con actividad provitamina A son componentes esenciales de la dieta humana. Los carotenoides también actúan como antioxidantes biológicos, protegiendo las células y los tejidos del daño oxidativo. Los carotenoides como el  $\alpha$ -caroteno, el  $\beta$ -caroteno, el licopeno y las xantofilas son pigmentos solubles en lípidos, de color naranja, amarillo y rojo (Lobo et al., 2018).

Los carotenoides son responsables del color de las zanahorias. El contenido total de carotenoides en las zanahorias es variable, al igual que la proporción de  $\beta$ -caroteno (60-80%),  $\alpha$ -caroteno (10-40%), xantofilas y otros carotenoides (aproximadamente 10%) y de sus isómeros (Munsch et al., 1983). Así como en la zanahoria, en su zumo los principales carotenoides son el  $\beta$ -caroteno y el  $\alpha$ -caroteno (Kim et al., 2001).

El procedimiento general de análisis de carotenoides consiste en: i) extracción; ii) partición con éter de petróleo o hexano; iii) saponificación; iv) concentración; v)

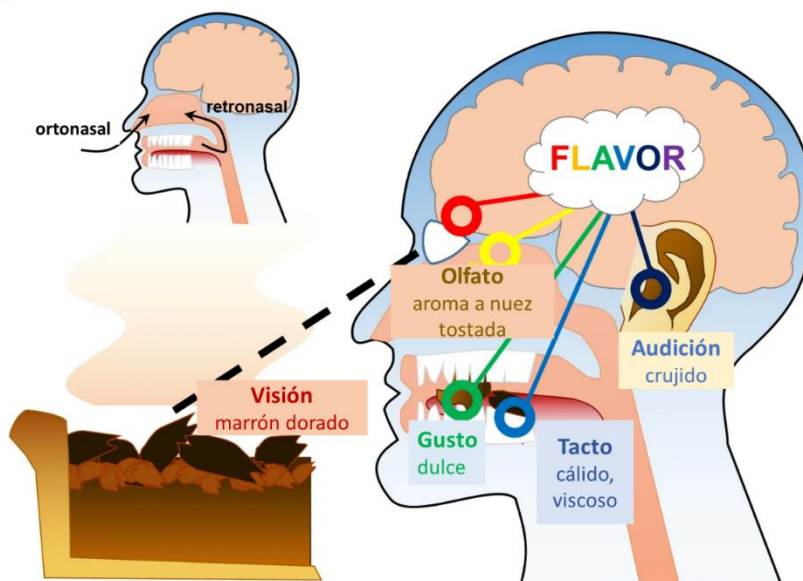
separación cromatográfica; y vi) identificación y cuantificación. La partición puede ser eliminada en los métodos que emplean cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). La saponificación se usa para eliminar clorofilas y lípidos indeseables y para hidrolizar hidroxicarotenoides esterificados con ácidos grasos, liberando los carotenoides. Sin embargo, esta etapa debe ser evitada siempre que sea posible, puesto que puede causar degradación y producir compuestos artificiales, además de prolongar la duración del análisis. La determinación por HPLC es la técnica preferida en la actualidad. La mayoría de los métodos utilizan HPLC de fase reversa con columna C18, en la cual las interacciones son suaves, evitando, por lo tanto, la degradación de los carotenoides durante la cromatografía (Moron et al., 1997).

#### *1.2.4.7. Evaluación sensorial*

El color de un alimento es la consecuencia de una composición determinada y bajo ciertas condiciones. La Organización Internacional de Normalización (ISO, 2008) define la percepción de color como “la sensación de tonalidad, saturación y luminosidad inducida por la estimulación de la retina por rayos de luz de varias longitudes de onda”. Actualmente, se considera un aspecto complejo que es estudiado de múltiples formas por académicos en diferentes disciplinas (Elliot & Maier, 2014).

El flavor, originalmente pensado como la dependencia de la sensación combinada tanto del sabor como del olor de un alimento, en realidad proviene de la estimulación combinada de los cinco sentidos (Baral, 2015) (Figura 1.8). El flavor se puede definir como la “combinación compleja de las sensaciones olfativas, gustativas y percibidas trigéminamente durante la degustación y puede estar influenciado por efectos táctiles, térmicos, dolorosos y/o cinestésicos” (ISO, 2008). Todo esto implica que las personas perciben los alimentos como una experiencia multisensorial, más que como una serie de eventos discretos unisensoriales. Además, nuestros sentidos pueden clasificarse en dos categorías amplias, dependiendo de cuándo contribuyen en el procesamiento de

diferentes señales sensoriales: señales anticipatorias o exteroceptivas y señales consumatorias o interoceptivas. La primera de ellas involucra a los sentidos que se estimulan antes de que el alimento o bebida se coloque en la boca. Estos incluyen el olfato ortonasal (es decir, olfatear la comida), la visión (por ejemplo, color, textura visual, brillo, etc.), la audición (es decir, los sonidos asociados con la comida) y la somatosensibilidad, por manipulación directa o indirecta. El segundo grupo de sistemas sensoriales incluye aquellos sentidos que se estimulan una vez que la comida o bebida ha entrado en nuestra boca. Estos comprenden la somatosensibilidad oral (incluido el tacto, la retroalimentación propioceptiva y el gusto), la quimiostesis, la audición y el olfato retronasal, es decir, sustancias químicas volátiles percibidas a través de las fosas nasales posteriores (Piqueras-Fizman & Spence, 2016).



*Figura 1.8.* Influencia de la información combinada de los cinco sentidos en la percepción del flavor (modificada a partir de:

<http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2016/brain-tricks-to-make-food-taste-sweeter-how-to-transform-taste-perception-and-why-it-matters/>).

### Pruebas de ordenamiento de preferencia de color y flavor

Las pruebas sensoriales de diferencia de atributos se centran en la evaluación de uno o de un pequeño número de atributos (por ejemplo, dulzura, preferencia, frescura, etc.), en lugar de evaluar la similitud o diferencia general entre productos. No intentan proporcionar una caracterización completa de las propiedades sensoriales de un producto, que pueden obtenerse de un análisis descriptivo. En este sentido, la prueba de ordenamiento simple, utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizado, es adecuada cuando se pretende comparar varias muestras según un único atributo, por ejemplo, la preferencia. El ordenamiento es la forma más sencilla de realizar tales comparaciones, pero los datos son meramente ordinales y no se obtiene una medida del grado de diferencia de cada encuestado. Las muestras consecutivas que difieran estarán separadas por una unidad de rango. La clasificación requiere menos tiempo que otros métodos y es particularmente útil cuando las muestras deben clasificarse previamente o seleccionarse para un análisis posterior. Para la realización de la prueba se requieren al menos ocho personas, mejorando la discriminación si se utilizan dieciséis o más (Meilgaard et al., 2007).

### Pruebas afectivas cuantitativas

Las pruebas afectivas cuantitativas son aquellas que determinan las respuestas de aceptabilidad de un grupo grande de consumidores (desde 50 hasta varios cientos) a un conjunto de preguntas sobre elección, preferencia, agrado, atributos sensoriales, etc.

Los métodos afectivos cuantitativos se aplican para determinar la preferencia general o el gusto por un producto o productos por una muestra de consumidores que representan la población a la que está destinado el producto.

Dentro de las pruebas afectivas, la prueba de aceptabilidad se utiliza cuando se necesita determinar el "estado afectivo" de un producto, es decir, qué tanto les gusta a los

consumidores. En esta prueba se puede utilizar una escala hedónica para indicar los grados de inaceptable a aceptable, o “le gusta” o “no le gusta.” Las pruebas de aceptabilidad son, de hecho, muy similares a las pruebas de diferencia de atributos, excepto que el atributo aquí es aceptación o agrado. Se pueden utilizar diferentes tipos de escalas, como categoría, escalas de línea o escalas de estimación de magnitud para medir el grado de agrado por un producto (Meilgaard et al., 2007).

### 1.3. Tratamientos térmicos de preservación de los alimentos

#### 1.3.1. Tratamiento térmico convencional

En las tecnologías tradicionalmente aplicadas para el procesamiento de alimentos la temperatura es el principal factor para la preservación. Estas tecnologías se emplean principalmente para inactivar microorganismos patógenos y/o alteradores y enzimas, y así extender la vida útil de los alimentos y se aplican durante las etapas de producción, transformación y conservación de los mismos. Entre éstas, el escaldado es un proceso térmico, a altas temperaturas durante un período corto de tiempo, y se aplica como pretratamiento a vegetales y frutas. Además de disminuir la carga microbiana e inactivar enzimas, contribuye con un ablandamiento parcial de los tejidos. Sin embargo, el proceso de escaldado en sí mismo puede ejercer algún efecto de deterioro en los componentes nutricionales y en los atributos de calidad sensorial del producto (Shen & James, 2018). La esterilización y la pasteurización son procesos de calentamiento aplicados con el fin de preservar los alimentos, ya que inactivan microorganismos patógenos y/o alteradores. Por otro lado, la deshidratación y el secado son procesos de calentamiento que se aplican para eliminar la mayor parte del agua de los alimentos por evaporación (o por sublimación para el secado por congelación), para extender la vida útil de los alimentos debido a una reducción en su actividad del agua.

En los tratamientos térmicos convencionales (TC), como la pasteurización, el alimento se pone en contacto con un medio líquido o sólido a diferente temperatura estableciéndose un flujo de energía o masa entre ambos (Wang & Sun, 2012). La penetración de calor en el punto frío de los alimentos se enfrenta a las resistencias convectiva del medio de calentamiento, de la superficie exterior del recipiente y de la superficie interior en contacto con el producto, así como a la resistencia del material de envasado y a la del alimento.

El mecanismo de transferencia de calor a través de la pared del recipiente es por conducción. Con respecto a la transferencia de calor desde la pared del recipiente al producto, el mecanismo depende en gran medida de la viscosidad del alimento. Los alimentos líquidos y semilíquidos se calientan principalmente por convección, mientras que los alimentos sólidos se calientan por conducción. Sin embargo, en semilíquidos un aumento de la viscosidad y la presencia de partículas sólidas afectan la velocidad de transferencia de calor y hacen que el proceso sea más complejo (Ahmed & Shivhare, 2012).

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales tratamientos térmicos aplicados al zumo de zanahoria es el escaldado, con el fin de inhibir la actividad enzimática (Shen & James, 2018), ablandar las zanahorias y facilitar la extracción de zumo (Bates et al., 2001). Sin embargo, este tratamiento es insuficiente y el zumo de zanahoria debe ser sometido a un régimen de pasteurización mucho más severo que los zumos de frutas; por ejemplo, a ultra alta temperatura (Ashurst et al., 2017). Un ejemplo de una línea automatizada para la producción de zumo de zanahoria que aplica esterilización a ultra alta temperatura se muestra en la Figura 1.9. En la misma, el proceso de esterilización se realiza en tubos, los que contienen una determinada sección de calentamiento, esterilización y cocción. Se compone principalmente de un intercambiador de calor de carcasa en tubo y una bomba de alimentación, contando

además con un sistema de llenado aséptico (simple/doble), sistema operativo, sistema de control por computadora, medidor de peso, operación, plataforma, etc.

El zumo también puede ser sometido a tratamientos de pasteurización; por ejemplo, pasteurización a 80 °C, enfriado, adición de 600 ppm de benzoato de sodio y embotellado; o también pasteurización a 80 °C, llenado en caliente en botellas de vidrio de 160 mL, tapado, procesado con calor en agua hirviendo durante 15 min y enfriado. Otro tratamiento, usualmente aplicado al zumo de zanahoria, es el enlatado y esterilización a 121 °C. Por último, otro tratamiento aplicado es el procesamiento a alta temperatura y corto tiempo (HTST) (110 °C durante 8,6 s) (Sharma, 2018).



*Figura 1.9.* Sistema de esterilización y llenado aséptico en línea en un proceso automatizado comercial de producción de zumo de zanahoria (fuente: <https://shchase.en.made-in-china.com>).

Las tecnologías térmicas, debido a su efectividad para la inactivación microbiana y el menor costo de inversión, han tenido una amplia inserción para prolongar la vida útil de los zumos de hortalizas. Si bien con su aplicación se alcanza el objetivo principal, que es la inocuidad de los alimentos, hay efectos secundarios no deseados que han sido reportados en zumos de zanahoria. Entre estos defectos se mencionan las modificaciones en el flavor, la acción de enzimas que alteran el producto y la pérdida de nutrientes, entre otros (Gouma et al., 2020; Quitão-Teixeira et al., 2009; Riganakos et



al., 2017; Roux et al., 2016). En este sentido, *Food and Drugs Administration* de Estados Unidos (FDA) recomienda a las empresas elaboradoras de zumo de zanahoria colocar la leyenda “mantener refrigerado” en las etiquetas, además de implementar medidas de control para la reducción de patógenos. Estas recomendaciones se aplican cuando el tratamiento efectuado no haya sido suficiente para destruir las esporas proteolíticas de *Clostridium botulinium*. La destrucción de estas esporas de las cepas proteolíticas requiere un tratamiento térmico más severo; sin embargo, la germinación de esporas proteolíticas se puede prevenir también con tratamientos térmicos no tan severos, bajo refrigeración (FDA, 2007).

Por lo tanto, un desafío continuo para la industria alimentaria es el desarrollo de tecnologías que minimicen los efectos negativos de los tratamientos térmicos convencionales sobre los atributos de calidad, disminuyan los tiempos de procesamiento y garanticen la inocuidad a los consumidores.

### 1.3.2. Calentamiento óhmico

El calentamiento óhmico (CO) es una tecnología de procesamiento térmico en la que una corriente eléctrica alterna pasa a través de un alimento conductor de electricidad. La energía eléctrica suministrada se libera dentro de los alimentos en forma de calor (Sensoy, 2012). De esta manera, el calor se genera internamente por efecto Joule, evitando un proceso de transferencia, que es el fundamento de los métodos convencionales.

El aprovechamiento del efecto Joule para calentar alimentos no es novedoso. Ya se produjeron intentos de utilizar el fenómeno a fines del siglo XIX y principios del XX (De Halleux et al., 2005; Goullieux & Pain, 2014). Sin embargo, la dificultad para el control de la temperatura, corriente y tensión, sumados a la aparición de fenómenos de electrólisis, hicieron imposible la aplicación industrial del método. A comienzos de la

década de 1990 resurgió el estudio de este método, que hoy aparece como prometedor, cuando se desarrolló, con apoyo del “*Electricity Council Research*” de Inglaterra, un equipo industrial de 75 kW a cargo de la firma APV (De Halleux et al., 2005).

La tecnología de CO está estableciendo claramente un punto de apoyo en la industria alimentaria, en una era en la que la competencia de tecnologías no térmicas ha cobrado importancia. Entre ellas, el procesamiento por altas presiones hidrostáticas y los campos eléctricos pulsados (una tecnología hermana del CO) han despertado mucha atención en los últimos años. Sin embargo, por sí mismos, los métodos no térmicos no inactivan las esporas ni las enzimas. De hecho, ha sido necesario que el procesamiento a alta presión se combine con el calentamiento para lograr recientemente la aprobación de la FDA. Es por ello que es más apropiado utilizar el término procesamiento térmico asistido por presión. A diferencia de estas tecnologías, la del CO, al ser una tecnología térmica, no tiene la limitación de no inactivar las esporas o enzimas; sin embargo, resulta esencial aplicar el tratamiento térmico de forma adecuada para garantizar que se minimicen los aspectos negativos del mismo (Sastry, 2014), como el aislamiento del sistema, el control del proceso o la presencia de puntos fríos, entre otros (Evrendilek et al., 2012).

Por la naturaleza física del fenómeno en el cual el método se sustenta, el valor de la conductividad del alimento es fundamental. Este parámetro puede variar en dos órdenes de magnitud de un alimento a otro (De Halleux et al., 2005); además depende de la frecuencia y varía en un alimento heterogéneo (Mitchell & De Alwis, 1989). Por otra parte, se ha demostrado que la conductividad varía linealmente con la temperatura (Icier & Ilicali, 2005a). Si bien el 70% de los alimentos son conductores y pueden ser sometidos a esta tecnología, las condiciones varían según el alimento a calentar, lo que ha complicado la utilización del método pues encarece algunos costos (De Halleux et al., 2005). Esto es debido a que el diseño de un calentador óhmico necesita ser

adaptado a las especificaciones de cada producto, ya que se deben conocer conductividades eléctricas, formulación, temperaturas iniciales, caudales o tiempos de permanencia de las partículas, temperaturas de salida, velocidades de carga de sólidos, y el control de todos estos parámetros. Los parámetros del proceso deben garantizar la inocuidad del producto al mismo tiempo que maximizan su calidad (Sensoy, 2012).

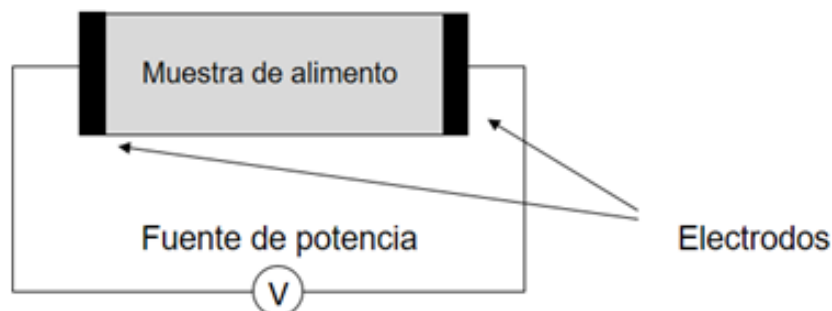
#### *1.3.2.1. Principios del calentamiento óhmico*

El CO de los productos alimenticios implica el paso de corriente alterna a través de ellos, generando así calor interno como resultado de la resistencia eléctrica de los componentes de los alimentos (Reznick, 1996). Durante el proceso se aplica voltaje a los electrodos situados en ambos extremos de la celda de calentamiento que contiene el alimento, siendo éste parte del circuito eléctrico (Figura 1.10) (Ruan et al., 2001). La velocidad de generación de calor interno local ( $Q$ ), durante el CO, se calcula utilizando la Ley de Ohm para voltaje constante según la ecuación 1.1 (Marcotte, 1999).

$$Q = E^2 \sigma \quad (\text{Ec. 1.1})$$

donde  $E$  es la intensidad del campo eléctrico aplicado (V/m) o gradiente de voltaje y  $\sigma$ , es la conductividad eléctrica (S/m).

La intensidad del campo eléctrico se puede variar ajustando el espacio entre los electrodos o el voltaje aplicado (Figura 1.10). Sin embargo, el factor más importante es la conductividad eléctrica del alimento y su dependencia de la temperatura.



*Figura 1.10.* Principio del calentamiento óhmico (traducido de Sensoy, 2012).

La conductividad eléctrica se refiere a la capacidad de un material, en este caso un alimento, para transportar una carga eléctrica. Al introducir una diferencia de voltaje eléctrico a través de un material conductor, las cargas fluirán a través del conductor generando una corriente eléctrica (principalmente alterna). La existencia del componente electrolítico, como la sal y los ácidos en los materiales alimenticios, permite que la corriente eléctrica pase a través de ellos. De esta manera, la base de la tecnología de CO es el paso de una corriente eléctrica a través de los sistemas alimentarios, que genera calor internamente tanto en la fase líquida como en la sólida y eleva la temperatura, la cual puede servir para esterilizar los alimentos (Ramaswamy et al., 2014). Si el producto tiene más de una fase, como en el caso de una mezcla de líquido y partículas, se debe considerar la conductividad eléctrica de todas las fases. La conductividad eléctrica aumenta con la temperatura, por lo que el CO se vuelve más efectivo a medida que esta aumenta. Dado que la conductividad eléctrica está influenciada por el contenido iónico, es posible ajustar la conductividad eléctrica del producto (ambas fases) con concentraciones de iones (por ejemplo, sales) para lograr un CO efectivo (Ruan et al., 2001).

Para que un alimento pueda ser procesado por medio de CO, éste debe tener una conductividad eléctrica comprendida en el rango de 0,01–10 S/m (Niakousari et al.,

2019). En este sentido, el CO ha sido ampliamente aplicado a alimentos líquidos. Palaniappan y Sastry (1991) estudiaron el efecto de la temperatura, contenido de sólidos, voltaje aplicado y tamaño de partículas sobre la conductividad eléctrica de zumo de tomate, zumo de naranja y sobre una solución de 20% de sólidos de zumo de zanahoria en buffer fosfato de sodio 0,1 M (Ramaswamy et al., 2014).

En un sistema de CO, la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ), expresada en S/cm, puede ser determinada a partir de la resistencia de la muestra y la geometría de la celda de calentamiento, de acuerdo a la ecuación 1.2 (Palaniappan & Sastry, 1991).

$$\sigma = \left(\frac{1}{R}\right) \left(\frac{L}{A}\right) \quad (\text{Ec.1.2})$$

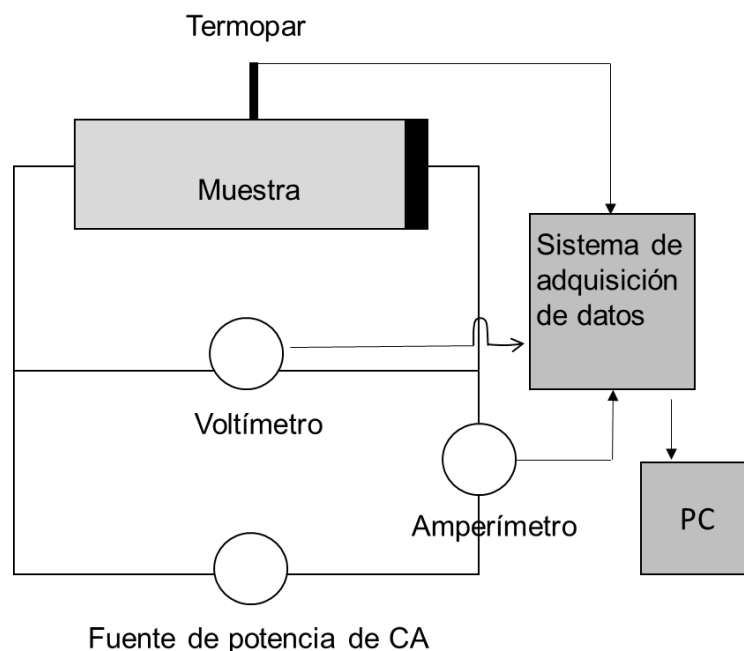
donde L es la distancia entre los electrodos (cm); A es la sección transversal de los electrodos (cm<sup>2</sup>); y R es la resistencia de la muestra ( $\Omega$ ), que puede ser calculada a partir del voltaje (V, en V) y la corriente (I, en A), como  $R=V/I$ .

La relación entre la conductividad eléctrica del líquido y la resistencia a través de los electrodos depende de la constante de celda, L/A, es decir, de la relación entre la distancia entre los electrodos y el área de los mismos. Para medir la conductividad con precisión, es necesario determinar dicha constante. Si bien es posible medir la geometría de la celda si es lo suficientemente grande, la práctica habitual es medir primero la resistencia de la celda llena con una solución cuya conductividad eléctrica se conoce con precisión. Como referencia, se utilizan normalmente soluciones acuosas de cloruro de potasio. Se ha reportado que, para líquidos de conductividades altas, para aumentar la sensibilidad de la medición, se deberían usar constantes de celda altas, es decir, electrodos pequeños y grandes distancias entre los mismos. Mientras que, para conductividades pequeñas, la relación L/A debe ser muy baja. Por lo tanto, en estos casos se utilizarán electrodos grandes y la longitud entre ellos será corta (Ramaswamy et al., 2014).

### 1.3.2.2. Equipo de calentamiento óhmico

En el proceso de CO de flujo continuo, el producto alimenticio viscoso que contiene partículas ingresa al sistema a través de una bomba de alimentación y fluye a través de una serie de electrodos en la columna óhmica, donde se calienta a la temperatura de procesamiento. Posteriormente, el producto ingresa a los tubos de retención durante un tiempo fijo y fluye a través de enfriadores tubulares hacia tanques de almacenamiento, donde se almacena hasta su llenado y empaquetado. La mayoría de las configuraciones del sistema de CO constan de tres módulos: conjunto de calentador, fuente de alimentación y panel de control (Ruan et al., 2001).

En la Figura 1.11 se presenta un esquema de un circuito de CO estático. Un sistema típico contiene una celda de calentamiento con dos electrodos instalados en los extremos, una fuente de alimentación, termómetros, registrador de datos y una computadora.



*Figura 1.11.* Diagrama de un circuito de CO estático. CA: corriente alterna (traducido de Tumpanuvatr & Jittanit, 2012).

Los primeros equipos de CO intentaron utilizar una variedad de materiales de electrodos, desde grafito hasta aluminio o acero inoxidable. En estos primeros diseños, el efecto electrolítico que provocaba la disolución de los electrodos metálicos se despreciaba por completo y la tecnología de materiales no había avanzado como para disponer de un material de electrodo adecuado. Las tecnologías recientes utilizan electrodos compatibles con alimentos.

Otra forma de superar el problema de la electrólisis incluye la utilización de alta frecuencia de potencia, ya que a frecuencias alternas elevadas, no habría disolución aparente del metal (Ruan et al., 2001). En este sentido, se han diseñado equipos de CO estáticos, los cuales en lugar de alimentarse por corriente continua utilizan corriente alterna de alta frecuencia (Diaz Ramos & Tacca, 2013; Soldati et al., 2019). La frecuencia de 60 KHz de corriente alterna es suficientemente alta para evitar fenómenos de electrólisis, que podrían corroer los electrodos y/o alterar los alimentos procesados. Esto hace innecesario el uso de electrodos fabricados con materiales costosos como el titanio, platino o el grafito, que pueden corroerse y, aunque sean inocuos, se incorporarían en una pequeña proporción al alimento procesado. Por otra parte, la utilización de alta frecuencia reduce el tamaño del transformador de potencia necesario para brindar un funcionamiento aislado por razones de seguridad (Diaz Ramos & Tacca, 2013).

#### *1.3.2.3. Ventajas e inconvenientes del calentamiento óhmico*

Entre las ventajas de la aplicación de CO se encuentra el calentamiento volumétrico. En este sentido, debido a que el alimento es calentado desde dentro hacia afuera genera bajos gradientes de temperatura en el interior del mismo, asegurando una distribución uniforme del calor. Esto constituye una ventaja en relación a los métodos de calentamiento por transferencia de calor y también respecto a los métodos inductivo y por microondas (que pueden producir calentamiento superficial por efecto *skin*). Como

consecuencia, los tiempos de exposición del alimento al calor son menores y la profundidad de penetración del calor no es un problema (De Halleux et al., 2005).

Una de las aplicaciones del CO es la pasteurización, asegurando la inocuidad de los alimentos y la inactivación de enzimas, además, minimizando algunos aspectos negativos del tratamiento térmico tradicional, fundamentalmente en la preservación de compuestos de alto valor nutricional, sin afectar el sabor en los zumos (Zareifard et al., 2015). Esto es debido a que el calor se distribuye en forma homogénea, evitando el sobrecalentamiento del alimento y permitiendo así la preservación de nutrientes y de las características organolépticas del producto (Cervantes Hernández et al., 2017).

Así mismo, el CO como tecnología térmica emergente para el procesamiento de alimentos presenta la ventaja de la reducción del consumo energético, aumentando la eficiencia del proceso por encima de un 90% (De Halleux et al., 2005).

En general, los sistemas de CO presentan las siguientes ventajas (Ruan et al., 2001; Varghese et al., 2014):

- Optimización de la inversión (mayor eficiencia, bajo coste de capital).
- Fácil control del proceso con encendido y apagado instantáneos.
- Costes de mantenimiento bajos (no hay partes móviles).
- Pueden calentar alimentos en partículas y mezclas de partículas y líquidos.
- Se pueden alcanzar rápidamente altas temperaturas, por ejemplo, las necesarias para el procesamiento a ultra alta temperatura.
- Existe un bajo riesgo de que el producto se dañe debido al quemado, ya que no hay superficies calientes para la transferencia de calor.
- Es un sistema silencioso y ecológico.

En comparación con el TC, el aumento de temperatura en el CO es más uniforme, debido a que el calentamiento se realiza de forma volumétrica. Así mismo, no implica



mecanismos de transferencia de calor por convección y conducción en la cámara de calentamiento. Paralelamente, reduce la posibilidad de existencia de punto frío en el alimento, el daño térmico y las pérdidas nutricionales, al tiempo que aumenta la letalidad general en la mezcla. Es un método de calentamiento más rápido que los métodos convencionales. Dado que la degradación de las proteínas y las incrustaciones en las superficies del equipo durante el CO son menores que en el TC, los costes de limpieza y mantenimiento son relativamente bajos.

Sin embargo, todavía hay situaciones a las que prestar especial atención en los sistemas de CO. Entre los inconvenientes del proceso se encuentran los siguientes:

- Necesidad de un aislamiento eléctrico adecuado.
- Necesidad de un sistema de control de procesos preciso y operado por personal bien capacitado.
- Según el tipo de alimento, hay partes que no se pueden procesar, como las partes no conductoras o algunos componentes como los glóbulos de grasa.
- Si el aumento de temperatura es muy rápido e incontrolable, puede producir un calentamiento "descontrolado" (Evrendilek et al., 2012).

A nivel internacional, las industrias de alimentos adoptan, cada vez más, las denominadas “tecnologías emergentes de preservación”, bien por ser consideradas más limpias en relación al cuidado del ambiente o porque contribuyen a la diferenciación de los alimentos, por sus características y por consiguiente, generan nuevos productos, en respuesta a los requerimientos de los consumidores actuales (Dominguez et al., 2016). Sin embargo, en Argentina se han desarrollado pocos trabajos en los cuales se estudien la aplicación de tecnologías emergentes en alimentos, a escala laboratorio. La limitante para avanzar en la generación de conocimiento en cuanto a estas tecnologías y facilitar su incorporación en la industria alimentaria nacional es la limitada posibilidad de

inversión en equipamiento en el sector científico-tecnológico y la escasa disponibilidad de servicio técnico en el país (Bocchetto et al., 2014).

En base a esto, se plantea la necesidad de generar capacidades nacionales en el diseño, desarrollo y aplicaciones de prototipos en base a estas tecnologías para iniciar estudios en alimentos de relevancia nacional.

#### *1.3.2.4. Aplicaciones comerciales del calentamiento óhmico en la industria alimentaria*

La capacidad de lograr velocidades de calentamiento rápidas y relativamente uniformes ha convertido al CO en una opción atractiva en el procesamiento de alimentos que contienen partículas. Desde los años 90, varios fabricantes nuevos han desarrollado aún más la tecnología y el costo de los equipos por kilovatio de energía eléctrica ha disminuido considerablemente a lo largo de los años. Un aspecto clave en el desarrollo de equipos menos costosos ha sido la aparición de la tecnología de suministro de energía en estado sólido, como el Transistor Bipolar de Puerta Integrada (IGBT) en 1997, que se utilizó como controlador en los electrodomésticos. Estos dispositivos han alterado sustancialmente el costo y la huella ambiental de los equipos. Por otro lado, un beneficio adicional ha sido el avance en la eliminación de los efectos electrolíticos mediante el control de frecuencia. Un progreso paralelo de *Electricité du France* ha sido el desarrollo de materiales mejorados (ánodos dimensionalmente estables) que han permitido el funcionamiento a la frecuencia eléctrica europea de 50 Hz (Sastry, 2004).

Los sistemas comerciales de CO están disponibles por parte de varios proveedores, incluidos SPX (anteriormente APV, Crawley, Reino Unido), Raztek Corp. (Sunnyvale, CA, EE. UU.), Emmipiemme SRL (Piacenza, Italia) y Simaco (Piacenza, Italia). Paralelamente, varias empresas están investigando esta tecnología y se estima que hay al menos 18 plantas comerciales en funcionamiento en Europa, Estados Unidos y Japón (Ruan et al., 2001). Además, se han suministrado equipos de Emmipiemme SRL a

México y Costa de Marfil para el procesamiento de fresa y de tomate y mango, respectivamente. También se están produciendo huevo líquido y comidas preparadas de baja acidez.

La extracción o el escaldado por CO son otras aplicaciones que se han investigado en la industria alimentaria. Sin embargo, el verdadero éxito de esta tecnología se ha producido en el área de procesamiento de frutas y verduras y productos multifase. Algunos ejemplos de productos procesados en las plantas industriales instalados por Emmpiemme SRL. son: salsa de tomate lista para servir, puré de mango, pasta de tomate, tomates cortados, puré de tomate, duraznos-albaricoques (dados, rodajas, mitades), pimientos dulces picados-calabacín, rodajas de zanahoria, purés de verduras de baja acidez, fresas (enteras, cortadas en cubitos) (Ramaswamy et al., 2014).

La aplicación de CO en zumos ha tenido, fundamentalmente, el objetivo de inactivar enzimas y esporas con las ventajas de mejorar la inocuidad y la vida útil, y lograr mayor estabilidad y eficiencia energética, consiguiendo así la inactivación de enzimas en menor tiempo sin afectar el sabor (Loypimai et al., 2009). La aplicación de CO con fines de pasteurización de zumos ha sido estudiada en zumos de manzana, cereza ácida, naranja, uva, granada y membrillo (Jaeger et al., 2016).

Hasta la fecha, no se ha hallado información sobre pasteurización de zumo de zanahoria. Lo que sí se ha estudiado es la aplicación de CO en cubos de zanahoria para aumentar el rendimiento en la obtención de zumo, obteniendo efectos positivos sobre el color (Ranmode & Kulshreshtha, 2011). Otro estudio evaluó el efecto combinado de CO y agentes acidificantes sobre la destrucción de esporas de *B. licheniformis* en zumo de zanahoria, en el cual el CO mostró una tasa de destrucción bacteriana considerablemente mejor que la del TC (Tola & Ramaswamy, 2014).

Estos antecedentes resultan prometedores para la aplicación de CO en zumo de zanahoria, aunque sería necesario estudiar la calidad integral del zumo tras la aplicación de esta tecnología. Por ello, se describen a continuación los efectos que el tratamiento óhmico puede causar en los componentes y en los parámetros sensoriales de los alimentos.

#### *1.3.2.5. Efecto del calentamiento óhmico sobre las enzimas*

La información de los efectos de los campos eléctricos moderados durante el CO sobre las actividades de las enzimas relevantes en alimentos es aún limitada. Castro et al. (2004a) han investigado los efectos del CO en varias enzimas, como la lipoxigenasa (LOX), la polifenoloxidasas (PPO), la pectinasa (PEC), la fosfatasa alcalina (ALP) y la  $\beta$ -galactosidasa ( $\beta$ -GAL). Este estudio demostró que la presencia de un campo eléctrico durante el calentamiento tiene un efecto adicional sobre la inactivación de LOX y PPO. Esto significa que sería necesario un tratamiento más corto para el mismo grado de inactivación, reduciendo así los efectos térmicos negativos en la calidad de los componentes de los alimentos, como la destrucción térmica de vitaminas, pigmentos y textura de la fruta. Sin embargo, en el caso de PEC, ALP y  $\beta$ -GAL, el campo eléctrico parece no tener influencia en la cinética de inactivación enzimática (Castro et al., 2004).

Los efectos del CO sobre la actividad de la *pectinmetilesterasa* (PME) fueron estudiados en el zumo de naranja y se compararon con los de la pasteurización por calor a 90 °C durante 50 s (Leizeron & Shimoni, 2005). Los resultados demostraron que el CO redujo la actividad de PME en un 90-98% en comparación con su actividad en el zumo de naranja fresco, mientras que, en condiciones de pasteurización convencionales, la actividad de PME residual se redujo en un 95%. Otro estudio, también en zumo de naranja mostró que el CO inhibía la PME en mayor medida que el TC (Demirdöven & Baysal, 2014).

La inactivación de la peroxidasa (POD) fue estudiada por Icier et al. (2006) durante el escaldado óhmico del puré de guisantes. Los resultados indicaron que la inactivación de POD se puede realizar en un tiempo de procesamiento menor que con el escaldado con agua convencional y que el tiempo crítico de inactivación disminuyó con el aumento de voltaje durante el proceso. Los autores también observaron que el CO causaba menor pardeamiento que el TC. Por otro lado, Lemmens et al. (2009) no encontraron diferencias entre los dos métodos de calentamiento para la inactivación de POD en trozos de zanahoria.

Por otra parte, los resultados obtenidos sobre la cinética de degradación térmica de las enzimas en presencia de un gradiente de voltaje (Vicente et al., 2012) sugieren que el “efecto eléctrico” depende de cada enzima, no observándose ningún comportamiento o tendencia general. Además, se debe tener cuidado al extrapolar los resultados obtenidos para una enzima en un conjunto específico de condiciones; por ejemplo, si los medios utilizados para los ensayos de actividad enzimática o la matriz alimentaria en la que se analiza la enzima difieren, los resultados no serían extrapolables.

#### *1.3.2.6. Efecto del calentamiento óhmico sobre los microorganismos*

El principal mecanismo de inactivación microbiana por CO es de naturaleza térmica. Sin embargo, durante el CO, la severidad del tratamiento térmico requerido para la inactivación microbiana en biomateriales y alimentos, podría reducirse potencialmente si existe alguna lesión subletal o efecto letal adicional debido a la corriente eléctrica (Palaniappan et al., 1992) Este efecto no térmico adicional a la destrucción de microorganismos durante el CO, provocado por la presencia de electricidad, sigue generando cierta controversia, ya que no se han realizado muchas investigaciones en este campo. La mayoría de los resultados publicados sobre los efectos de los campos eléctricos durante el CO no son concluyentes; o no se refieren a la temperatura de la

muestra o no pueden eliminar la temperatura como variable (Palaniappan et al., 1990; USA-FDA, 2000).

La inactivación de microorganismos de importancia en alimentos, como por ejemplo, *Zygosaccharomyces bailii*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, y esporas de las bacterias Gram positivas *Bacillus licheniformis*, ha sido estudiada individualmente comparando CO vs TC y se ha atribuido, principalmente, a efectos térmicos (Jaeger et al., 2016).

Un tema que se ha debatido es si el campo eléctrico tiene o no un efecto no térmico que potencia la inactivación de microorganismos. Si bien se han realizado numerosos estudios con cierta controversia utilizando diferentes enfoques, diseños experimentales y metodologías, el efecto no térmico de inactivación de microorganismos continúa en discusión (Kubo et al., 2020). Además, hay solo unas pocas investigaciones sistemáticas que se ocupan de los factores del proceso y del producto y su impacto en el proceso de inactivación (Jaeger et al., 2016).

#### *1.3.2.7. Efecto del calentamiento óhmico sobre los componentes nutricionales*

Como se mencionó previamente, la incorporación de frutas y hortalizas a la dieta diaria resulta altamente beneficiosa, debido a su aporte tanto de micronutrientes como de otras sustancias bioactivas. Sin embargo, se ha comprobado que muchos de estos compuestos pueden verse afectados negativamente por los TC de preservación, a diferencia de lo que ocurre con el tratamiento por CO, que suele preservarlos, e incluso, en algún caso, aumentar su concentración, como ocurre con los compuestos fenólicos, que presentan alta capacidad antioxidante.

En relación a estos últimos, Yildiz et al. (2009) obtuvieron un mayor contenido de estos compuestos al aplicar CO en zumo de granada, en relación al del zumo de control no tratado. Por otro lado, Icier (2010) logró mayor contenido de compuestos fenólicos al realizar el escaldado de alcachofa por CO en comparación al obtenido por TC. Mercali

et al. (2013), estudiando el puré de acerola, no encontraron diferencias en la cinética de la descomposición por CO y TC de las antocianinas, compuestos fenólicos responsables del color rojo, azulado y/o violeta de frutas y flores (Daniel, 2009). En contraposición, la descomposición de la vitamina C dependió de las condiciones de CO y fue mejorada aumentando el voltaje (Mercali et al., 2012).

El contenido de  $\beta$ -caroteno en zanahorias troceadas no se modificó al aplicar CO, microondas o TC (Lemmens et al., 2009). Similar resultado se observó en el contenido en puré de espinaca, al aplicar CO y TC (Yildiz et al., 2010).

#### *1.3.2.8. Efecto del calentamiento óhmico sobre las propiedades sensoriales*

El color, el flavor y la textura son características de calidad importantes que influyen en la aceptación del consumidor y la percepción sensorial de las frutas y verduras (Oey et al., 2008) y pueden verse influenciados por los tratamientos térmicos. Tumpanuvatr y Jittanit (2012) compararon los atributos sensoriales de los zumos de piña y naranja tratados por TC y por CO y los resultados demostraron que ambos tratamientos deterioraron los atributos sensoriales de los zumos de manera similar. Por otro lado, Dima et al. (2015) realizaron una evaluación sensorial con un grupo de panelistas que evaluó la apariencia, el color, el sabor, el olor y la sensación en la boca de los zumos de vegetales frescos, pasteurizados por TC y por CO. Los zumos pasteurizados por CO obtuvieron una puntuación más alta que los zumos pasteurizados convencionalmente y concluyeron que la pasteurización óhmica no ejercía un efecto negativo en el sabor de los zumos de verduras. Además, Leizeron y Shimoni (2005) investigaron el impacto de la pasteurización del zumo de naranja mediante CO sobre su vida útil, comparándola con la pasteurización por TC. De acuerdo con el análisis sensorial, el flavor en las muestras tratadas mediante CO se retuvo casi dos veces más que las muestras calentadas por TC durante un período de 100 días. Los resultados mostraron que el contenido de los compuestos de sabor característicos era considerablemente más alto

en las muestras tratadas por CO que en las tratadas por TC. Anderson (2008) observó resultados similares, y demostró que la mejor retención del sabor por CO estaba causada por tiempos de residencia más cortos y por la ausencia de superficies calientes.

Existen pocos trabajos sobre los efectos del CO sobre otros atributos sensoriales de productos vegetales. Por lo tanto, es necesario realizar más estudios para tener una comprensión más profunda del efecto de esta tecnología sobre dichos atributos en estos productos (Niakousari et al., 2019).

#### 1.4. Aprovechamiento de la pulpa de zanahoria

En general, el rendimiento del zumo de zanahoria en la industria es de aproximadamente 60 - 70%; el resto se descarta como bagazo de zanahoria (Sharma et al., 2012). A pesar de su cantidad de nutrientes como vitaminas, particularmente provitamina A, vitaminas B y C, minerales y fibra dietética, este bagazo compuesto por pulpa de zanahoria rallada no encuentra una utilización adecuada y puede convertirse en una fuente de problemas ambientales, debido a su alto contenido de humedad (superior al 70%) y materia orgánica (Yu et al., 2018).

Chau et al. (2004) aislaron y caracterizaron las fracciones ricas en fibra de la pulpa de zanahoria encontrando que la fracción rica en fibra insoluble estaba compuesta principalmente por polisacáridos peptídicos, hemicelulosa y celulosa. Esta fracción presentó propiedades funcionales, capacidad de adsorción de glucosa y actividad de inhibición de amilasa significativamente ( $p < 0,05$ ) más altas que las de la celulosa. La capacidad de esta fracción para adsorber glucosa y reducir la actividad de la amilasa implicaba que podría ayudar a controlar el nivel de glucosa en suero posprandial. Es por ello que los autores recomiendan el uso de esta fracción de fibra insoluble como fuente de fibras alimentarias o ingredientes a granel bajos en calorías, en la elaboración de



productos alimentarios, aportándoles propiedades como retención de aceite y de humedad.

Entre las diferentes estrategias de aprovechamiento, la pulpa de zanahoria ha sido sometida a distintos procesos tecnológicos, con el fin de aumentar su funcionalidad, entre los que destacan la aplicación de procesos enzimáticos y la de altas presiones hidrostáticas, que conducen a una mejora en las propiedades estructurales, fisicoquímicas y funcionales como capacidad de retención de agua, de intercambio catiónico, de retención de aceite y de adsorción de glucosa (Yu et al., 2018). Así mismo, este subproducto se puede secar para prolongar su vida útil y obtener polvo de pulpa de zanahoria (Majzoobi et al., 2016).

El polvo de pulpa de zanahoria ha sido ampliamente utilizado como ingrediente en la formulación de alimentos, principalmente del grupo de panificados y cereales, ya sea para aumentar el contenido de fibras o el contenido de compuestos fitoquímicos. En la bibliografía se encuentran muchos ejemplos de la utilización del mismo en la elaboración de panificados, pastas y productos extruidos, tal como se describe a continuación. En este sentido, Baljeet et al. (2014) utilizaron polvo de pulpa de zanahoria y harina de garbanzo germinado para mejorar la calidad nutricional y sensorial de galletas de harina de trigo. Por su parte, Gayas et al. (2012) evaluaron la calidad fisicoquímica y sensorial de galletas de harina de trigo y harina de soja desgrasada y enriquecidas con polvo de pulpa de zanahoria. Hernández-Ortega et (2013) secaron la pulpa de zanahoria mediante microondas o aire caliente para mejorar su contenido fitoquímico (fibras, carotenoides y compuestos fenólicos) y lo incorporaron en la formulación de galletas, sustituyendo el 30% de la harina de trigo. Por último, Turksoy y Özkaya (2011) elaboraron galletas de trigo enriquecidas con polvo de pulpa de zanahoria y de calabaza evaluando su efecto sobre las propiedades texturales de la masa, la composición química, y en las propiedades físicas, texturales y organolépticas de las galletas.

Respecto a su utilización en la elaboración de pastas, Gull et al. (2015) incorporaron, con buenos resultados, el polvo de pulpa de zanahoria en sustitución de la sémola de trigo y evaluaron los efectos sobre las cualidades de cocción, color y textura; Kohajdová et al. (2012) lo incorporaron en la formulación de rollos de trigo.

El polvo de pulpa de zanahoria también ha sido utilizado en la formulación de productos extruidos. En este sentido, Kumar et al. (2010) elaboraron productos extruidos a base de harina de arroz con agregado de polvo de pulpa de zanahoria y polvo de legumbres y evaluaron las aptitudes tecnológicas del producto como: índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, dureza y características sensoriales. Por otro lado, Kaisangsri et al. (2016) elaboraron extruidos de almidón de maíz con la inclusión de polvo de pulpa de zanahoria, evaluando posteriormente las propiedades del mismo (relación de expansión, densidad unitaria, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, microestructura y contenido de  $\beta$ -caroteno). Los resultados obtenidos indicaron que la incorporación de orujo de zanahoria, en un nivel del 5%, mejoró la calidad de los extruidos.

En lo que respecta puntualmente a los productos panificados, en los últimos años ha crecido la demanda de alimentos sin gluten, en respuesta al aumento del diagnóstico de la enfermedad celíaca, que actualmente ronda el 1% de la población mundial (Shevkani & Singh, 2014; Singh et al., 2016). Esta enfermedad es provocada por la intolerancia a las proteínas contenidas en el gluten de los cereales de secano, que se utilizan en una alta proporción en la industria de la panificación (Drabińska et al., 2016).

El único tratamiento conocido para los pacientes con enfermedad celíaca es una dieta estricta sin gluten de por vida (Farrell & Kelly, 2002; Fasano & Catassi, 2001). Desde el punto de vista de la tecnología de alimentos, esto acarrea un inconveniente, ya que es muy difícil lograr masas elásticas y esponjosas en productos sin gluten. Para conseguirlo, se evita la utilización de harinas integrales de cereales sin gluten ya que, la

incorporación de la fibra alimentaria que contienen dichas harinas dificulta aún más esta situación (Majzoobi et al., 2016; Thompson et al., 2005).

Este hecho se contrapone a las recomendaciones de la OMS respecto al consumo diario de 25 g de fibra dietaria, el cual se fundamenta en los efectos nutricionales beneficiosos demostrados, como el control de enfermedades cardiovasculares y de trastornos digestivos, diabetes, obesidad y cáncer de colon (Flint et al., 2009; Meghwal & Kadeppagari, 2017).

Por tanto, y teniendo en cuenta que, tanto en Argentina como en el resto del mundo, la ingesta de fibra dietaria suele ser inferior a la recomendada (Rubel et al., 2015), es fundamental poder mejorar la calidad nutricional de los alimentos libres de gluten para satisfacer las necesidades de los consumidores celíacos. En este sentido, la inclusión de subproductos de frutas y verduras en productos sin gluten es una forma de aumentar su calidad nutricional, ya que estos subproductos son fuente económica de ingredientes funcionales que incluyen altos niveles de fibra dietética, vitaminas y antioxidantes. De esta manera, se utilizó bagazo de zumo de naranja (hasta un 8%) para aumentar el contenido de fibra dietética del pan sin gluten (O'Shea et al., 2012); torta prensada de aceite de semilla de cáñamo y hojas de té verde descafeinado, para aumentar las propiedades antioxidantes y mejorar el valor nutricional de la galleta sin gluten (Radočaj et al., 2014), y pulpa de fruta jambolán en pasteles sin gluten para mejorar su valor nutricional y su calidad (Singh et al., 2015). Singh et al. (2016) utilizaron concentrado de fibra dietética de bagazo de zanahoria negra al 6% y goma de xantano al 0,5% para elaborar una magdalena sin gluten rica en fibra y de alta calidad. Por último, Majzoobi et al. (2016) emplearon polvo de pulpa de zanahoria como reemplazo de la harina de arroz y maíz en la formulación de bizcochuelo sin gluten.

Con el afán de facilitar la estandarización de la calidad, disminuir la cantidad de materias primas y de proveedores, en el mercado mundial se vienen comercializando desde hace

varios años, premezclas listas para elaborar diferentes productos libres de gluten (Figura 1.12).



Figura 1.12. Imágenes de premezclas de harinas libres de gluten disponibles comercialmente.

En Latinoamérica, todas estas premezclas están compuestas por ingredientes similares, como pueden ser: almidón de maíz, harina de sorgo, harina de arroz, fécula de maíz y almidón de mandioca, entre otros, aunque no siempre en las mismas proporciones (Binaghi et al., 2019).

En la Tabla 1.3 se presenta un listado de ingredientes de premezclas para panificados libres de gluten disponibles en el mercado argentino. Como puede observarse en dicha tabla, existe una gran variedad de premezclas de harinas para elaborar diversos productos libres de gluten. Si bien los ingredientes y las proporciones de los mismos en las premezclas varían según cada producto, se ha reportado que la utilización de la proporción de 40% almidón de maíz, 30% almidón de mandioca y 30% de harina de arroz, lograba panificados de mejor calidad, menos quebradizos y más parecidos al pan con gluten, en comparación con premezclas con mayor proporción de harina de arroz (Cubilla-Giménez et al., 2018). Esto estaría relacionado con la baja capacidad de absorción de agua de la harina de arroz, lo que repercutiría en un producto seco si se excede en su proporción (Altindag & Siller, 2014).

**Tabla 1.3.** Ejemplos de premezclas de harinas y sus ingredientes, disponibles en Argentina, para elaboración de panificados libres de gluten.

| Premezcla   | Ingredientes  |
|---|---|
| Premezcla para panadería y repostería. Libre de gluten. Premezcla roja. | Harina de arroz, fécula de mandioca, almidón de maíz, fécula de patata, azúcar, aceite vegetal, leche, huevo, sal, emulsionantes (estearoil, lactilato de sodio, lecitina de soja), estabilizantes (carboximetilcelulosa, goma xántica, goma guar).   |
| Premezcla para preparar budín sabor vainilla libre de gluten.           | Azúcar, huevo entero en polvo, harina de sorgo, almidón de maíz, harina de arroz. Emulsionantes: mono y diglicéridos de ácido láctico y propilenglicolester. Harina de soja, leche entera deshidratada. Leudantes químicos (bicarbonato de sodio, pirofosfato ácido de sodio y fosfato monocálcico). Aromatizante vainillina. |
| Premezcla para preparar bizcochuelo sabor vainilla libre de gluten.     | Azúcar, huevo entero en polvo, harina de arroz, harina de sorgo, almidón de maíz. Emulsionantes: mono y diglicéridos de ácido láctico y propilenglicolester. Leche entera deshidratada, harina de soja. Aromatizante vainillina. Leudantes químicos (pirofosfato ácido de sodio, bicarbonato de sodio y fosfato monocálcico). |
| Premezcla para panadería y repostería. Libre de gluten.                 | Almidón de maíz, harina de arroz, fécula de mandioca, emulsionante (INS 471), espesante (INS 415).  |
| Premezcla universal (para panificación, repostería y cocina).           | Almidón de mandioca, harina de arroz, féculas de maíz y de patata, leche descremada en polvo, aceite hidrogenado, huevo entero en polvo, sal, emulsionantes mono y diglicéridos de los ácidos grasos, espesante de goma guar.   |
| Premezcla para preparar pan inglés libre de gluten.                     | Almidón de maíz, harina de sorgo, harina de arroz, azúcar, ovoalbúmina en polvo, sal, estabilizantes (goma xántica y carboximetilcelulosa), $\alpha$ -amilasa fúngica.  |
| Premezcla para preparar pan libre de gluten. Producto sin TACC*.        | Almidón de maíz. Harina integral de sorgo blanco, harina de arroz, azúcar, espesante, estabilizante de goma xántica, sal.   |
| Premezcla para preparar pizza libre de gluten.                          | Almidón de maíz, harina de sorgo, harina de arroz, dextrosa, leche entera deshidratada. Emulsionantes: mono y diglicéridos de ácido láctico y propilenglicolester. Ovoalbúmina en polvo, sal. Estabilizantes: goma xántica. Leudantes químicos: pirofosfato ácido de sodio y bicarbonato de sodio.                            |
| Premezcla para elaborar pizza libre de gluten.                          | Almidón de maíz, harina de arroz, fécula de mandioca, leche en polvo, sal, azúcar, emulsionante (INS 471), espesante (INS 415).   |

\*TACC: trigo, avena, cebada y centeno. Fuente: Binaghi et al. (2019)

En base a todo ello, la incorporación del polvo de pulpa de zanahoria a las premezclas para elaborar productos para celíacos podría ser una alternativa innovadora para mejorar la calidad nutricional de dichos productos, al mismo tiempo que supone una revalorización del bagazo resultante de la extracción del zumo.

## **2.OBJETIVOS**





## 2. OBJETIVOS

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la presente tesis se fundamenta en la hipótesis de que la aplicación de la tecnología de calentamiento óhmico podría permitir obtener un zumo de zanahoria de calidad.

Por ello, y considerando la abundancia de zanahoria de descarte en la región, el **objetivo general** de esta tesis es aplicar la tecnología de calentamiento óhmico a descartes de zanahoria para obtener un zumo pasteurizado, con propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales similares a las del zumo fresco y mejoradas en relación a las del zumo preparado por tratamiento térmico convencional, y adicionalmente, proponer una estrategia para valorizar y aprovechar el residuo de la elaboración de zumo de zanahoria.

Como **objetivos específicos** se encuentran los siguientes:

- i. Evaluar la aceptabilidad general del zumo de zanahoria fresco elaborado a partir de descartes.
- ii. Aplicar un tratamiento de calentamiento óhmico (CO) para la pasteurización del zumo, previa evaluación de las propiedades eléctricas y selección de los parámetros del proceso para el tratamiento de pasteurización.
- iii. Aplicar un tratamiento térmico convencional (TC) para la pasteurización del zumo.
- iv. Estudiar el efecto de la pasteurización del zumo de zanahoria por CO y por TC sobre los parámetros fisicoquímicos y cromáticos, la inactivación enzimática y microbiológica, los compuestos volátiles, la capacidad antioxidante, el contenido de carotenos y sus características sensoriales, y compararlos con los del zumo control, no tratado.

- v. Realizar un estudio de aceptabilidad general del zumo seleccionado con consumidores habituales
- vi. Comparar los resultados obtenidos con ambos tratamientos térmicos de preservación, seleccionando aquel que permita obtener el producto de mejor calidad.
- vii. Proponer una estrategia de aprovechamiento de la pulpa de zanahoria, subproducto de la elaboración del zumo, obteniendo polvo de pulpa de zanahoria y utilizándolo en la elaboración de una premezcla de harinas libre de gluten para la fabricación de panificados.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Elaboración del zumo de zanahoria

El proceso implicado en la elaboración del zumo de zanahoria se representa en la Figura 3.1. Las zanahorias de descarte usadas como materia prima fueron suministradas por un productor de la zona de Santa Rosa de Calchines (provincia de Santa Fe, Argentina) y corresponden a una mezcla de las variedades producidas en la zona. Tras ser cosechadas, lavadas y clasificadas como descartes, se refrigeraron y se transportaron inmediatamente al Instituto de Tecnología de Alimentos (Buenos Aires, Argentina). Las zanahorias frescas descartadas se almacenaron con refrigeración a 4 °C (95% humedad relativa), en bolsa de polietileno con perforaciones (49 × 80 cm, 24 perforaciones, 70 µm espesor), hasta su uso. Las mismas pueden ser conservadas en esas condiciones hasta 54 días según resultados obtenidos por Aimaretti et al. (2012b).

Previo a la elaboración del zumo, las zanahorias se lavaron y desinfectaron sumergiéndolas en agua clorada (200 ppm) durante 5 min y se secaron a temperatura ambiente. A continuación, las zanahorias se pelaron manualmente y se cortaron en trozos pequeños (20 × 20 × 20 mm). El zumo de zanahoria se extrajo usando un extractor de zumo (JG1700, Yelmo, China).

El zumo obtenido se envasó inmediatamente en botellas (1000 mL) de tereftalato de polietileno (PET) y se almacenó a  $4 \pm 1$  °C hasta el momento de la realización de las pruebas. Se elaboraron 4.000 mL de zumo de zanahoria de descartes para ser utilizados en la prueba de aceptabilidad del zumo fresco y, por otro lado, 3 lotes de 3.000 mL cada uno para ser utilizados en los procesos de pasteurización.



Figura 3.1. Esquema representativo de la elaboración de zumo de zanahoria.

El mismo proceso también se utilizó para preparar 3.500 mL de zumo a partir de zanahorias adquiridas a granel (de procedencia desconocida) en un comercio local y para elaborar zumos de cada una de las dos variedades comerciales disponibles de zanahorias de distinta procedencia. Las dos variedades seleccionadas fueron: variedad *Nantesa*, de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y variedad *Chantenay*, de la provincia de Mendoza (Argentina). Tras ser adquiridas en un proveedor local, las zanahorias fueron conservadas en refrigeración y analizadas dentro de la semana de su adquisición. La elección de estas dos variedades correspondió a que son las principales variedades cultivadas en Argentina, siendo *Nantesa* la de mayor consumo (Dansa et al., 2017). A partir de esta materia prima se elaboraron 3.000 mL de zumo de cada una de las dos variedades de zanahoria.

### 3.2. Evaluación sensorial del zumo de zanahorias de descarte

Con el fin de evaluar la aceptabilidad general por parte de los consumidores, se realizó una prueba con el zumo de zanahorias de descarte recién elaborado. Para ello se utilizó una escala hedónica de 9 puntos (1: “me disgusta muchísimo”; 9: “me gusta muchísimo”) (Meilgaard et al., 2007).

Se trabajó con el personal de los departamentos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Buenos Aires, Argentina). Los criterios de inclusión de los participantes fueron: personas mayores de 18 años, sanas y que consumieran habitualmente bebidas naturales y de zanahorias, entendiéndose como “habitual” un consumo de, al menos, una vez por semana.

Durante la prueba, cada consumidor recibió 30 mL de zumo y una planilla con la escala hedónica para completar (Figura 3.2). A cada participante se le explicó el fundamento de la prueba y cómo completar la planilla. Los zumos, dispuestos en botellas, se mantuvieron refrigerados (4 °C) durante la prueba.

| <b>TEST DE ACEPTABILIDAD EN JUGO DE ZANAHORIA</b>  |                            |                          |                          |                          |
|--|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Género: F  | <input type="checkbox"/>   | M                        | <input type="checkbox"/> |                          |
| Edad:.....   |                            |                          |                          |                          |
| ¿Consumo habitualmente jugos de frutas y/o verduras naturales?   | Si                         | <input type="checkbox"/> | No                       | <input type="checkbox"/> |
| Pruebe el jugo de zanahoria, lea las frases e indique con una cruz su opinión general sobre el producto: |                            |                          |                          |                          |
| _____  | Me gusta muchísimo         |                          |                          |                          |
| _____  | Me gusta mucho             |                          |                          |                          |
| _____  | Me gusta bastante          |                          |                          |                          |
| _____  | Me gusta un poco           |                          |                          |                          |
| _____  | Ni me gusta ni me disgusta |                          |                          |                          |
| _____  | Me disgusta un poco        |                          |                          |                          |
| _____  | Me disgusta bastante       |                          |                          |                          |
| _____  | Me disgusta mucho          |                          |                          |                          |
| _____  | Me disgusta muchísimo      |                          |                          |                          |
|  |                            |                          | <b>GRACIAS</b>           |                          |

*Figura 3.2.* Planilla utilizada para realizar la evaluación de aceptabilidad general del zumo de zanahoria.

### 3.3. Evaluación de los parámetros de calidad de los zumos de dos variedades de zanahorias comerciales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó como °Brix a temperatura ambiente ( $20 \pm 1$  °C) usando un refractómetro Atago Master T (Atago, Tokio, Japón). Las mediciones se realizaron por duplicado por cada muestra utilizándose 1 mL por cada medición.

Los parámetros cromáticos de los zumos de zanahoria se midieron utilizando un colorímetro Minolta CR-400 provisto de un portamuestras CR A505 y una celda de vidrio de 20 mm CM-A99 para medir líquidos (Konica Minolta, Japón), utilizando la escala CIE  $L^*a^*b^*$ . El colorímetro se configuró con el iluminante D65 y un ángulo de observación de 2°. Se realizaron tres mediciones para cada muestra, es decir, se llenó tres veces la celda de vidrio y se promediaron los resultados utilizándose 10 mL por cada muestra. Se determinaron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

### 3.4. Proceso de calentamiento óhmico

#### 3.4.1. Adecuación del equipo de calentamiento óhmico

El equipo de calentamiento óhmico (CO) a escala de laboratorio fue diseñado y fabricado en el Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina). Consiste en una unidad de CO (Figura 3.3), que calienta el líquido a pasteurizar pasando por él una corriente alterna de una frecuencia de 60 kHz.

La unidad de CO incluye dos electrodos de acero inoxidable ubicados en los extremos de la celda de calentamiento. Se usó una resistencia PT100, recubierta también de acero inoxidable, ubicada en el punto medio de la celda de calentamiento, para medir la temperatura durante el procesamiento. La temperatura, el voltaje, la intensidad de



corriente y la potencia aplicada se monitorearon utilizando una placa de microprocesador, la cual transmitía esta información a la computadora a intervalos de tiempo constantes (0,1 s).



*Figura 3.3.* Equipo de CO calentando zumo de zanahoria fresco.

Al equipo de CO previamente descrito se le realizaron las modificaciones necesarias para que el mismo pudiera alcanzar la temperatura de 80 °C en el menor tiempo posible y mantenerla al menos durante 7 minutos.

Se diseñaron y construyeron dos celdas de calentamiento para la realización de los ensayos descritos y para la posterior pasteurización del zumo de zanahoria.

#### 3.4.2. Fundamento del funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico

El fundamento de la técnica de CO se basa en la determinación de la conductividad eléctrica de la muestra. El sistema mide, en tiempo real, el voltaje de salida (V) y la intensidad de corriente (I) que pasa a través del líquido. Luego, el microprocesador calcula los valores de la raíz cuadrada media (rcm) o valores eficaces, tanto del voltaje como de la intensidad para calcular la potencia ( $P = V \cdot I$ ) aplicada al alimento en cada momento. Además, realiza el cociente entre la intensidad y el voltaje eficaces para estimar la conductancia de la muestra del alimento en cada instante. El registro de la

corriente y de la tensión eficaz durante el CO permite la determinación de la conductividad eléctrica a diferentes temperaturas, conociendo las dimensiones de la celda (Lima et al., 1999; Reznick, 1996). Considerando el volumen de la muestra en la celda de calentamiento, la conductividad ( $\sigma$ ) se calcula en base a la ecuación 1.2 modificada (Ecuación 3.1):

$$\sigma = \frac{I * L^2}{V * Vol} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde:  $\sigma$  es la conductividad eléctrica (S/cm), I es la raíz cuadrada media de la intensidad de corriente (en A), V es la raíz cuadrada media del voltaje (en V), L es la distancia entre los electrodos (en cm) y Vol es el volumen de la muestra (en cm<sup>3</sup>) (Díaz Ramos, 2012).

La potencia y la conductividad se envían por *bluetooth* a través a una computadora que grafica los datos en función del tiempo, durante la medición.

### 3.4.3. Ensayos de funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico

Se llevaron a cabo cinco ensayos para evaluar el funcionamiento del equipo de CO y la conductividad eléctrica, utilizando una disolución salina, dos zumos elaborados a partir de zanahorias adquiridas a granel en comercios locales y dos zumos elaborados a partir de dos variedades comerciales conocidas de zanahoria.

El primero de ellos consistió en evaluar la capacidad del equipo para calentar una solución de una conductividad tres veces mayor de la que podría tener el zumo de zanahoria. En estas condiciones, el equipo operaría con el máximo valor de corriente suministrada y con el máximo valor de potencia, siendo éstas las condiciones límites de su funcionamiento. Para ello, se preparó una solución salina de 16,8 g/L de NaCl en agua bidestilada, con un valor de conductividad  $\sigma_{25^\circ\text{C}}=50$  mS/cm. El ensayo se realizó en el Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (Departamento de

Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina). Durante el proceso de calentamiento se evaluaron los siguientes parámetros: conductividad de la solución salina, resistencia, voltaje eficaz aplicado, corriente eficaz circulante y potencia suministrada.

Los ensayos segundo y tercero se realizaron con zumo de zanahoria elaborado a partir de zanahorias adquiridas a granel en comercios de la zona. Las mismas se compraron el mismo día de la realización de pruebas. El zumo se elaboró de acuerdo a lo descrito en el apartado 3.1. El ensayo consistió en evaluar la capacidad del equipo de CO para calentar un determinado volumen (750 mL en el ensayo 2 y 2.500 mL en el ensayo 3) de dicho zumo a 80 °C durante 7 min, utilizando dos celdas de calentamiento adecuadas a ese volumen. Durante el proceso de calentamiento y mantenimiento de la temperatura se registró el voltaje eficaz, la intensidad de corriente y la temperatura, y a partir de estos datos se calculó la conductividad (según lo descrito en el apartado 3.2.2). Además de la conductividad se evaluaron los parámetros tiempo del proceso, resistencia y campo eléctrico aplicado.

Los ensayos cuarto y quinto se llevaron a cabo con zumo de zanahoria con distintas variedades y procedencias: zanahorias variedad *Nantesa*, de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y zanahorias variedad *Chantenay*, de la provincia de Mendoza (Argentina), respectivamente. El zumo de cada variedad se elaboró de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado 3.1.

#### 3.5. Tratamientos de pasteurización de los zumos de zanahoria

Para elaborar el zumo de zanahoria de descarte se procedió según se detalla en el apartado 3.1. Un total de 9.000 mL de zumo fue elaborado en cada ensayo, de los cuales 3.000 mL se sometieron a CO, 3000 mL a tratamiento térmico convencional (TC) y 3.000 mL quedaron sin tratar, para servir como zumo control.

Después de 12 h de refrigeración del zumo de zanahoria se aplicaron los distintos tratamientos CO y TC. El proceso completo de elaboración de zumo y aplicación de los tratamientos de pasteurización se realizó tres veces. Así, se obtuvieron en total tres partidas de zumo de zanahoria, cada una de la cuales estaba formada, a su vez, por tres lotes, uno pasteurizado por CO, otro pasteurizado por TC, y otro sin tratar (zumo de control), los cuales se sometieron luego a los análisis indicados en la Figura 3.4.



*Figura 3.4.* Diagrama de los tratamientos y determinaciones realizados en el zumo de zanahoria.

### 3.5.1. Pasteurización por calentamiento óhmico

El equipo de CO descrito en 3.4.1 se utilizó para pasteurizar el zumo de zanahoria. La celda de calentamiento se llenó con 2.500 mL de zumo de zanahoria refrigerado a 4 °C y el sensor de temperatura se insertó y fijó en el centro geométrico de la cuba, para monitorear continuamente la temperatura de la muestra. La muestra se colocó entre los dos electrodos en la celda de calentamiento y se calentó óhmicamente con una corriente alterna con una frecuencia de 60 kHz y voltaje ajustable por un relé de potencia. El

campo eléctrico al voltaje máximo aplicado fue de 120 V/cm. La muestra se calentó desde los 15 °C hasta los 80 °C y se mantuvo constante a  $80 \pm 1$  °C durante 7 min. Durante el tratamiento por CO se midió la conductividad eléctrica como se describe en el apartado 3.4.2.

El zumo pasteurizado se envasó en botellas de 1.000 mL en condiciones asépticas, y se sumergió en un baño de agua helada durante una hora y luego se conservó bajo refrigeración (4 °C). Como se ha indicado antes, el experimento se realizó tres veces, a lo largo de tres semanas consecutivas.

#### 3.5.2. Pasteurización por tratamiento térmico convencional

El zumo de zanahoria asignado al tratamiento TC se dividió en 5 bolsas de polipropileno conteniendo 500 mL cada una. Luego, todas las bolsas se colocaron en un baño de agua (Lindberg/Blue M, mod. RWB3220CY-1, NC USA) a 82 °C. Se aplicó una combinación de 80 °C -7 min, contando el tiempo a partir del momento en el que el punto de calentamiento más lento (que es el centro de cada bolsa) alcanzó esa temperatura (Picouet et al., 2015). Las temperaturas de las muestras y del agua del baño se midieron utilizando termopares flexibles tipo T. En las bolsas de las muestras los termopares se colocaron mediante dispositivos *stuffing-box* modelo T-5.2 (Ecklund Harrison Tech, EE. UU.). Los datos se registraron con un multímetro digital (Fluke Hydra 2625A, EE. UU.). Las lecturas de temperatura se tomaron a intervalos de 10 s y la precisión de la medición fue de  $\pm 0,1$  °C. Inmediatamente después del tratamiento TC, las bolsas se sumergieron en un baño de agua helada y luego se almacenaron en refrigeración (4 °C).

#### 3.5.3. Determinación de los parámetros de calidad de los zumos tratados

Cada día de elaboración, tras la producción del zumo de zanahoria de descarte, y sus correspondientes tratamientos, se fraccionaron las muestras de acuerdo con las cantidades necesarias para los correspondientes análisis (Figura 3.4): estabilidad física,

pH, sólidos solubles totales, parámetros cromáticos, actividad enzimática, evaluación microbiológica, capacidad antioxidante, carotenos y evaluación sensorial (ordenamiento de preferencia de color y flavor y aceptabilidad general). El fraccionamiento se realizó en condiciones asépticas y utilizando envases estériles. Las muestras fraccionadas se mantuvieron en refrigeración (4 °C) hasta sus análisis, los cuales fueron realizados en el mismo momento para los tres zumos (control, tratado por TC y tratado por CO).

Se reservaron cuatro muestras de cada zumo tratado para realizar las evaluaciones microbiológicas de las mismas, a tiempo 0, 15, 30 y 60 días de almacenamiento refrigerado (4 °C).

#### *3.5.3.1. Estabilidad física*

Se colocaron 10 mL de zumo de zanahoria dentro de tubos de vidrio transparente de 13 mm de diámetro, los cuales se almacenaron a 4 °C durante el tiempo que duró la medición. La estabilidad física se estimó como la relación entre la longitud del frente de separación superior y la longitud total de la muestra a los 0, 2 y 7 días posteriores a los tratamientos aplicados. La transparencia de la fase superior se observó a ojo desnudo en 4 niveles (sin separación, turbio, traslúcido o transparente), como una medida indirecta del grado de sedimentación (Manassero, 2016).

#### *3.5.3.2. pH*

El pH se midió en 100 mL de zumo de zanahoria a temperatura ambiente ( $20 \pm 1$  °C) utilizando un medidor digital de pH (Thermo Orion, 710A +), con un electrodo de pH (8102BN, ROSS, Thermo Orion) y sonda ATC (Thermo Orion). El instrumento se calibró con tampón fosfato a pH 4 y 7. Las mediciones se realizaron por duplicado por cada muestra.

### 3.5.3.3. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó como se indica en el apartado 3.3. Las mediciones se realizaron por duplicado por cada muestra, utilizando 1 mL para cada medición.

### 3.5.3.4. Parámetros cromáticos

Se determinaron los parámetros cromáticos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de los zumos de zanahoria de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado 3.3. Como ya se indicó en el apartado 1.2.4.2, el parámetro  $L^*$  representa la luminosidad y va desde el color negro (valor 0) al blanco (valor 100). El parámetro  $a^*$  muestra la contribución al color que tienen los componentes rojo (valores positivos) y verde (valores negativos). Por último, el parámetro  $b^*$  corresponde a la contribución de los componentes amarillo (valores positivos) y azul (valores negativos) (Rocha & Morais, 2003).

Se realizaron tres mediciones para cada muestra, es decir, se llenó tres veces la celda de vidrio y se promediaron los resultados.

Los valores de los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  fueron utilizados para calcular los valores del parámetro Chroma,  $Ch$ , de acuerdo a la ecuación 3.2 (AMSA, 2012):

$$Ch = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

y del parámetro ángulo Hue,  $H^\circ$ , de acuerdo a la ecuación 3.3 (AMSA, 2012):

$$H^\circ = \left[ \text{arcotangente } \frac{b^*}{a^*} \right] \quad (\text{Ec. 3.3})$$

La diferencia total de color entre el zumo tratado y el zumo control ( $\Delta E$ ) se calculó mediante la ecuación 3.4 (Mannozi et al., 2019):

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

donde  $L$ ,  $a$  y  $b$  corresponden a los parámetros cromáticos del zumo tratado mientras que  $L_0$ ,  $a_0$  y  $b_0$  corresponden a los parámetros cromáticos del zumo control.

$\Delta E$  indica la magnitud del cambio de color después del tratamiento aplicado. Las diferencias en el color perceptible se pueden clasificar, de acuerdo a diversos autores (Clydesdale, 1978; Cserhalmi et al., 2006), como:

- No detectables (0-0,5).
- Levemente detectables (0,5-1,5).
- Detectables (1,5-3,0).
- Bien detectables (3,0-6,0).
- Altamente detectables (6,0-12,0).

El índice de pardeamiento (IP) se calculó mediante la ecuación 3.5 (Mannozi et al., 2019):

$$IP = \frac{[100(x-0,31)]}{0,172} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$\text{donde } x = \frac{[a+bL]}{[5,645L+a-3012b]} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

### 3.5.3.5. Actividad enzimática de POD, PPO y PME

La actividad enzimática (A) se determinó según el procedimiento descrito por Fernández et al. (2018).

Una unidad de actividad enzimática se definió como el cambio de 0,001 unidad de absorbancia a la longitud de onda correspondiente. Las mediciones se realizaron por duplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron como  $\Delta A/\text{min} \cdot L$  y se calculó el porcentaje de actividad enzimática residual (AR) con respecto al zumo de zanahoria control según la ecuación 3.7.

$$AR (\%) = \frac{Z_t}{Z_c} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.7})$$



donde  $Z_t$  es la actividad enzimática del zumo pasteurizado (por TC o CO) y  $Z_c$  es la actividad enzimática del zumo control, sin tratamiento térmico.

El proceso de extracción de POD y PPO del zumo de zanahoria consistió en mezclar 10 gr de zumo con 10 mL de buffer fosfato 0,2 M (pH = 6,5) y polivinil polipirrolidona al 4 % (PVPP). La suspensión obtenida se agitó durante 1 h a 4 °C y luego se centrifugó a 11.000 rpm durante 15 min. Se recogió el sobrenadante obtenido y se analizó la actividad enzimática.

La mezcla de reacción para determinar la actividad de POD contenía 3,0 mL de guayacol al 1,0% (v/v) (disuelto en tampón fosfato 0,2 M, pH 6,5), 0,2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 1,5% (p/v, en agua destilada) recién preparada y 0,2 mL de extracto de enzima. Antes de mezclar, todos los componentes se atemperaron a 30 °C. La absorbancia a 470 nm se midió a 30 °C durante 3 min.

La mezcla de reacción para determinar la actividad de PPO contenía 1,0 mL de extracto de enzima y 2,5 mL de pirocatecol 0,07 M en solución *buffer* de fosfato de sodio 0,2 M (pH = 6,5). Antes de mezclar, todos los componentes se atemperaron a 30 °C. Se registró la absorbancia a 480 nm a 30 °C durante 3 min.

La determinación de la actividad de PME se inició mezclando 5 g de zumo con 15 mL de NaCl (1 M) y polivinilpirrolidona (PVPP, 10 g/L). La suspensión obtenida se agitó durante 4 h a 4 °C y luego se centrifugó a 10.000 rpm durante 30 min. Se recogió el sobrenadante, se ajustó a pH 7,5 con NaOH 0,01 M y se utilizó para evaluar la actividad enzimática. La mezcla de reacción contenía 0,6 mL de pectina al 0,5% (p/v), 150 µL de azul de bromotimol al 0,01% (pH 7,5) y 300 µL del extracto enzimático. Antes de mezclar, todos los componentes se atemperaron a 37 °C. Se registró la absorbancia a 620 nm a 37 °C durante 3 min.

### 3.5.3.6. Evaluación microbiológica

Se realizó el recuento de microorganismos aerobios mesófilos totales, coliformes totales, hongos y levaduras y clostridios sulfito-reductores siguiendo la metodología (ICMSF, 2001).

En todas las muestras de zumo a evaluar se realizaron diluciones seriadas con 20 mL de zumo y 180 mL (1/10) de agua peptonada estéril al 0,1% p/v y se sembró 1,0 mL de cada dilución en placas del agar apropiado para cada determinación. Luego cada placa se incubó durante el tiempo y temperatura específicos para cada microorganismo a estudiar. Una vez cumplido el tiempo de incubación se procedió a realizar la lectura de las placas. Las placas que poseían un desarrollo de colonias de entre 30 y 300 unidades fueron las seleccionadas para realizar el conteo del número de colonias presentes. Este conteo se modificó luego según el factor de dilución correspondiente. Todos los resultados se expresaron como el logaritmo decimal del número de unidades formadoras de colonias (UFC) por mL de zumo. Los recuentos se consideraron por debajo del límite de cuantificación de 1,0 log (UFC/mL) cuando se contaron hasta 5 colonias. Se realizaron análisis microbiológicos en zumo de zanahoria control, y tratado por CO y TC a los 0, 15, 30 y 60 días de almacenamiento refrigerado (4 °C).

Las determinaciones realizadas fueron:

- Recuento de microorganismos aeróbicos totales viables a 37 °C (RMAT): las diluciones se sembraron en PCA (*Plate Count Agar*, Merck, Alemania) y las placas se incubaron a 37 °C durante 48 h.
- Recuento de hongos y levaduras (HyL): las diluciones se sembraron en YEDC (*Yeast Extract Dextrose Chloramphenicol Agar*, Merck, Alemania) y las placas se incubaron a 25 °C durante 7 días.

- Recuento de coliformes totales (RCT): las diluciones se sembraron en Caldo Lauril Sulfato (Merck, Alemania) y las placas se incubaron a 37 °C durante 48 h.
- Recuento de *Clostridium* sulfito-reductores (RCSR): las diluciones se sembraron mediante siembra en profundidad en SPS (*Sulfite Polymyxin Sulfadiazine Agar*, Merck, Alemania) y se incubaron en anaerobiosis a 37 °C durante 48 h.

Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

#### 3.5.3.7. Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles fueron extraídos del zumo por microextracción en fase sólida (SPME) en el espacio de cabeza e identificados y cuantificados por cromatografía gaseosa con espectrometría de masas (CG-EM) con fuente de impacto electrónico.

La extracción de los compuestos volátiles se realizó siguiendo la metodología descrita por Kebede et al. (2014) con algunas modificaciones. Se tomaron 5 mL de zumo y se colocaron en viales ámbar (Varian Inc, Argentina) de 10 mL de capacidad. Los viales fueron tapados con tapas de aluminio y septa de silicona/PTFE (Sigma-Aldrich, Argentina) y posteriormente se colocaron en un bloque seco calefactor con agitación magnética y con control de temperatura (Pierce Reacti-therme, Thermo Scientific). Se realizó un acondicionamiento de la muestra a 40 °C durante 20 min con agitación a 500 rpm y luego se expuso una fibra de extracción (2 µm–50/30 µm DVB/Carboxen/PDMS; Supelco, Bellefonte, USA) en el espacio de cabeza de la muestra a 40 °C durante 10 min para realizar la extracción de los compuestos volátiles. Se llevó a cabo la desorción térmica de dichos compuestos en el puerto de inyección del CG Shimadzu (QP-2010, Tokio, Japón) a 250 °C. Se utilizó gas Helio 5.0 como gas portador y se trabajó en modo *splitless*. La separación de los compuestos se realizó en una columna microcapilar SLB-5-MS de 15 m, 0,10 mm de diámetro interno y 0,10 µm de espesor (Supelco, Bellefonte, USA). Las condiciones de funcionamiento de CG-EM fueron las siguientes: la

temperatura del puerto de inyección, del detector y de la interfaz fue 220 °C; la temperatura del horno del CG se mantuvo inicialmente a 30 °C durante 2 min, aumentó a 150 °C a una velocidad de 5 °C/min y se mantuvo durante 5 min, aumentó a 290 °C a 40 °C/min y se mantuvo durante 10 min; la velocidad de flujo de helio fue de 0,62 mL/min. El espectrómetro de masas funcionó en modo de impacto de electrones con la energía de electrones ajustada a 70 eV y un rango de exploración de 33-400 m/z; velocidad de escaneo, 2000 uma/s.

La detección de los analitos se realizó en modo SCAN. La identificación se realizó a través del programa de búsqueda de espectros de masa del *National Institute of Standards Technology* (NIST, Versión 2.0, 2002; NIST USA). Los resultados se expresaron como unidades arbitrarias de área (UAA). Los experimentos de extracción y su correspondiente determinación por CG-EM se realizaron por duplicado.

#### 3.5.3.8. Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante total del zumo de zanahoria fue evaluada utilizando el método FRAP (apartado 1.2.4.5). La metodología seguida fue la descrita por Chen et al. (2015), con algunas modificaciones.

La solución FRAP recién preparada contenía buffer de acetato (0,3 M, pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina, 10 mM disuelto en HCl 40 mM) y cloruro férrico (20 mM) en una relación 10:1:1. El zumo de zanahoria se centrifugó a 10.000 xg (en una centrífuga Microfuge 22 R) durante 30 min a 4 °C. Luego se tomaron 0,83 µL del sobrenadante, se mezclaron con 2,5 mL de la solución FRAP (0,14 mM) y se hicieron reaccionar durante 15 min a 37 °C. La capacidad de reducción férrica se midió monitoreando la absorbancia a 593 nm usando un espectrofotómetro (Lambda Bio 20, Perkin-Elmer, Rotkreuz, Suiza) y la solución FRAP como blanco.

La capacidad antioxidante se calculó usando como estándar para la calibración un análogo de la vitamina E soluble en agua, el ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil croman-2-carboxílico, conocido como Trolox (Trolox, Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) y se expresó como  $\mu\text{M}$  de capacidad antioxidante equivalentes de Trolox (ET).

#### 3.5.3.9. Carotenos

El procedimiento usado para la extracción de los carotenos fue adaptado de Rossetti et al. (2010). Se pesaron 5 g de zumo, se mezclaron con 25 mL de buffer pK 0,05 M pH 7,7 y se homogeneizó la disolución durante 2 min con una homogeneizadora Ultraturrax (T-25, IKA). Se pesaron alícuotas de 1 g de esos homogeneizados, a los que se incorporaron 2 mL de pirogallol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 1% en etanol y se incubaron durante 2 min a 70 °C en baño de agua (Vicking, modelo Dubnoff) con agitación suave. Luego se saponificaron las muestras con 300  $\mu\text{L}$  de una solución de KOH 12 N (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) durante 30 min en baño de agua a 70 °C con agitación (Buttriss & Diplock, 1984). Posteriormente, se enfriaron en baño de agua con hielo hasta temperatura ambiente y se agregó 1 mL de agua bidestilada para mejor separación de las fases. Luego, se agregaron 5 mL de hexano calidad HPLC, se agitó la disolución con un agitador vórtex durante 2 min y se separaron las fases. Se repitió la operación con otros 5 mL de hexano y se juntó la segunda extracción con la primera. Por último, se evaporó el disolvente, se resuspendió el extracto en un volumen pequeño (500  $\mu\text{L}$ ) de etanol calidad HPLC y se filtró a través de una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidad.

Los carotenos del filtrado fueron detectados y cuantificados por HPLC. Para ello se inyectaron al sistema HPLC Ultimate 3000 (Dionex, Tokio, Japón) 50  $\mu\text{L}$  de los extractos (dilución 1:200), en un *loop* de 100  $\mu\text{L}$  en forma automática mediante un automuestreador (WPS-3000) y se cuantificaron con un detector de arreglo de diodos (DAD-3000RS) dispuesto en serie. El sistema está provisto de una bomba cuaternaria

(LPG-3400RS), una columna Alltima C18 (250 mm x 4,6 mm, partícula 5  $\mu\text{m}$ ) y software CHROMELEON 7. La fase móvil consistió en una mezcla isocrática de etanol:metanol (60:40) a un flujo de 1 mL/min. La detección del  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno se llevó a cabo a 445 nm en el detector de arreglo de diodos.

La cuantificación se efectuó utilizando el método de estándar externo mediante curvas de calibración de concentración conocida para  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA).

#### 3.5.3.10. Evaluación sensorial

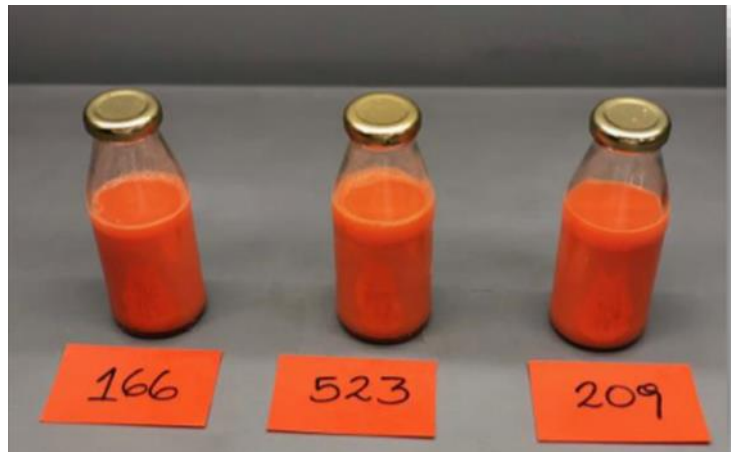
Inicialmente se realizó una prueba de ordenamiento de preferencia para evaluar diferencias de color y flavor entre el zumo de zanahoria control y los zumos tratados por CO y por TC (Meilgaard et al., 2007). La prueba se llevó a cabo con panelistas semi entrenados pertenecientes al Instituto Tecnología de Alimentos de INTA (Hurlingham, Buenos Aires, Argentina). Las muestras fueron codificadas para la realización de la prueba de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3.1.

*Tabla 3.1.* Números asignados a cada muestra de zumo para realizar las pruebas de preferencia de color y de flavor.

| Zumo    | Color | Flavor |
|---------|-------|--------|
| Control | 209   | 610    |
| TC      | 166   | 203    |
| CO      | 523   | 490    |

La prueba de ordenamiento de preferencia para evaluar el color se llevó a cabo en un gabinete con luz estandarizada (Verivide, CAC 120, Reino Unido). El iluminante D65 y el ángulo visual se mantuvieron constantes durante todas las pruebas. Las muestras se dispusieron en botellas de vidrio transparente, simulando una presentación comercial,

tal como se muestra en la Figura 3.5, y fueron batidas periódicamente para evitar la formación de sedimento. A cada evaluador se le entregó la planilla que se presenta en la Figura 3.6 para completar durante la evaluación.



*Figura 3.5.* Muestras de zumo de zanahoria presentadas a los evaluadores para la prueba de ordenamiento de preferencia de color.

|   |                      |                      |                      |                  |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Género:.....  | Edad:.....           |                      |                      |                  |
| <i>Jugo de zanahoria</i>                            |                      |                      |                      |                  |
| <i>Prueba de ordenamiento de la preferencia</i>     |                      |                      |                      |                  |
| <b>1- Color</b>                                     |                      |                      |                      |                  |
| Observe las muestras envasadas codificadas          |                      |                      |                      |                  |
| Ordénelas de la menos preferida a la más preferida: |                      |                      |                      |                  |
| <i>Menos</i>  | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <i>Más</i>       |
| <i>preferida</i>                                    |                      |                      |                      | <i>preferida</i> |

*Figura 3.6.* Planilla utilizada en la prueba de ordenamiento de preferencia de color.

La prueba de ordenamiento de preferencia para la evaluación del flavor se llevó a cabo en cabinas de paneles. Los panelistas recibieron 25 mL de cada muestra servida, aleatoriamente, en vasos de plástico a  $4 \pm 1$  °C (Figura 3.7) y una planilla para completar su evaluación (Figura 3.8). Las muestras fueron batidas previamente a servirse en los vasos de plástico.

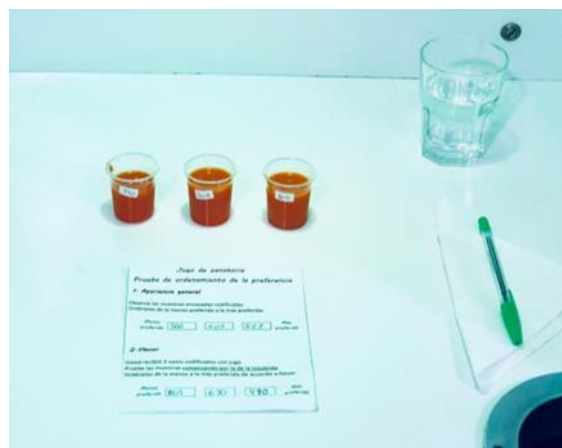


Figura 3.7. Muestras de zumo presentadas a los evaluadores para la realización de la prueba de ordenamiento de preferencia de flavor.

**2. Flavor**

Usted recibió 3 vasos codificados con jugo.  
Pruebe las muestras comenzando por la de la izquierda.  
Ordénelas de la menos preferida a la más preferida de acuerdo  
a flavor:

Menos    Más  
referida preferida

¡Gracias!

Figura 3.8. Planilla utilizada en la prueba de ordenamiento de preferencia de flavor.

Posteriormente, se seleccionó el zumo de zanahoria pasteurizado con la puntuación más alta en la prueba de ordenamiento de preferencia (para realizar la prueba de aceptabilidad con los consumidores. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos (1: “me disgusta muchísimo”; 9: “me gusta muchísimo”) (Meilgaard et al., 2007).

La prueba se llevó a cabo con consumidores habituales reclutados en el mercado de productos orgánicos “Sabe la Tierra”, ubicado en la localidad de San Fernando (Buenos Aires, Argentina).



Las muestras se entregaron a 4 °C y se sirvieron en vasos de plástico (Figura 3.9) junto con una planilla (ver Figura 2.1) para su evaluación.



*Figura 3.9.* Presentación del zumo de zanahoria a los consumidores.

#### 3.5.4. Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño de bloques completamente aleatorizado con tres tratamientos fijos cada uno correspondiente a: control, tratamiento convencional y calentamiento óhmico. Se realizaron tres lotes de procesamiento, correspondiendo cada uno a un bloque. En cada bloque se designaron al azar las unidades experimentales (3000 mL de zumo). De esta manera, se separaron 3000 mL de zumo y al azar se designaron para calentamiento óhmico, otros 3000 mL para control y otros 3000 ml para tratamiento convencional.

Los resultados se evaluaron estadísticamente mediante el paquete estadístico SPSS 10.0, Chicago, EE. UU. Para todos los parámetros evaluados en este capítulo, el efecto de bloque no fue significativo ( $p > 0,05$ ). Para la mayoría de los parámetros se utilizó el análisis de varianza en una vía (ANOVA), la Prueba T para muestras independientes (cuando no se asumieron varianzas iguales) y la regresión lineal para analizar el efecto del tratamiento sobre los atributos de calidad de las muestras de zumo de zanahoria.

Se utilizó la prueba de Bonferroni para comparar medias. Se consideraron diferencias significativas aquellas que tienen un nivel de significancia inferior a 0,05 ( $p < 0,05$ ).

En el caso de los compuestos volátiles, sus áreas, obtenidas por CG, se analizaron mediante análisis de componentes principales (ACP). El ACP es una técnica multivariada comúnmente utilizada para el análisis simultáneo de varias variables (Balzarini et al., 2011). Esta técnica permite identificar las variables que explican la mayor parte de la variabilidad total contenida en los datos, explorar las correlaciones entre variables y reducir la dimensión del análisis al combinar todas las variables en nuevos índices (variables sintéticas); cada una de estas nuevas variables constituye una componente principal (CP). Los resultados del ACP se pueden visualizar en un gráfico denominado *Biplot* (Gabriel, 1971), el cual permite representar, en un plano óptimo para el estudio de variabilidad, las diferencias entre los tratamientos de las muestras y las variables que mejor explican las principales variaciones.

Las puntuaciones obtenidas de cada ACP se analizaron mediante ANOVA, para probar las diferencias significativas entre los tratamientos.

En la evaluación sensorial, el orden en que se presentaron las muestras a los evaluadores para las pruebas de preferencia respondió a un diseño en bloque completo balanceado para una prueba con tres productos (Stone et al., 2012), tanto para evaluar color como flavor. Los resultados de las pruebas de preferencia fueron analizados mediante la prueba de Friedman ( $p < 0,05$ ) (Lawless & Heymann, 2010).

### 3.6. Aprovechamiento del subproducto de la elaboración de zumo de zanahoria

#### 3.6.1. Tratamiento aplicado a la pulpa de zanahoria

Tras la extracción del zumo de zanahoria, la pulpa residual fue secada utilizando un horno deshidratador de alimentos (Excalibur, 3900B) durante 6 h a 57 °C, hasta lograr un contenido de humedad aproximadamente del 4,5%. Posteriormente, la pulpa deshidratada se enfrió y se envasó al vacío (Rapivac 400 Max, Buenos Aires, Argentina) en bolsas de polietileno de 200 g, que se almacenaron a temperatura ambiente en la oscuridad. Por último, y previo a su utilización, se molió (Moulinex, AD6011AR) hasta obtener un polvo. Las fotografías de los productos resultantes en las distintas etapas del tratamiento se muestran en la Figura 3.10.



*Figura 3.10.* Fotografías de las etapas del proceso de tratamiento para obtener el polvo de pulpa de zanahoria.

### 3.6.2. Determinaciones realizadas en el polvo de pulpa de zanahoria

#### 3.6.2.1. Humedad

El contenido de humedad se determinó de acuerdo al método 934.01 de AOAC (2000). Una porción de muestra de aproximadamente 3 g se colocó en una placa de Petri, y se llevó a estufa a  $100 \pm 2$  °C hasta peso constante (alrededor de 48 horas). Luego la muestra se enfrió en un desecador y se pesó. Las determinaciones se realizaron por duplicado. El resultado se expresó de acuerdo a la ecuación 3.8:

$$H (\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} * 100 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

donde: H: humedad,  $m_0$ : peso de la placa de Petri vacía,  $m_1$ : peso de la placa de Petri con la muestra húmeda y  $m_2$ : peso de la placa de Petri con la muestra seca, estando todos los pesos expresados en g.

#### 3.6.2.2. Cenizas

El contenido de cenizas totales (C) se determinó de acuerdo al método 942.05 de la AOAC (2000). Para ello, se colocó la muestra en un crisol limpio, seco y tarado. El crisol se llevó a una mufla a 550 °C hasta calcinación completa. Luego se enfrió la muestra en desecador y se pesó el crisol. Las determinaciones se realizaron por duplicado. El contenido de cenizas, expresado en %, se calculó según la ecuación 3.9:

$$C (\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} * 100 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

donde:  $m_0$ : peso del crisol vacío,  $m_1$ : peso del crisol con la muestra húmeda y  $m_2$ : peso del crisol con la muestra calcinada, con los pesos expresados en g.

#### 3.6.2.3. *Proteína bruta*

El contenido de proteína bruta se determinó según el método de Kjeldahl multiplicando el contenido de nitrógeno con un factor de 6,25 (AOAC, 2000). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

Una porción de muestra de zumo de 1 g se colocó en el matraz Kjeldahl y se agregaron 10 g de sulfato de potasio, 0,7 g de óxido de mercurio y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (98%). Luego se colocó el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y se calentó a ebullición hasta que la solución se clarificó, y se continuó calentando durante media hora más. Posteriormente, durante el enfriamiento en baño de hielo, se adicionaron poco a poco, aproximadamente 90 mL de agua destilada y desionizada. Luego, a la solución fría se le agregaron 25 mL de solución de sulfato de sodio al 4% y se mezcló. A continuación, se adicionaron 80 mL de la solución de NaOH al 40% manteniendo inclinado el matraz. De esta manera se formaron dos fases en la solución. Se conectó el matraz a la unidad de destilación, se calentó y se colectaron en el matraz receptor 50 mL del destilado que contenía el amonio producido durante la digestión y al que se le adicionaron 50 mL de solución indicadora de ácido bórico. Al finalizar la destilación se quitó el matraz receptor y su contenido se valoró con la solución estándar de ácido clorhídrico 0,1N.

#### 3.6.2.4. *Lípidos*

El contenido de lípidos fue considerado como el extracto etéreo determinado conforme al método oficial 920.39 de AOAC (2000). Para ello, se extrajo el contenido lipídico de aproximadamente 2 g de muestra con 25 mL de éter de petróleo en baño de agua (55 °C). A continuación, se determinó el contenido lipídico bruto a partir de la evaporación del éter y se secó el extracto a 100 °C durante 30 min. Por último, se enfrió en desecador y se pesó.

#### 3.6.2.5. Fibra dietaria total

Se determinó el contenido de fibra dietaria total (FDT), empleándose el método enzimático-gravimétrico de acuerdo a AOAC (2005). Se colocó 1 g de muestra en un vaso de precipitado por duplicado ( $M_1$  y  $M_2$ ), se agregó *buffer* fosfato pH = 6 y se trató con 50  $\mu$ l de  $\alpha$ -amilasa, 100  $\mu$ l de proteasa y 200  $\mu$ l de amiloglucosidasa (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) sucesivamente. Posteriormente, se precipitó la FDT por adición de etanol 95% v/v, durante 1 h. Transcurrido ese tiempo fue filtrada y lavada en pasos sucesivos con etanol 78%, etanol 95% y acetona pura, secada a 105 °C durante una noche y pesada. A uno de los residuos de fibra dietaria ( $M_1$ ) se le determinó el contenido de cenizas incinerando la muestra a 550 °C, y al otro ( $M_2$ ) se le determinó el contenido de proteínas por el método de Kjeldahl. El contenido de fibra dietaria total se determinó como el residuo corregido por contenido de proteínas y cenizas.

#### 3.6.2.6. Hidratos de carbono

El contenido de hidratos de carbono se definió como el residuo que excluyó proteínas, lípidos, fibra dietaria total y cenizas y fue calculado según la ecuación 3.10 (Chau et al., 2004):

$$HC (\%) = 100 - P - L - FDT - C \quad (\text{Ec. 3.10})$$

donde P: contenido de proteínas, L: contenido de lípidos, FDT: contenido de fibra dietaria total, C: contenido de cenizas.

#### 3.6.3. Elaboración de una premezcla de harinas libre de gluten con polvo de pulpa de zanahoria para panificados

En la elaboración de la premezcla se utilizaron los siguientes ingredientes:

- Fécula de maíz: apto para celíacos, marca Glutal (Argentina).
- Fécula de mandioca: apto para celíacos, marca Dimax (Argentina).

- Harina de arroz: apto para celíacos, marca Glutal (Argentina).
- Polvo de pulpa de zanahoria (apartado 3.6.1).

La composición de las féculas y la harina de arroz se detallan en la Tabla 3.2.

*Tabla 3.2.* Información nutricional de las féculas de maíz y de mandioca y de la harina de arroz\*.

| Muestra            | Hidratos de carbono | Fibra |
|--------------------|---------------------|-------|
| Fécula de maíz     | 85,0                | 0     |
| Fécula de mandioca | 85,0                | 0     |
| Harina de arroz    | 78,0                | 2,0   |

\*Valores tomados del rotulado nutricional provisto en el envase. El mismo reporta 0% de contenido de lípidos y de proteína para los tres ingredientes.

Se elaboró una premezcla control conteniendo fécula de maíz, fécula de mandioca y harina de arroz de acuerdo a Cubilla-Giménez et al. (2018) (Tabla 3.3). Paralelamente, el polvo de pulpa de zanahoria obtenido en 3.6.1 se empleó para elaborar una premezcla de harinas libre de gluten (premezcla PPZ). Para ello, se disminuyó a la mitad la cantidad de harina de arroz, respecto a la de la premezcla control y se la reemplazó por polvo de pulpa de zanahoria (ppz), tal como se muestra en la Tabla 3.3.

*Tabla 3.3.* Composición (%) de las premezclas de harinas libres de gluten.

| Premezcla | Fécula de maíz | Fécula de mandioca | Harina de arroz | ppz |
|-----------|----------------|--------------------|-----------------|-----|
| Control   | 40             | 30                 | 30              | 0   |
| PPZ       | 40             | 30                 | 15              | 15  |

El porcentaje de reemplazo parcial de la harina de arroz en un 15% fue similar al utilizado por Kirbas et al. (2019), considerando la baja capacidad de absorción de agua de la harina de arroz, (Altindag & Siller, 2014).

### 3.6.4. Elaboración de magdalenas libres de gluten utilizando una premezcla de harinas

#### 3.6.4.1. *Ingredientes*

Los ingredientes utilizados se detallan a continuación:

- Premezcla control de harinas libre de gluten (apartado 3.6.3).
- Premezcla PPZ de harinas libre de gluten (apartado 3.6.3).
- Polvo para hornear: marca Royal (Argentina).
- Esencia de vainilla: marca La Virginia (Argentina).
- Huevos frescos.
- Azúcar: marca Ledesma (Argentina).
- Leche descremada (contenido de grasa: 1%) marca La Serenísima (Argentina).
- Manteca: marca La Serenísima (Argentina).

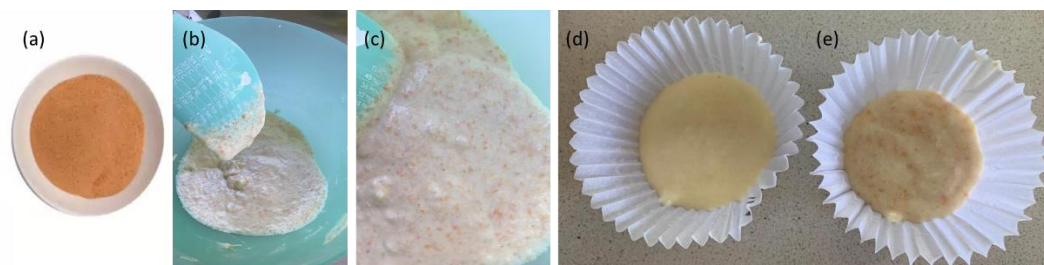
#### 3.6.4.2. *Elaboración de magdalenas libres de gluten*

Las magdalenas control se elaboraron con 150 g de premezcla control, 70 g de azúcar, 50 g de huevo batido, 2 mL de esencia de vainilla, 60 mL de leche, 60 g de manteca y 1,5 g de polvo de hornear. Las magdalenas con ppz se elaboraron de igual modo, reemplazando la premezcla control por la premezcla PPZ, en la misma proporción.

Primero, los huevos se batieron con una batidora de alambre (Moulinex, Easy Max) durante 4 min a velocidad 2, se añadió azúcar y se continuó batiendo otros 3 min a igual velocidad. A continuación, se añadieron la manteca derretida y la leche y se mezclaron durante 2 min a velocidad 1. Por último, se adicionaron a la mezcla todos los ingredientes secos restantes (premezcla y polvo para hornear) y se mezclaron durante 1 min a velocidad 2. Posteriormente, se llenaron los moldes descartables con 40 g de



preparación y se hornearon a 180 °C durante 20 min (Figura 3.11). Después de hornear, las magdalenas se enfriaron a temperatura ambiente durante 1 h. Se elaboraron 10 magdalenas control y 10 magdalenas utilizando la premezcla PPZ.



*Figura 3.9.* Fotografías de las etapas del proceso de elaboración de magdalenas libres de gluten. (a): ppz; (b) y (c): mezcla de los ingredientes; moldes con la mezcla de magdalena control (d) y con ppz (e) antes de hornear.

#### 3.6.4.3. Determinaciones realizadas en las magdalenas libres de gluten

Se realizó una evaluación sensorial de las propiedades de las magdalenas de ambas formulaciones adaptada de la norma IRAM (1966) (Tabla 3.4).

*Tabla 3.4.* Valores máximos de los parámetros a evaluar en las magdalenas, de acuerdo con la norma IRAM (1966).

| Propiedad                 | Rango de puntuación |
|---------------------------|---------------------|
| Color y brillo de corteza | 0 a 15              |
| Textura                   | 0 a 15              |
| Color de la miga          | 0 a 15              |
| Estructura                | 0 a 10              |

Las evaluaciones se llevaron a cabo con diez panelistas semi entrenados pertenecientes al Instituto de Tecnología de Alimentos del INTA (Hurlingham, Buenos Aires, Argentina). El análisis de cada muestra se realizó presentando a los panelistas una magdalena elaborada con premezcla PPZ junto a una magdalena control y la planilla de evaluación (Figuras 3.12 y 3.13). En la planilla, los panelistas debían realizar una marca sobre la

escala hedónica, en el punto que mejor reflejara la intensidad relativa del descriptor evaluado. Los resultados se obtuvieron midiendo los centímetros existentes entre el extremo inferior de la escala y la marca vertical hecha por el panelista.



Figura 3.10. Muestras de magdalenas presentadas a los panelistas para su evaluación.

Fecha:.....

### Evaluación general de magdalenas

Usted recibió 2 muestras de magdalenas. La muestra control es la derecha y la izquierda la magdalena elaborada con polvo de pulpa de zanahoria (magdalena PPZ).

Por favor, observe la magdalena PPZ y la magdalena control y marque con una X el valor correspondiente a cada una en la escala graficada.

Para realizar la evaluación del punto 1 debe observar el exterior de las magdalenas. Para realizar las otras evaluaciones debe partir las magdalenas con sus manos.

1. Color y brillo de la corteza

1 14

Blanco y sin brillo Marrón/anaranjado con brillo

2. Textura

1 14

Áspera y rígida Suave y elástica

3. Color de la miga

1 14

Blanco Amarillento

4. Estructura

1 9

Alvéolos grandes distribuidos heterogéneamente Alvéolos pequeños distribuidos homogéneamente

Gracias!

Figura 3.11. Planilla de evaluación sensorial de las magdalenas entregada a los panelistas.

En relación con el aspecto exterior de las magdalenas se evaluó sensorialmente la corteza analizando visualmente el color y el brillo de la misma, ubicando la puntuación lograda en una escala de 0 a 15, correspondiendo el valor mínimo de 0 a “color blanco, sin brillo” y el valor máximo de 15 a “color marrón/anaranjado, con brillo” (Tabla 3.4).

Para la evaluación sensorial del aspecto interior, dos horas después de sacadas del horno, se cortaron las magdalenas y se evaluó la textura, el color de la miga y la estructura. La textura de la miga se evaluó visualmente realizando un corte manual de las magdalenas y el valor se ubicó en una escala comprendida entre el límite inferior 0 (áspera y rígida) y el límite superior 15 (suave y elástica). Con respecto al color de la miga, se evaluó de manera visual ubicando el valor en la escala de 0 (color blanco) a 15 (color amarillento). Finalmente, la estructura se evaluó visualmente observando la distribución de alvéolos en la miga, correspondiendo el valor mínimo de 0 a la presencia de alvéolos grandes distribuidos heterogéneamente y el valor máximo de 10 a la distribución homogénea de alvéolos pequeños (Tabla 3.4).

Por último, las magdalenas se dejaron enfriar y se midió su altura utilizando un calibre.



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

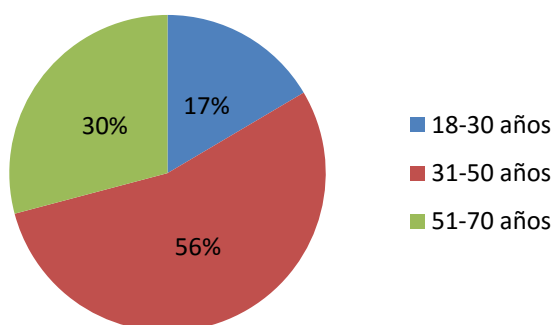


## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluación sensorial del zumo de zanahoria fresco elaborado a partir de descartes

Cuando las zanahorias se procesaron según lo indicado en el apartado 3.1. el rendimiento promedio del zumo fue de  $50,91 \pm 0,51$  g por cada 100 g de zanahoria. Este valor se encuentra en el rango de rendimiento (50-70%) reportado en la literatura para la producción de zumo de zanahoria (DiGiacomo & DiTaglieri, 2009; Sharma, 2018).

La prueba afectiva cuantitativa de aceptabilidad del zumo fresco de zanahoria se realizó con un total de 81 personas, trabajadores del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Buenos Aires, Argentina). De ellas, la mayoría (58%) no eran consumidores habituales de zumos de frutas o verduras naturales. El mayor porcentaje de los participantes (56%) se encontraba en el rango etario comprendido entre 31 y 50 años (Figura 4.1). En cuanto al género, cincuenta y cuatro fueron mujeres y veintisiete, hombres, siendo, por tanto, la población mayoritariamente femenina (67%).



*Figura 4.1.* Rango etario de los participantes en la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria fresco.

Los resultados obtenidos indicaron que el 29,6% de los consumidores ubicó al zumo de zanahoria como “me gusta bastante” (Figura 4.2). A más del 85% de los consumidores el zumo les agradó con diferentes niveles, ubicando al zumo en el rango entre “me gusta un poco” y “me gusta muchísimo”, correspondientes a las categorías 6 a 9 de la escala hedónica utilizada. El promedio general (n = 81) fue de 6,9, correspondiente a “me gusta bastante”. Por otro lado, sólo el 7,4% de los consumidores calificaron al zumo entre las categorías “me disgusta un poco” y “me disgusta muchísimo”.

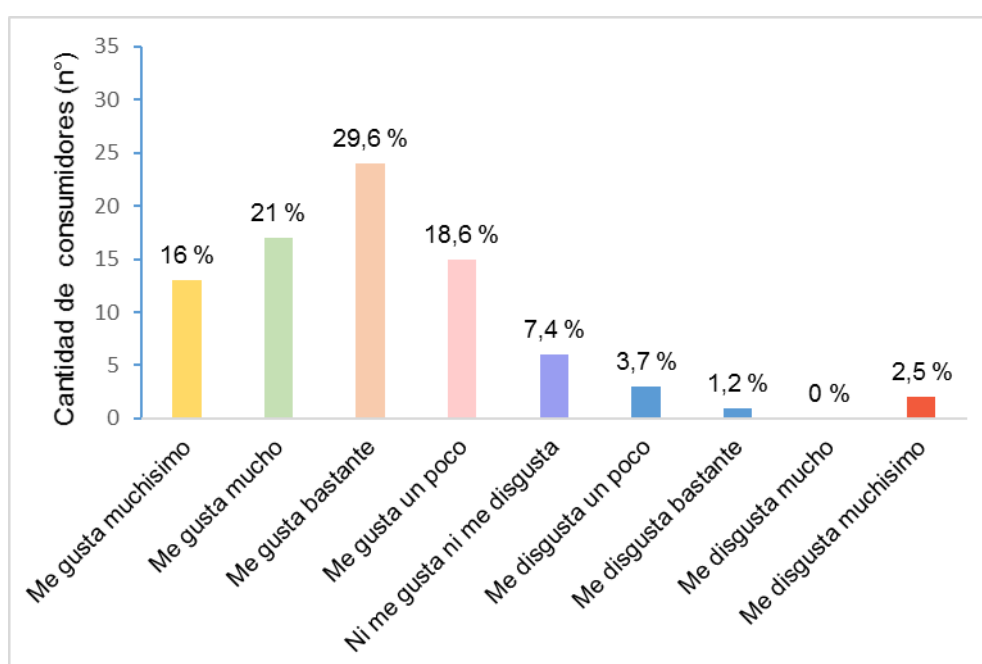


Figura 4.2. Resultados de la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria fresco (n=81).

Como ya se ha comentado anteriormente, la mayoría de los participantes en esta prueba no eran consumidores habituales (al menos una vez por semana) de zumos naturales, lo cual coincide con los hábitos descritos para la mayor parte de la población argentina, sobre todo, cuando se trata de zumos de hortalizas. Por su parte, considerando los elevados niveles de aceptabilidad logrados entre consumidores no habituales de zumos naturales, se podría suponer que el zumo lograría aún mejores niveles de aceptación,



si fuera presentado a un público habitual de este tipo de bebidas, lo cual definiría un consumidor específico para este tipo de zumo.

La aceptabilidad lograda por el zumo de zanahoria fresco en esta prueba concuerda con la tendencia internacional en la cual los zumos de hortalizas se encuentran entre los “zumos 100%” más habituales elegidos por los consumidores (Pittaluga, 2016). En este sentido, se ha descrito que los factores decisivos para el éxito de estas bebidas son sus propiedades sensoriales, principalmente apariencia y sabor, y que sean listas para beber (Andrés et al., 2016).

Por otro lado, la ingesta de bebidas saludables en la población argentina, según el informe del proyecto HidratAR, se encuentra lejos de las recomendaciones, tanto del Instituto de Medicina de Estados Unidos como de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, destacando que la mitad de los líquidos ingeridos por la población son bebidas e infusiones con azúcar añadido. Es decir que el consumo de este zumo de zanahoria convertiría un hábito saludable, como es la hidratación, en un vehículo de nutrientes críticos (Britos, 2018).

En este sentido, este resultado preliminar de aceptabilidad del zumo de zanahoria permite pensar en la posibilidad de acceso al mercado argentino de una bebida natural y saludable. De esta manera, los resultados obtenidos aportan el conocimiento de la experiencia del consumidor en cuanto a este tipo de bebidas. Así mismo, la aceptabilidad que logró el zumo de zanahoria fresco proveniente de descartes traza una promisoriosa línea de base a partir de la cual se pueden desarrollar otros productos basados en este zumo. Cabe esperar que un zumo de zanahoria pasteurizado que preserve las características sensoriales del zumo fresco presente niveles de aceptabilidad, al menos, similares a los obtenidos.

## 4.2. Adecuación del equipo de calentamiento óhmico

### 4.2.1. Modificaciones realizadas en el equipo de calentamiento óhmico

En primer lugar, se diseñaron y construyeron, de acuerdo con el esquema de la Figura 4.3, las celdas de calentamiento, que son los recipientes en los que se coloca el líquido conductor a ser calentado, en nuestro caso, el zumo de zanahoria.

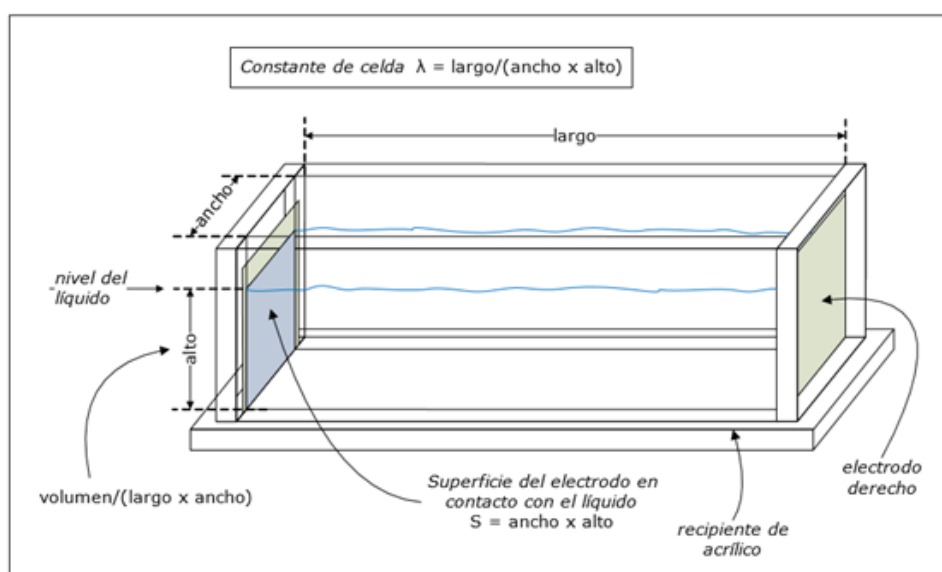


Figura 4.3. Esquema de una celda de calentamiento, con líquido en su interior, para CO (fuente: Arias, 2018).

Un factor limitante del equipo de CO es que la resistencia eléctrica (Ecuación 1.1) del conjunto conformado por la celda, los electrodos y el líquido conductor debe ser, en todo momento, mayor de  $14 \Omega$ , siendo el rango de trabajo óptimo entre 20 y  $100 \Omega$ . Esto es necesario para evitar que la potencia máxima del equipo supere los 2,9 KW, siendo éste el valor de seguridad de trabajo del equipo (Arias, 2018). De esta manera, para el diseño de las celdas se debió considerar el factor de la constante de celda,  $\lambda$  ( $\text{cm}^{-1}$ ), que es la relación entre la longitud, L (distancia entre las caras donde se ubican los electrodos), y el área de sección transversal, A (superficie del electrodo en contacto con el líquido) de la celda de calentamiento (Ecuación 4.1):

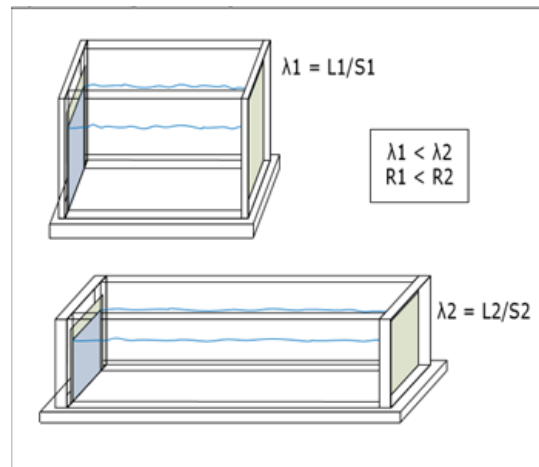
$$\lambda = \frac{L}{A} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

A partir de dicha constante de celda se calcula la resistencia de acuerdo con la ecuación 4.2:

$$R = \frac{\lambda}{\sigma} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

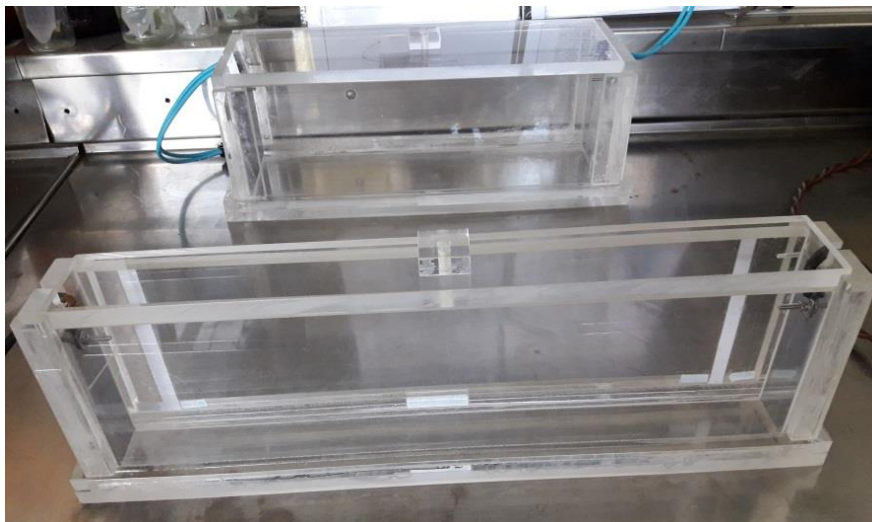
donde R es la resistencia ( $\Omega$ ),  $\lambda$  es la constante de celda ( $\text{cm}^{-1}$ ) y  $\sigma$  es la conductividad (mS/cm) del líquido a ser calentado.

En base a las Ecuaciones 4.1 y 4.2 y, considerando una conductividad aproximada del zumo de zanahoria de 14 mS/cm (20 °C), se estimaron los valores adecuados de la longitud y del área y se diseñaron dos celdas de diferentes volúmenes de trabajo, de acuerdo con los esquemas que se muestran en la Figura 4.4.



*Figura 4.4.* Esquema de las dos celdas de calentamiento diseñadas para utilizar con el equipo de CO.

Las dos celdas se construyeron utilizando placas acrílicas de 10 mm de espesor pegadas entre sí formando una caja rectangular (Figura 4.5). En dos lados paralelos de la celda se insertaron los electrodos (placas de acero inoxidable de 2 mm de espesor) en sendas ranuras. Los electrodos se conectaron a las salidas del transformador mediante unos conectores. Las dimensiones de las celdas se muestran en la Tabla 4.1.

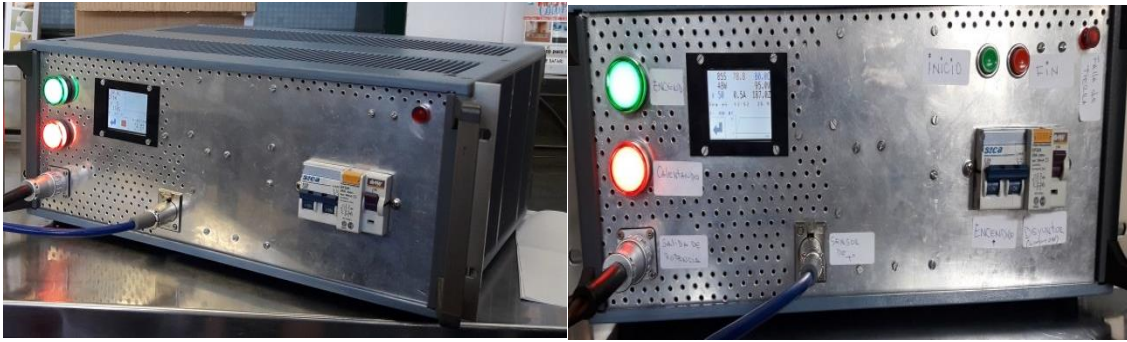


*Figura 4.5.* Celdas de calentamiento construidas en material acrílico para el equipo de CO.

*Tabla 4.1.* Dimensiones de las celdas de calentamiento construidas para el equipo de CO.

| Celda   | Largo (cm) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Área de cada electrodo (m <sup>2</sup> ) | Volumen (mL) | $\lambda$ (cm <sup>-1</sup> ) |
|---------|------------|------------|-----------|--|--------------|-------------------------------|
| Celda 1 | 42,5       | 7          | 10        | 0,7                                      | 750          | 0,61                          |
| Celda 2 | 33,57      | 9,8        | 10,1      | 0,98                                     | 2.500        | 0,44                          |

Las modificaciones realizadas al equipo de CO (Figura 4.6) consistieron en la adición de un pulsador (mecánico) de encendido y otro de apagado, para reemplazar el comando que utilizaba una pantalla táctil (modelo inicial) que podría generar fallos durante su uso. Por otro lado, como se indica más adelante, se modificó el lazo de control para alcanzar la temperatura final (80 °C) en el menor tiempo posible.



*Figura 4.6.* Comparación de las consolas del equipo de CO antes (izquierda) y después (derecha) de las modificaciones.

El equipo de CO modificado, que puede observarse durante su funcionamiento en la Figura 4.7, toma la energía de red (220 V, corriente alterna), la rectifica y genera una corriente alterna de 60 KHz de frecuencia. La amplitud de esta tensión es elevada mediante un transformador y se aplica a dos placas de acero inoxidable (electrodos) que, en contacto con el líquido conductor permiten, el paso de la corriente eléctrica (Figura 4.8). El equipo fija el valor de la diferencia de voltaje eficaz aplicada entre los electrodos, evitando que la potencia máxima supere 2,9 KW, y en esas condiciones circula una corriente relacionada con la conductividad eléctrica del líquido. El valor del voltaje de salida se puede variar con el inversor de potencia, cambiando el ancho de los pulsos que componen el voltaje, lo cual se hace modificando el tiempo y la secuencia en que se abren y cierran las cuatro llaves del inversor. El voltaje máximo de salida del equipo es de 400 V.



Figura 4.7. Equipo de CO utilizado para el calentamiento de zumo de zanahoria.

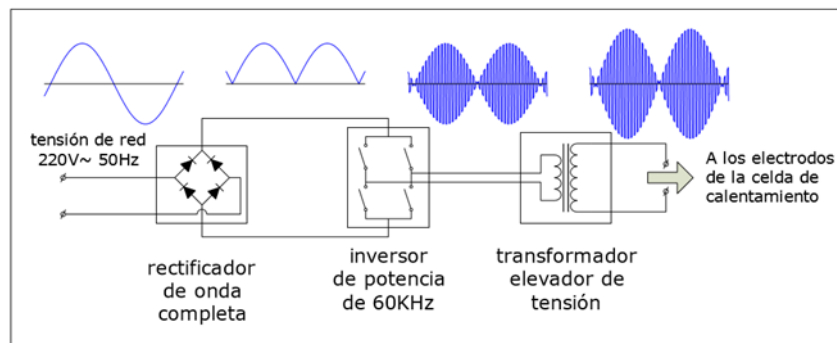


Figura 4.8. Diagrama de conversión de energía en el sistema de CO (fuente: Arias, 2018).

El convertidor de conmutación está controlado por dos lazos de control cerrados anidados. El primer lazo de control (o lazo de temperatura) compara la temperatura medida con la de referencia o consigna, generada en un programa de acuerdo con las rampas de calentamiento deseadas. En función de la diferencia entre la temperatura medida y la consignada se genera una señal de error, que se envía como señal de referencia o consigna al segundo lazo de control, o lazo de corriente. Este compara el valor de la corriente real medida con el sensor de corriente eficaz (rcm) con el valor de la corriente de consigna entregado por el primer lazo y, en función de la diferencia entre

ambas corrientes, genera una segunda señal de error, que es enviada como referencia o consigna para el control de tensión.

Con las primeras aplicaciones del CO se descubrió que el uso de bajas frecuencias de corriente alterna, en el rango de 50-60 Hz, presentaba inconvenientes, ya que conducía a un aumento de las reacciones electroquímicas y de la erosión de los electrodos, particularmente cuando estos eran metálicos. En este contexto, el contacto directo de los alimentos con los electrodos se considera un aspecto crítico de la aplicación. Las posteriores mejoras técnicas del proceso abordaron aspectos relacionados con los materiales de los electrodos que se utilizan (como el titanio) y con las frecuencias de corriente alterna optimizadas en el rango de kHz. En este sentido, si bien el CO se puede lograr tanto con corriente continua como alterna, en el desarrollo de este equipo se optó por usar corriente alterna, debido a que, con ella, se previenen los efectos electroquímicos y electrolíticos y la formación de productos de reacción no deseados (Jaeger et al., 2016). Así mismo, este equipo utiliza corriente alterna a una frecuencia de 60 kHz, la cual es lo suficientemente alta para evitar fenómenos de electrólisis (Diaz Ramos & Tacca, 2013; Soldati et al., 2019), así como para reducir las reacciones de oxidación de los electrodos y la contaminación metálica del producto (Varghese et al., 2014). Esto posibilita el uso de electrodos más económicos, como el de acero inoxidable en lugar de electrodos de mayor coste, como de titanio o platino, entre otros (Diaz Ramos & Tacca, 2013).

La cantidad de calor generado está directamente relacionada con aspectos vinculados al diseño del equipo, como puede ser la corriente inducida por el gradiente de voltaje en el campo, pero también está relacionada con la conductividad eléctrica del alimento. Por ello, es necesario, tras haber desarrollado el equipo de CO, realizar diferentes pruebas con el mismo, para comprobar su seguridad y su efectividad con el alimento a ser tratado.

#### 4.2.2. Ensayos de funcionamiento del equipo de calentamiento óhmico

Como se indicó en el apartado 3.4.3, se realizaron cinco ensayos: uno con una disolución salina, dos con zumos elaborados a partir de zanahoria adquirida a granel (de variedad desconocida) y dos con los zumos elaborados a partir de dos variedades comerciales de zanahoria, *Nantesa* y *Chantenay*.

La prueba de calentamiento con la solución salina de  $\sigma_{25}=50$  mS/cm se realizó utilizando la celda de calentamiento 1 ( $\lambda = 0,61$  cm<sup>-1</sup>) con un volumen de 750 mL. Sus curvas correspondientes a  $\sigma$  vs T y R vs T se muestran en la Figura 4.9, en la que puede observarse que la conductividad es directamente proporcional a la temperatura, mientras que la resistencia disminuye exponencialmente. La ley de Ohm relaciona la intensidad de corriente (I), el voltaje aplicado (V), la resistencia (R) y la potencia (P) (Reznick, 1996) a través de las ecuaciones 4.3 y 4.4:

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$P = V I \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Por tanto, a mayor temperatura de la solución, mayor conductividad, menor resistencia y mayor potencia entregada al sistema. Cabe mencionar que el equipo dispone de un sistema de seguridad que evita que la potencia del mismo supere los 2,9 kW.

Al calentar 750 mL de solución NaCl (16,8 g/L) desde 20 °C hasta 80 °C, los parámetros voltaje (V), intensidad de corriente (I) y potencia (P) evolucionaron como se muestra en la Figura 4.10.



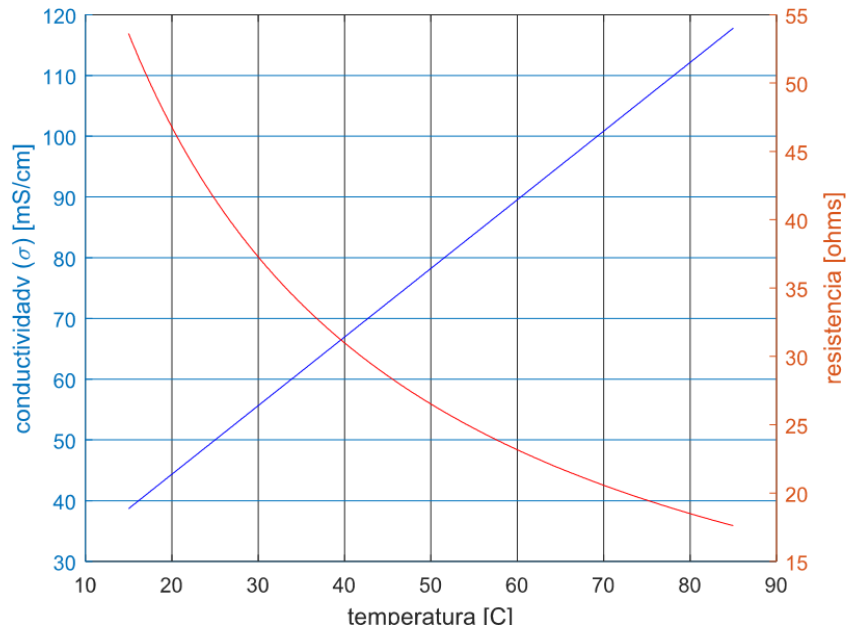


Figura 4.9. Curvas de conductividad (azul) y resistencia (roja) en función de la temperatura de calentamiento de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L.

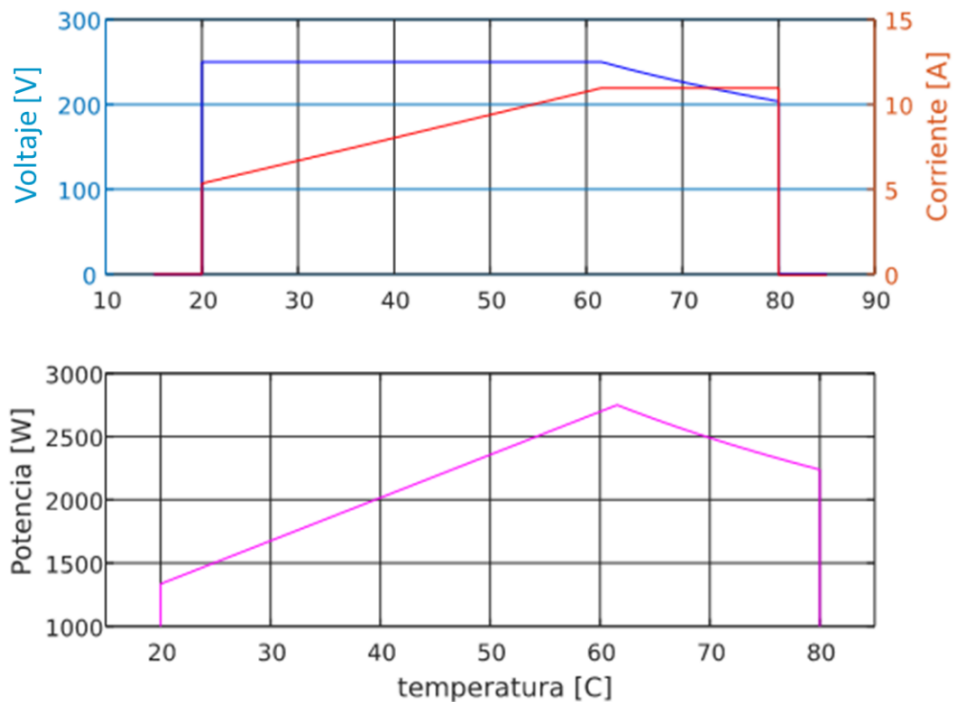


Figura 4.10. Evolución de los parámetros eléctricos voltaje (V), intensidad de corriente (I) y potencia (P) en función de la temperatura, durante el proceso de CO de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L.

El valor de voltaje eficaz durante el calentamiento fue el valor máximo aplicado (250 V), hasta alcanzar los 61,5 °C, temperatura a partir de la cual comenzó a bajar. Esto permitió que por el líquido circulara la corriente eléctrica, que fue en aumento hasta alcanzar su máximo (11 A) a los 61,5 °C, temperatura a la cual también alcanzó su máximo la potencia suministrada al sistema. A partir de ese punto la conductividad de la solución siguió aumentando al hacerle la temperatura, por lo que la resistencia siguió bajando (Tabla 4.2). Por lo tanto, como consecuencia de la Ley de Ohm (Ecuación 4.3), el equipo disminuyó el voltaje para poder mantener el máximo de la intensidad de corriente durante el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada. El valor máximo de potencia alcanzado por el equipo (2,75 kW a los 61,5 °C), fue inferior al valor límite de trabajo del equipo (2,9 kW). Así mismo, el valor de resistencia se mantuvo dentro del rango de operación óptimo (20 a 100  $\Omega$ ) del equipo durante todo el proceso.

*Tabla 4.2.* Parámetros eléctricos medidos durante el proceso de CO de una solución salina de NaCl de 16,8 g/L.

|                                    | Parámetro        |                |       |       |        |
|------------------------------------|------------------|----------------|-------|-------|--------|
| Temperatura                        | $\sigma$ (mS/cm) | R ( $\Omega$ ) | V (V) | I (A) | P (kW) |
| Inicial (20 °C)                    | 44,4             | 46,7           | 250   | 5,4   | 1,34   |
| En el máximo de potencia (61,5 °C) | 91,2             | 22,73          | 250   | 11    | 2,74   |
| Final (80 °C)                      | 112              | 18,5           | 203,5 | 11    | 2,24   |

Cuando el líquido alcanzó la temperatura final establecida (80 °C), el sistema la mantuvo constante encendiendo y apagando el inversor para compensar las pérdidas de calor. Las fugas de calor se debieron principalmente al vapor que emanaba la solución caliente y que condensaba luego en las paredes y tapa del recipiente, y en menor medida, al

calentamiento de las paredes del recipiente y la transmisión del calor al ambiente, de acuerdo a lo informado por Arias (2018).

Esta primera prueba evidenció que el diseño de la celda y los cambios adoptados en el equipo de CO fueron adecuados ya que permitieron calentar óhmicamente la solución ensayada a la temperatura establecida, dentro de los límites de funcionamiento del equipo.

Una vez efectuada la prueba con la disolución salina, se procedió a estudiar el comportamiento del zumo de zanahoria durante el CO. Así, se realizó un segundo ensayo utilizando zumo de zanahoria fresco elaborado a partir de zanahorias comerciales adquiridas a granel (de variedad desconocida) y la celda de calentamiento 1, con capacidad de 750 mL (Tabla 4.1).

El proceso completo de tratamiento del zumo duró 15 min y el valor máximo de conductividad alcanzado en el zumo de zanahoria fue de 15 mS/cm a 80 °C. Los parámetros obtenidos durante el proceso de CO son los que se muestran en la Tabla 4.3, correspondientes a la celda 1.

Con el valor máximo de conductividad del zumo en la celda 1 se calculó el mínimo valor de resistencia que tendría el zumo si se calentara en la celda 2, considerando que es la celda diseñada para realizar los tratamientos de pasteurización. De esta manera, el valor de resistencia estimado para el zumo de zanahoria utilizando la celda 2 fue de 29  $\Omega$  a 80 °C (el real resultó ser 22  $\Omega$ , Tabla 4.3) El mismo se encuentra dentro del rango óptimo de trabajo de este equipo (20 a 100  $\Omega$ ). Se asumió que la temperatura de la muestra era uniforme en la celda, ya que la diferencia máxima entre las temperaturas medidas en diferentes ubicaciones era inferior a 1 °C.

**Tabla 4.3.** Parámetros del proceso de CO del zumo elaborado a partir de zanahorias comerciales, adquiridas a granel, utilizando dos celdas diferentes.

| Celda   | Parámetro                |                      |                           |                     |           |
|---------|--------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|-----------|
|         | $\sigma_{80}$<br>(mS/cm) | $t_{19-80}$<br>(min) | Campo<br>eléctrico (V/cm) | Frecuencia<br>(KHz) | d<br>(cm) |
| Celda 1 | 15                       | 8                    | 9,4                       | 60                  | 42,5      |
| Celda 2 | 22                       | 6                    | 11,9                      | 60                  | 33,5      |

$\sigma_{80}$ : conductividad a 80 °C;  $t_{19-80}$ : tiempo de calentamiento desde 19 °C hasta 80 °C; d: distancia entre los electrodos.

Con objeto de procesar un volumen mayor de muestra, y a partir de los resultados obtenidos en la celda 1, se realizó un tercer ensayo, tratando 2.500 mL de zumo en la celda 2. Los parámetros del proceso obtenidos durante el tratamiento por CO en dicha celda se muestran también en la Tabla 4.3. El proceso completo duró 13 min, un tiempo ligeramente inferior al correspondiente a la celda 1, 15 min. Las diferencias en el tiempo de calentamiento están de acuerdo con los resultados obtenidos por Icier e Ilicali (2005b), quienes informaron que el tiempo disminuía como consecuencia de las velocidades de calentamiento más altas resultantes de la aplicación de un gradiente de voltaje mayor. Paralelamente, estos resultados también coinciden con los de Evrendilek et al. (2012), en cuanto a que las velocidades de calentamiento son mayores a medida que disminuye la resistencia del alimento y aumenta su conductividad.

Por otra parte, se observaron valores mayores, tanto de la conductividad máxima como del campo eléctrico cuando se utilizó la celda de mayor volumen y dimensiones.

Los resultados obtenidos en estos ensayos y las condiciones de proceso establecidas (Tabla 4.3) para la pasteurización de zumo (80 °C-7 min) fueron incorporados a la redacción del Manual de Usuario del equipo de CO (Arias, 2018). En el mismo se detalla

el equipo, las celdas, instrucciones para su correcto uso, las normas de seguridad y cómo realizar el procesamiento de datos.

Cabe mencionar que entre el inicio de las modificaciones del equipo y la finalización de las pruebas transcurrió un año, durante el cual no se observaron signos de corrosión de los electrodos. Tampoco se observó el desprendimiento de burbujas durante la realización de las pruebas. Estos comportamientos eran los esperados ya que la selección de las condiciones de trabajo y el diseño del equipo fueron realizados con este fin.

Como se mencionó previamente, la conductividad eléctrica del alimento es el parámetro clave en el proceso de CO. En este sentido, los valores de conductividad eléctrica obtenidos para el zumo de zanahoria (de 15 a 22 mS/cm) se encuentran dentro del rango de conductividad (0,1 a 100 mS/cm) de alimentos en el que es factible la aplicación de CO (Piette et al., 2004). Además, confirma el hecho informado por Icier e Illicali (2005a, 2005b) que la conductividad eléctrica de frutas y verduras es suficientemente alta para poder aplicarles dicho tratamiento.

Por otra parte, si bien el campo eléctrico usualmente utilizado con esta tecnología suele ser de 20 a 400 V/cm (Jaeger et al., 2016), se han aplicado también valores de campo eléctrico en el orden de los 10 V/cm en el CO de zumo de granada (Yildiz et al., 2009) y de zumo de membrillo (Bozkurt & Icier, 2009). Por tanto, los valores de campo eléctrico aplicados (9,4 y 11,9 V/cm) en este trabajo son muy similares a los utilizados por estos últimos autores.

Finalmente, se elaboraron zumos de dos variedades de zanahoria, *Nantesa* y *Chantenay*, en los que se determinó su contenido en sólidos solubles, asociado al contenido de azúcares y, por tanto, relacionado con el sabor (Gaviola, 2013), así como sus parámetros cromáticos. Los resultados, obtenidos a partir de nueve medidas,

expresados como “media + desviación estándar” se muestran en la Tabla 4.4. Letras diferentes (a, b) en los valores de una misma columna en una tabla indican que dichos valores son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre sí.

En las siguientes tablas que irán apareciendo en los resultados (Tablas 4.4 a 4.14) y que incluirán los valores de distintos parámetros, los datos se han calculado de la misma forma, a partir de nueve medidas, a no ser que se indique otro valor.

*Tabla 4.4.* Sólidos solubles totales y parámetros cromáticos del zumo de zanahoria fresco de dos variedades comerciales.

| Variedad         | Parámetro                |                         |                         |                         |
|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                  | SST (°Brix)              | L*                      | a*                      | b*                      |
| <i>Nantesa</i>   | 10,7 ± 0,5 <sup>a</sup>  | 45,1 ± 0,3 <sup>a</sup> | 19,6 ± 0,3 <sup>a</sup> | 38,7 ± 0,7 <sup>a</sup> |
| <i>Chantenay</i> | 9,11 ± 0,87 <sup>b</sup> | 45,8 ± 0,3 <sup>b</sup> | 20,9 ± 0,2 <sup>b</sup> | 35,9 ± 0,4 <sup>b</sup> |

Los resultados de la Tabla 4.4 indican que la variedad *Nantesa* presentó un mayor contenido de sólidos solubles que la variedad *Chantenay*; en cualquier caso, cabe resaltar que ambos valores fueron inferiores al valor de 12 °Brix, tal como lo requiere la legislación argentina mediante el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) para este tipo de bebidas.

En relación con los parámetros cromáticos el zumo elaborado con la variedad *Chantenay* presentó mayores valores de L\* y a\* y menor valor de b\* que el zumo de la variedad *Nantesa*. Esto indica que el primero es más luminoso, más rojo y menos amarillo que el segundo.

Posteriormente, ambos zumos de zanahoria fueron sometidos al proceso de CO (ensayos 4 y 5), utilizando la celda 2, evaluándose la conductividad eléctrica durante el mismo. La conductividad eléctrica a 20 °C del zumo de zanahoria variedad *Nantesa* fue

de  $8,76 \pm 0,17$  mS/cm y la del zumo de zanahoria variedad *Chantenay* fue de  $6,16 \pm 0,51$  mS/cm. Ambas conductividades aumentaron linealmente con la temperatura, alcanzando un valor máximo de  $26,49 \pm 0,67$  mS/cm y de  $20,26 \pm 0,51$  mS/cm, respectivamente, a los 80 °C (Figura 4.11). Por otra parte, el zumo de la variedad *Nantesa* tardó menos tiempo que el de la *Chantenay* en alcanzar la temperatura final de 80 °C, 7,76 min frente a 9,0 min. La velocidad de calentamiento más alta se encuentra asociada con la mayor conductividad del zumo. Considerando que el contenido de sólidos solubles totales es una medida indirecta de la conductividad (Anderson, 2008), los valores de conductividad más altos en el zumo de zanahoria variedad *Nantesa* respecto a la variedad *Chantenay* podrían estar relacionados con el mayor contenido de sólidos solubles totales.

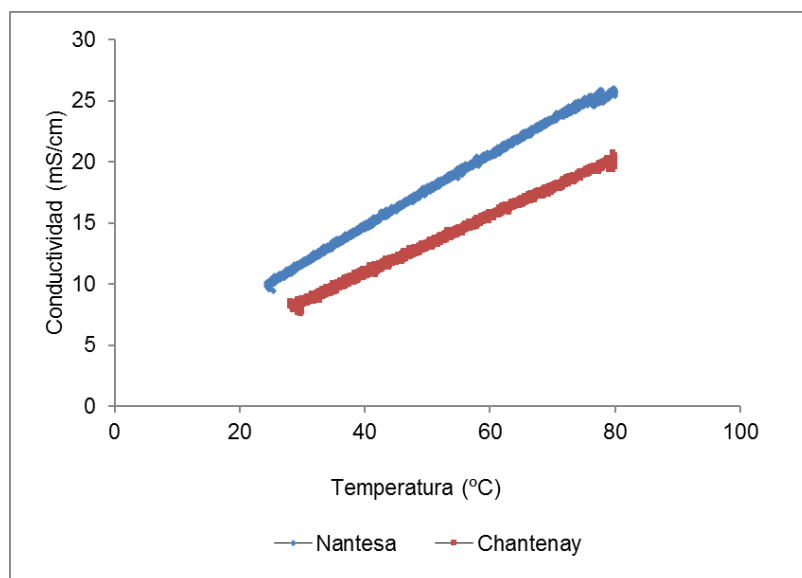
Los datos de  $\sigma$  vs T (Figura 4.11) se ajustaron a un modelo de regresión lineal según las ecuaciones 4.5 y 4.6, para las variedades *Nantesa* y *Chantenay*, respectivamente:

$$\sigma_N = 2,84 + 0,30 \times T \quad R^2 = 0,997 \quad (\text{Ec. 4.5})$$

$$\sigma_C = 1,46 + 0,24 \times T \quad R^2 = 0,997 \quad (\text{Ec. 4.6})$$

donde la conductividad eléctrica se expresa en mS/cm y la temperatura en °C.

Los resultados presentados indican que los zumos de las dos variedades de zanahoria pueden someterse al proceso de CO, ya que los valores de conductividad obtenidos (6 a 8 mS/cm) se encuentran comprendidos en el rango de conductividad compatible con la aplicación de CO (0,1 a 100 mS/cm) (Piette et al., 2004).



*Figura 4.11.* Conductividad eléctrica en función de la temperatura durante el CO de los zumos de zanahorias de dos variedades comerciales.

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de CO la conductividad de ambos zumos aumentó linealmente con la temperatura, lo cual hace que el proceso de CO sea más efectivo a mayores temperaturas (Ruan et al., 2001). Este aumento de la conductividad puede deberse a varias causas, como el aumento de la movilidad iónica, producido por cambios estructurales, la ruptura de la protopectina de la pared celular; la expulsión de burbujas de gas no conductoras, el ablandamiento y la disminución de viscosidad de la fase acuosa, etc. (Evrendilek et al., 2012). Todos estos factores pueden influir en el hecho de que el comportamiento de la conductividad eléctrica vs la temperatura se desvíe de la linealidad. En este sentido, Gomathy et al. (2015) e Icier e Icalli (2005b) observaron falta de linealidad entre la conductividad eléctrica y la temperatura por encima de 50-60 °C, aplicando CO en puré de frutas, lo que relacionaron con la formación de burbujas dentro de la muestra. De forma similar, Palanapian y Sastry (1991) aplicaron el CO a zumos de naranja y observaron que a temperaturas superiores a los 80-85 °C ocurría una disminución repentina de la conductividad, que podía estar causada también por la presencia de pequeñas burbujas de gas cerca de los electrodos. Mediante experimentos adicionales en los que aplicaron



diferentes valores de intensidad de campo (30-60 V/cm), concluyeron que la presencia de burbujas era debida al gas formado en las reacciones que ocurrían en los electrodos durante el CO, y que dichas reacciones se producían a una temperatura más alta cuanto menor era la intensidad del campo.

Por el contrario, los zumos de las dos variedades comerciales de zanahoria evaluados en este trabajo no produjeron la formación de burbujas durante el proceso de CO, lo cual también fue corroborado con el incremento lineal de la conductividad en relación con la temperatura que se registró para ambos zumos (Figura 4.11). Esto es resultado de las condiciones de diseño del proceso de CO: fuerza de campo eléctrico baja (11,9 V/cm) y corriente alterna a una frecuencia de 60 KHz.

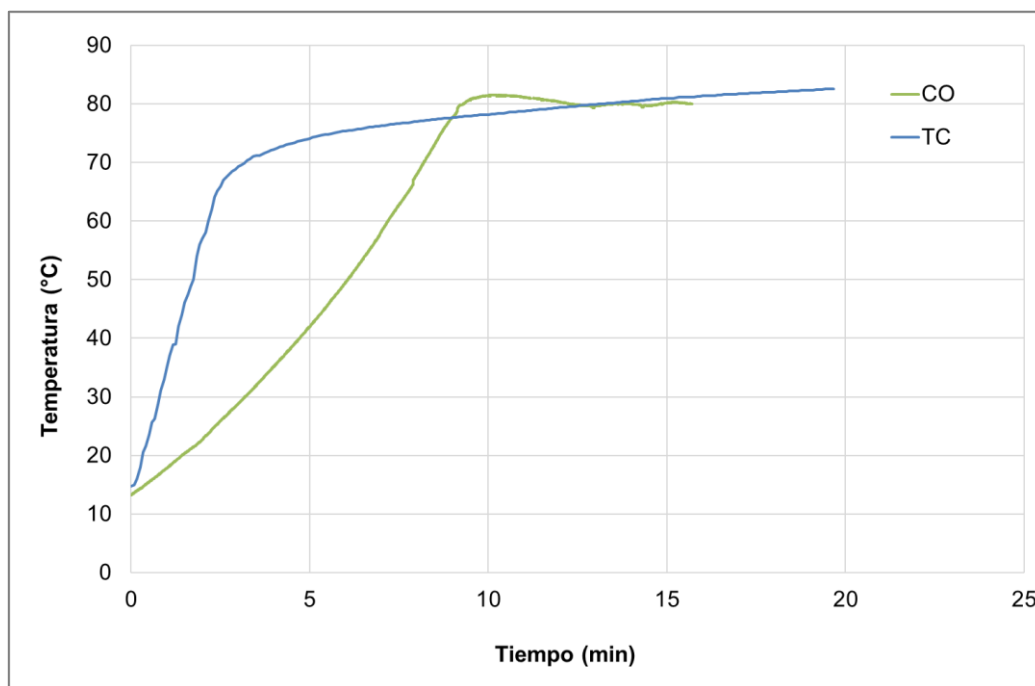
Como se presentó previamente, las dimensiones de las celdas de calentamiento afectaron a la conductividad del zumo y, por ende, determinaron la velocidad del proceso de CO. Por lo tanto, la elección de la celda para realizar el CO es un factor clave a ser considerado. Así mismo, las principales variedades de zanahoria de Argentina presentaron diferencias en la conductividad del zumo, afectando al proceso de CO. Esto hace necesario realizar una estimación previa de la conductividad del zumo de zanahorias de descarte a tratar, de cara a conocer si sería apto para ser sometido al CO y estimar el tiempo requerido.

### 4.3. Pasteurización del zumo de zanahoria de descartes por CO y por TC y sus efectos sobre los atributos de calidad

#### 4.3.1. Tiempo del proceso de pasteurización

En la Figura 4.12 se muestran sendos ejemplos de las curvas de penetración de calor registradas durante el proceso de pasteurización por TC y por CO, respectivamente. Se puede observar que, para alcanzar la temperatura final de 80 °C, desde una temperatura

inicial de 14,7 °C, fueron necesarios 13,25 ± 0,9 min durante el tratamiento TC, frente al menor tiempo, 9,06 ± 0,38 min, requerido durante el CO en la celda 2, que fue la elegida para realizar los experimentos.



*Figura 4.12.* Curvas de penetración de calor del zumo de zanahoria durante el proceso de pasteurización por CO y por TC.

Los resultados obtenidos indican que el tiempo total de procesamiento del zumo de zanahoria por CO fue menor ( $p < 0,05$ ) que por TC (16,06 vs 20,25 min, respectivamente). Estos resultados se relacionan con que, en el proceso de CO, el calor se genera muy rápido dentro del alimento, debido al paso de la corriente eléctrica, a diferencia del proceso de TC, donde el calor se transfiere por conducción o convección. Estas diferencias repercuten en tiempos de procesamiento más cortos para CO que para TC (Sensoy, 2012).

En estas condiciones, es de esperar que la menor exposición al calor registrada en el zumo tratado por CO repercuta en una mejor preservación de los parámetros de calidad.

#### 4.3.2. Determinación de la conductividad eléctrica del zumo de zanahorias de descarte

La conductividad eléctrica es la propiedad más crítica que afecta a la velocidad del proceso de CO y es función, principalmente, de las propiedades químicas de los alimentos, su estructura y la temperatura. En este sentido, el proceso de CO no es aplicable a alimentos que tengan conductividad por debajo de 0,1 mS/cm y por encima de 100 mS/cm (Piette et al., 2004). De acuerdo con los valores de conductividad obtenidos en los ensayos con los distintos zumos de zanahoria durante la puesta a punto del equipo de CO, es de prever que el zumo elaborado a partir de zanahorias de descarte tenga una conductividad adecuada para someterse al tratamiento de CO.

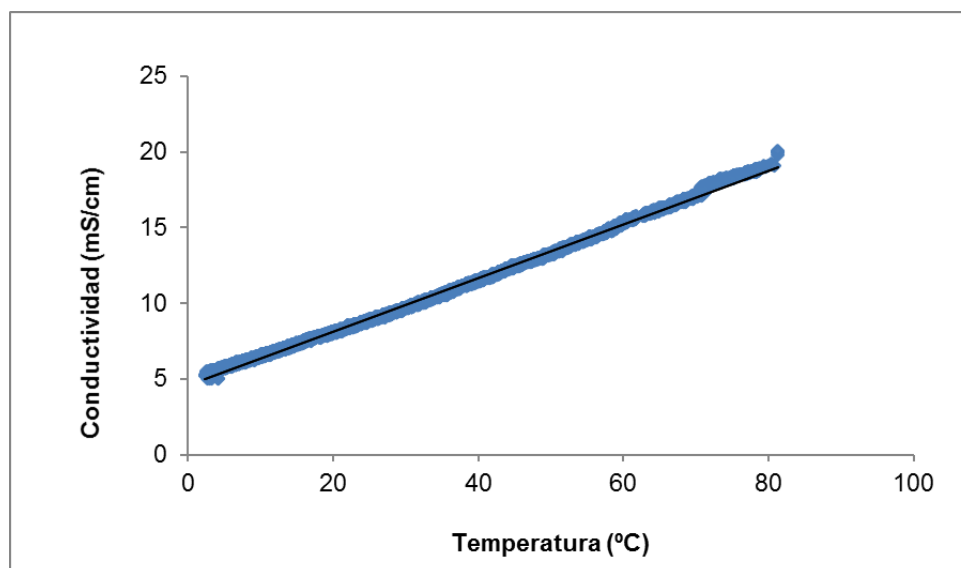
De acuerdo con lo representado en la Figura 4.13, la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) a 20 °C del zumo de zanahoria utilizando la celda 2 fue de  $7,63 \pm 0,49$  mS/cm y aumentó linealmente con la temperatura (T) llegando a un valor máximo de  $18,17 \pm 0,69$  mS/cm a los 80 °C. Los datos se ajustaron a un modelo de regresión lineal según la ecuación 4.7.

$$\sigma = 4,11 + 0,18 \times T \quad R^2 = 0,998 \quad (\text{Ec. 4.7})$$

El valor de conductividad a 20 °C ( $\sigma_{20}$ ) obtenido en el zumo de zanahoria está dentro del rango de aplicación del tratamiento de CO.

Los resultados presentados son consistentes con los reportados por Quitão-Teixeira et al. (2008), quienes obtuvieron valores de conductividad entre 5 y 20 mS/cm (de 5 a 65 °C) al aplicar campos eléctricos pulsados al zumo de zanahoria. En este mismo sentido, otros autores reportaron aumentos lineales de la conductividad con la temperatura, a un gradiente de voltaje constante, durante el CO de puré de frutas (Icier & Ilicali, 2005a), pulpa de fresa (Castro et al., 2004b) y zumos de tomate y de naranja (Palaniappan & Sastry, 1991).

El aumento de conductividad con la temperatura puede explicarse por el hecho de que, en un líquido, la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de iones (Kong et al., 2008) y por tanto, cuando la temperatura aumenta, la resistencia al movimiento de iones es menor (Palaniappan & Sastry, 1991).



*Figura 4.13.* Conductividad eléctrica del zumo de zanahoria de descartes en función de la temperatura. En azul se muestran los datos obtenidos y en negro la recta de regresión lineal a la que se ajustan.

#### 4.3.3. Parámetros fisicoquímicos de los zumos tratados y del zumo control

Los resultados de pH y sólidos solubles totales (SST) de los zumos recién tratados y del zumo control se presentan en la Tabla 4.5, junto con los datos de estabilidad física (EF) a los 0, 2 y 7 días después del tratamiento.

El valor de pH obtenido para el zumo control (6,52) se encuentra en el orden de lo reportado en la literatura para zumo de zanahoria (Gouma et al., 2020). Los valores de pH de los zumos tratados con CO y TC fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores que los del zumo de control. Luo et al. (2008) obtuvieron resultados similares, observando un ligero aumento en el pH del zumo de zanahoria tratado con campos eléctricos pulsados (25 kV/cm, 200  $\mu$ s y 1 Hz). El aumento de pH en el zumo tratado por CO puede

explicarse en términos de que la aplicación de un campo eléctrico conlleva un aumento en la difusión de materiales a través de la membrana celular (Varghese et al., 2014). Por otro lado, el TC también puede causar la ruptura de la membrana celular (Patras et al., 2009), lo cual explicaría el aumento de pH en dicho zumo. Por lo tanto, el aumento de pH registrado para los zumos tratados con CO o TC podría estar relacionado con un aumento en la difusión de sales desde las células al medio líquido, causado tanto por la acción de la temperatura como por la aplicación de un campo eléctrico.

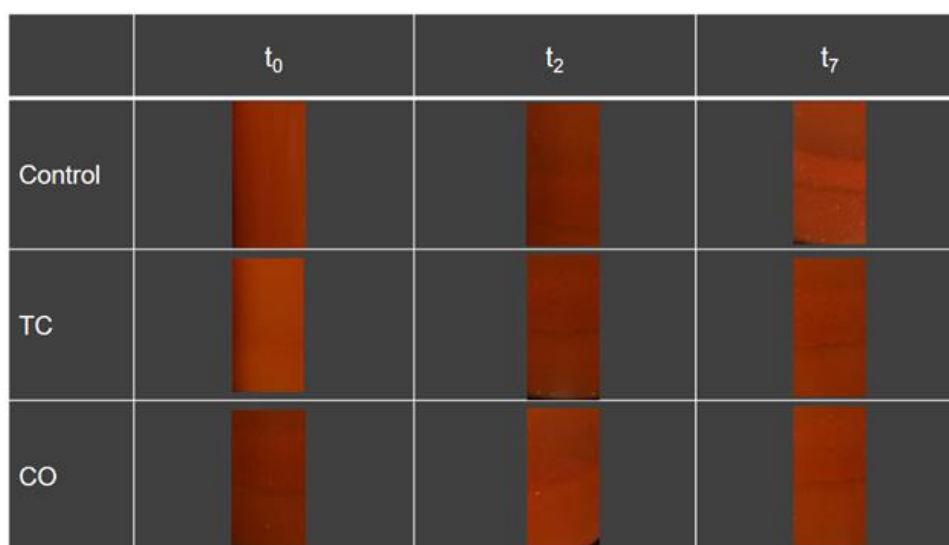
*Tabla 4.5.* pH, sólidos solubles totales (SST) y estabilidad física de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control.

| Zumo | Parámetro                |              |                          |                          |                 |
|------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
|      | pH                       | SST (°Brix)  | EF <sub>0</sub>          | EF <sub>2</sub>          | EF <sub>7</sub> |
| C    | 6,52 ± 0,02 <sup>a</sup> | 11,15 ± 0,08 | 1,00 ± 0,00 <sup>a</sup> | 0,76 ± 0,02 <sup>a</sup> | 0,69 ± 0,02     |
| TC   | 6,59 ± 0,02 <sup>b</sup> | 11,17 ± 0,08 | 0,7 ± 0,07 <sup>b</sup>  | 0,69 ± 0,03 <sup>b</sup> | 0,69 ± 0,04     |
| CO   | 6,66 ± 0,02 <sup>b</sup> | 11,12 ± 0,09 | 0,71 ± 0,01 <sup>b</sup> | 0,70 ± 0,01 <sup>b</sup> | 0,70 ± 0,01     |

En cuanto a los SST, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos (Tabla 4.5). Esto coincide con lo encontrado por otros autores (Jiménez-Sánchez et al., 2017), quienes reportaron que los tratamientos eléctricos de zumos de frutas no ejercían efecto sobre el contenido de SST. El Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) exige para zumos de hortalizas un valor de SST menor a 12 °Brix. Por otro lado, el Código de Prácticas de la Asociación Europea de Zumos (AIJN, 2005) exige un mínimo de 7,0 °Brix. En base a estos criterios, todos los zumos elaborados y tratados en el presente trabajo se encuentran dentro de los parámetros exigidos tanto a nivel nacional como en Europa respecto a SST.

Tal como puede observarse en la Tabla 4.5, los zumos de zanahoria pasteurizados por CO y por TC mostraron la misma evolución de la estabilidad física en el período

evaluado. Se observó la presencia de precipitado a tiempo 0, es decir, desde el primer momento, el cual se mantuvo constante durante los 7 días de evaluación siendo la fase superior traslúcida durante todo el período (Figura 4.14). Por otro lado, el zumo control presentó el mismo nivel de precipitado y la misma apariencia de la fase superior que el zumo tratado por CO y por TC, pero después de transcurridos siete días desde su elaboración.



*Figura 4.14.* Fotografías de los zumos control y pasteurizados por CO y por TC tras 0, 2 y 7 días de almacenamiento a 4 °C.

La turbidez de algunos zumos vegetales puede deberse a la presencia de agregados insolubles en suspensión. Cabe destacar que, si bien se observó la presencia de precipitado en todas las muestras analizadas, el color y la apariencia del zumo en la fase superior fue homogéneo durante todo el tiempo de ensayo, de forma que no hubo un cambio en la turbidez, lo cual es un atributo de calidad positivo en estos zumos. Este hecho es importante ya que la estabilidad de esta fase dispersa es un atributo de calidad en el zumo de zanahoria y la pérdida de turbidez disminuye su atractivo visual (Stinco et al., 2019). Nuestros resultados coinciden con los de Luo et al. (2008) quienes

encontraron que la turbidez del zumo de zanahoria tratado con campos eléctricos pulsados (25 kV/cm, 200  $\mu$ s y 1 Hz) fue muy similar a la del zumo fresco.

#### 4.3.4. Parámetros cromáticos de los zumos tratados y del zumo control

El color es uno de los atributos más importantes para el consumidor al evaluar subjetivamente la calidad de alimentos y bebidas (Zhang et al., 2019). En estos productos, los cambios de color son un indicador tanto del pardeamiento enzimático, como del no enzimático, este último debido a la formación de compuestos de Maillard, inducido por el calor (Mannozi et al., 2019). De ahí la importancia de determinar los parámetros cromáticos de los zumos elaborados y tratados.

Los valores de L\*, a\*, b\*, Ch, H°,  $\Delta$ E e IP de los tres zumos de zanahoria se muestran en la Tabla 4.6. El valor del parámetro L\* del zumo tratado por CO fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) que el correspondiente a los zumos TC y control. Además, los valores del parámetro a\* de los zumos tratados por CO y TC fueron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores que el del zumo control, mientras que los valores de H° fueron significativamente menores. Los parámetros b\*, Ch e IP de los zumos tratados no mostraron cambios significativos ( $p > 0,05$ ) con respecto a los del zumo control.

**Tabla 4.6.** Parámetros cromáticos de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control.

| Zumos     | Parámetro                     |                               |                  |                  |                               |                 |                 |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
|           | L*                            | a*                            | b*               | Ch               | H°                            | IP              | $\Delta$ E      |
| <b>C</b>  | 43,04 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup> | 16,80 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup> | 31,51 $\pm$ 0,53 | 35,71 $\pm$ 0,66 | 61,93 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup> | 144,7 $\pm$ 3,4 | -               |
| <b>TC</b> | 42,25 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup> | 19,41 $\pm$ 0,43 <sup>b</sup> | 30,44 $\pm$ 0,56 | 36,10 $\pm$ 0,69 | 57,48 $\pm$ 0,25 <sup>b</sup> | 146,2 $\pm$ 3,5 | 3,49 $\pm$ 0,43 |
| <b>CO</b> | 41,73 $\pm$ 0,21 <sup>b</sup> | 18,96 $\pm$ 0,46 <sup>b</sup> | 30,44 $\pm$ 0,59 | 35,87 $\pm$ 0,73 | 58,14 $\pm$ 0,26 <sup>b</sup> | 148,6 $\pm$ 3,8 | 4,60 $\pm$ 1,57 |

L\*: luminosidad/oscuridad; a\*: enrojecimiento/azulado; b\*: amarillez/verdoso; Ch: Croma; H°: tonalidad; IP: índice de pardeamiento;  $\Delta$ E: diferencia total de color.

La aplicación de TC en el zumo de zanahoria puede ocasionar variaciones de color, con una disminución del parámetro  $a^*$ , provocando un cambio de rojo a amarillo-anaranjado (Munsch et al., 1983). Esta coloración menos roja y más amarilla de los zumos de zanahoria también puede explicarse por reacciones de pardeamiento (Szczepańska et al., 2020). Sin embargo, en este trabajo, el valor del parámetro  $a^*$  del zumo tratado por TC aumentó de modo significativo ( $p > 0,05$ ) respecto al del zumo control. Análogamente, Patras et al. (2009) reportaron resultados similares, observando un aumento en el parámetro  $a^*$  después de aplicar TC (70 °C) al zumo de zanahoria. Este aumento del parámetro  $a^*$  puede deberse a que el TC podría causar la ruptura de las membranas celulares y del complejo carotenoide-proteína, mejorando así la extracción de carotenoides (Patras et al., 2009). Por otra parte, en este estudio, la aplicación del TC al zumo aumentó el enrojecimiento del mismo, disminuyendo el valor del parámetro  $H^0$ , sin afectar al parámetro  $b^*$ .

En relación con el zumo procesado por CO, los valores de los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$  y  $H^0$  siguen la misma tendencia, respecto al zumo control, que los del tratado por TC. Se ha descrito que, durante el proceso de CO, la difusión de colorantes y sales a través de las membranas celulares es mayor que durante el TC, debido probablemente al fenómeno de la electroósmosis (Loypimai et al., 2015). Si bien, en este trabajo, el parámetro  $a^*$  no difirió entre ambos tratamientos, el menor valor del parámetro  $L^*$  en el zumo tratado por CO podría deberse al aumento de pigmentos a causa del efecto eléctrico intensificando la coloración roja. En este sentido, Khandare et al. (2011) reportaron una disminución del parámetro  $L^*$  en zumo de zanahoria negra, asociado a un aumento de pigmentos (antocianinas) al someter la pulpa a un pretratamiento enzimático. Así mismo, Bhale (2004) también reportó una disminución en los valores de  $L^*$  y  $H^0$  en cubos de zanahoria tratados con CO.



Los valores de  $\Delta E$  para los zumos tratados con TC y con CO (Tabla 4.6) no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre sí y se encuentran en el rango “bien detectables” (Clydesdale, 1978; Cserhalmi et al., 2006). Estos resultados indican que ambos tratamientos generaron cambios que podrían ser percibidos incluso por observadores sin experiencia (Stinco et al., 2019).

Existe algún dato en la literatura, que reporta que el tratamiento térmico origina cambios indeseables en el color (Luo et al., 2008). Sin embargo, en el presente trabajo, los valores de  $\Delta E$  para el zumo de zanahoria pasteurizado por TC, que son similares a los obtenidos al aplicar otras tecnologías térmicas (Gong et al., 2015; Gouma et al., 2020) no evidencian dicha alteración de color tras el tratamiento y la coloración más roja observada en el zumo pasteurizado por TC podría ser más atractiva.

El valor de  $\Delta E$  obtenido al aplicar CO es más alto que el encontrado por distintos autores usando tecnologías no térmicas, para preservación de zumo de zanahoria, como ultrasonido de alta potencia ( $\Delta E = 2-4$ ) (Chen et al., 2019) y altas presiones hidrostáticas ( $\Delta E = 3,2-4,15$ ) (Stinco et al., 2019). Sin embargo, es mucho menor que el reportado por Mannozi et al. (2019) ( $\Delta E = 25$ ), aunque no sea totalmente comparable porque los autores aplicaron CO a 80 °C a la pulpa de zanahoria, y no al zumo.

El parámetro Chroma (Ch) indica la pureza del color y muestra la intensidad de saturación del color (Khandare et al., 2011). En el presente trabajo no se obtuvo diferencia entre los valores de este parámetro para los tres tratamientos, que, además fueron similares a otros reportados en la literatura (Khandare et al., 2011; Quitão-Teixeira et al., 2008; Rivas et al., 2006).

El ángulo Hue ( $H^\circ$ ) con un valor de 90° representa un tono amarillo (cuando  $b^*$  mide la amarillez). Los objetos en un rango alto de ángulo  $H^\circ$  (180°) son más verdes, mientras que un ángulo  $H^\circ$  bajo (0° a 90°) denota color naranja-rojo. Los resultados obtenidos en

este trabajo (Tabla 4.6) evidencian una tonalidad tendente al rojo, similar a los resultados obtenidos por Bhale (2004) en el CO de cubos de zanahorias frescos. Por otro lado, la aplicación de campos eléctricos pulsados en zumo de zanahoria ha mostrado aumentos en el ángulo H<sup>º</sup>, cambiando hacia el amarillo (Khandare et al., 2011; Rivas et al., 2006).

En cuanto al índice de pardeamiento, los resultados de este trabajo indican que ninguno de los dos tratamientos de pasteurización aplicados al zumo de zanahoria produjo un aumento del pardeamiento. En este sentido, Mannozi et al. (2019) obtuvieron resultados similares comparando zumo fresco de zanahoria y zumo tratado por CO a 80 °C.

#### 4.3.5. Actividad enzimática de POD, PPO y PME de los zumos tratados y del zumo control

Los valores de la actividad enzimática de peroxidasa (POD), polifenoloxidasas (PPO) y pectinmetilesterasa (PME) del zumo control se listan en la Tabla 4.7.

*Tabla 4.7.* Actividad enzimática inicial ( $\Delta A/\text{min}\cdot\text{L}$ ) del zumo control.

| POD             | PPO             | PME              |
|-----------------|-----------------|------------------|
| 177,5 $\pm$ 2,8 | 2,34 $\pm$ 0,11 | 10,57 $\pm$ 0,54 |

La actividad de PPO en el zumo control tiene un valor de 2,34  $\pm$  0,11  $\Delta A/\text{min}\cdot\text{L}$ . Esto coincide con trabajos previos que han reportado que la actividad de la PPO en zumo de zanahoria es baja, como el de Quitão-Teixeira et al. (2008), quienes observaron valores de actividad de PPO de 0,002 U/mL (a pH 6,20).

Si se compara el valor de la actividad de la PPO con el de la POD (177,5  $\pm$  2,8  $\Delta A/\text{min}\cdot\text{L}$ ) en el zumo control, se observa que este último es mucho más alto. Resultados similares se encuentran en la literatura, para zumos frescos de zanahoria, como es el caso de

Marszałek et al. (2016), que informaron de una actividad de POD 118 veces mayor que la de PPO, y Szczepańska et al. (2020), quienes encontraron valores de actividad de PPO 60 veces menores que los de POD.

En la Tabla 4.8, se presentan los valores de actividad enzimática residual de los zumos pasteurizados.

*Tabla 4.8.* Actividad enzimática residual de los zumos de zanahoria pasteurizados.

| Zumos | Actividad enzimática residual (%) |                          |             |
|-------|-----------------------------------|--------------------------|-------------|
|       | POD                               | PPO                      | PME         |
| TC    | 0,06 ± 0,00 <sup>a</sup>          | 31,8 ± 3,45 <sup>a</sup> | 15,0 ± 1,32 |
| CO    | 0,26 ± 0,02 <sup>b</sup>          | 19,9 ± 2,55 <sup>b</sup> | 17,2 ± 1,19 |

La literatura muestra la eficacia de los tratamientos térmicos para inactivar la POD, que es una enzima estable al calor que requiere temperaturas superiores a 75 °C para lograr su inactivación completa (Morales-Blancas et al., 2002). Soysal et al. (2004) lograron la inactivación completa de POD en extractos de zanahoria tras 10 min a 75 °C aplicando TC. Mannozi et al. (2019) lograron el 80% de inhibición de la POD en pulpa de zanahoria aplicando un pretratamiento con CO a 40-80 °C (114 V/cm), mientras que Icier et al. (2006) lograron la inactivación total de la POD en puré de guisantes aplicando CO (30-50 V/cm).

En el presente trabajo, tanto con el TC como con el CO se alcanzaron niveles de inactivación de POD superiores al 99%. En la literatura existe información sobre la inhibición de la POD lograda con tratamientos no térmicos. En este sentido, Elez-Martínez et al (2006) alcanzaron la completa inhibición de POD en zumo de naranja tras la aplicación de campos eléctricos pulsados a 35 kV/cm durante 1500 μs. Respecto a la POD de la zanahoria, Umair et al. (2019) lograron el 84% de inhibición en zanahorias

tratadas con plasma frío de campos eléctricos de alto voltaje y Chen et al. (2019) una inhibición del 56-73% con ultrasonidos de alta potencia. Por el contrario, la POD de zanahoria es resistente a tratamientos de altas presiones hidrostáticas (Quitão-Teixeira et al., 2008).

Sin embargo, la información en la literatura acerca del efecto del CO sobre la actividad de la POD en zumo de zanahoria es muy escasa. Hasta nuestro conocimiento, sólo Mannozi et al. (2019) reportaron el valor de inhibición de la POD (80%) en un zumo de zanahoria obtenido tras aplicar CO a la pulpa .

Con respecto a la PPO, el tratamiento de CO condujo a una inhibición del 80% de su actividad, mientras que el TC logró una inhibición del 68%. Si bien no se han reportado datos del nivel de inhibición de PPO en zumo de zanahoria, estos resultados se ubican en el rango de los publicados para otros tipos de zumo tratados con CO. Así, en zumo de azúcar de caña tratado con TC (80 °C-10 min) y CO (80 °C-1 min), Saxena et al. (2016) lograron una inhibición de la PPO del 94 y 90%, respectivamente, mientras que en zumo de manzana pretratado con TC (80 °C) y CO (20-80 °C, 114 V/cm), Mannozi et al. (2019) lograron el 75% de inhibición de la PPO. Además, en zumo de uva tratado con CO (70 °C-10 min), Gonçalves et al. (2010) lograron una inhibición de la PPO del 65%.

En las células vegetales los compuestos antioxidantes están localizados principalmente en las vacuolas, mientras que las enzimas POD y PPO se encuentran en los plástidos (Terefe et al., 2014). El procesamiento de los tejidos vegetales compromete la estructura de compartimentos internos permitiendo el contacto entre enzimas y sustratos (compuestos fenólicos), lo que implica la reacción conocida como pardeamiento enzimático. En el caso de POD, los compuestos fenólicos se oxidan a expensas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, lo que conduce a cambios de sabor (Hendrickx et al., 1998). En cambio, PPO es

una oxidorreductasa que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos en o-quinonas, que posteriormente se polimerizan en pigmentos marrones (Jayaraman et al., 1982).

Como ya se ha visto en el apartado 1.2.3 las enzimas PPO y POD son responsables del pardeamiento enzimático, causado por la oxidación de compuestos que polimerizan en pigmentos marrones (Jayaraman et al., 1982), siendo la inactivación de estas enzimas un requisito previo crucial e indicador de calidad en el procesamiento de frutas y verduras (Mannozi et al., 2019). Por otro lado, la actividad residual de ambas enzimas puede generar un *off-flavor* y resultar en la pérdida del valor nutricional y económico de los zumos (Terefe et al., 2014). Por tanto, de acuerdo con los altos niveles de inactivación alcanzados para ambas enzimas en los zumos tratados por CO y TC aquí evaluados, se espera un efecto favorable sobre su calidad.

Por otro lado, la PME es generalmente responsable de la pérdida de viscosidad y de turbidez en frutas (Giner et al., 2000) y en zumos (Espachs-Barroso et al., 2006; Polydera et al., 2004). Por ello, el principal propósito de un tratamiento de preservación en zumos es reducir su actividad (Espachs-Barroso et al., 2006; Polydera et al., 2004). En este sentido, en el presente trabajo la actividad de PME en el zumo control fue de  $10,57 \pm 0,54 \Delta A/\text{min}/L$  y los tratamientos con TC y CO inhibieron esta enzima en un 85 y 83%, respectivamente (Tabla 4.8). El grado de inactivación conseguido es mayor que el alcanzado mediante tratamientos no térmicos, como plasma frío de campos eléctricos de alto voltaje (Umair et al., 2019), dióxido de carbono a alta presión y altas presiones hidrostáticas (Park et al., 2002), y ultrasonidos de alta potencia (Chen et al., 2019).

Las zanahorias exhiben actividad de la PME, la cual es activada a bajas temperaturas de escaldado e inactivada a altas temperaturas de escaldado (Lee et al., 1979). Se observó que la PME de zanahoria *in situ* es más termoestable y estable a la presión que la PME en el zumo de zanahoria y que la PME en su forma purificada. Esto podría ser

atribuido al hecho que, *in situ*, la PME se encuentra unida a la pared celular y/o a factores estabilizadores originales presentes en la zanahoria (Balogh et al., 2004).

La literatura no evidencia antecedentes sobre la inactivación de PME en jugo de zanahoria por efecto de CO. Solo hay algún resultado de la aplicación de campos eléctricos pulsados (40 °C), con los que Luo et al. (2008) lograron un 37,35% de inactivación de PME, lo que resultó en una turbidez similar a la del zumo fresco de zanahoria durante su vida útil de 28 días. De acuerdo con ello, la inhibición de PME (83%) alcanzada en este trabajo explicaría la estabilidad de la fase en suspensión del zumo recién pasteurizado (apartado 4.3.2) y es un resultado alentador para futuros estudios de vida útil del zumo.

Según los resultados obtenidos y, a modo de resumen, la aplicación del CO fue más eficiente que la del TC en la inactivación del PPO del zumo de zanahoria; sin embargo, se obtuvieron resultados similares en la inactivación de PME y POD. Este hecho podría estar asociado a un efecto no térmico que provocó la inactivación de PPO, dado que la activación e inactivación de enzimas debido al CO puede estar asociada con cambios conformacionales y con la influencia de fuerzas electrostáticas en la estructura terciaria (Samaranayake & Sastry, 2018). Asimismo, el campo eléctrico oscilante y la disipación de energía por fricción inducirían un movimiento molecular que cambiaría la estructura y, en consecuencia, la actividad de las enzimas (Shao et al., 2019). Actualmente, a pesar de numerosos estudios publicados, es difícil diferenciar con precisión entre los efectos térmicos los no térmicos de los campos eléctricos sobre la actividad enzimática (Kubo et al., 2020). Esto se debe a que durante un tratamiento eléctrico también se produce un efecto térmico, ya que la temperatura aumenta, y que para considerar la existencia de efectos no térmicos sería necesario tener en cuenta diversos parámetros y factores como ser intensidad del campo eléctrico, frecuencia y potencia, entre otros (Kubo et al., 2020).

#### 4.3.6. Evaluación microbiológica de los zumos tratados y del zumo control

Los valores obtenidos para el recuento total de microorganismos aerobios mesófilos (RMAT), el recuento de células de hongos y levaduras (HyL), el recuento de coliformes totales (RCT) y el recuento de *Clostridium* sulfito-reductores (CSR) en zumo de zanahoria tratado con TC y CO respecto al control a tiempo 0, se muestran en la Tabla 4.9.

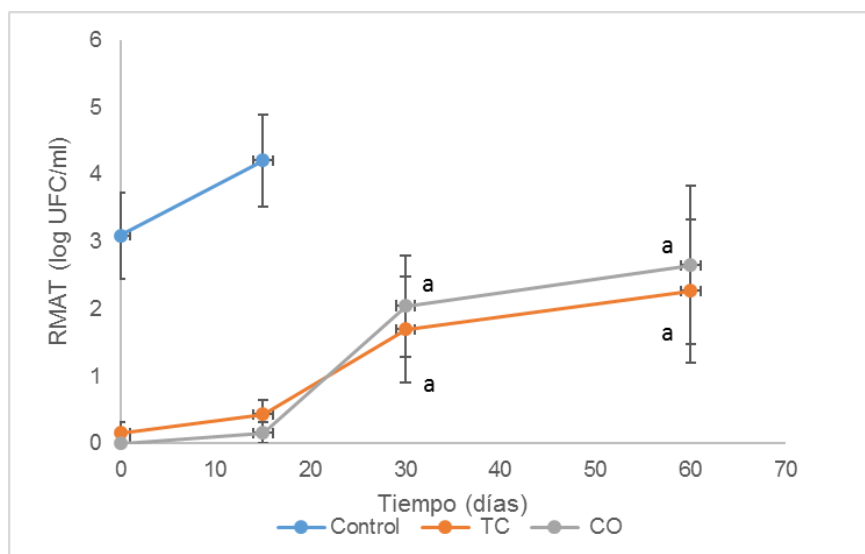
**Tabla 4.9.** Parámetros microbiológicos, expresados como log(UFC/mL), de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control, a tiempo 0.

| Zumoo | Parámetro   |             |             |     |
|-------|-------------|-------------|-------------|-----|
|       | RMAT        | HyL         | RCT         | CSR |
| C     | 3,09 ± 0,64 | 1,76 ± 0,66 | 1,50 ± 0,55 | ND  |
| TC    | <1          | ND          | <1          | ND  |
| CO    | ND          | ND          | <1          | ND  |

ND: no detectado; <1: por debajo del límite de cuantificación.

Todos los recuentos observados en el zumo control estuvieron en el rango reportado en la literatura para zumo de zanahoria fresco sin tratamiento térmico (Gong et al., 2015; Riganakos et al., 2017; Umair et al., 2019; Zhang et al., 2016). Mediante la aplicación de TC y CO se lograron disminuciones significativas en todos los recuentos microbiológicos del zumo de zanahoria, con valores por debajo de los niveles de cuantificación y/o detección, indicando una correcta pasteurización.

Como se mencionó anteriormente, la evaluación microbiológica se realizó también a distintos tiempos en los zumos almacenados bajo refrigeración (4 °C). Tras 60 días de almacenamiento, los recuentos de RMAT aumentaron a 2,27 ± 1,07 y 2,65 ± 1,19 log (UFC/mL) en los zumos tratados con TC y CO, respectivamente (Figura 4.15).



**Figura 4.15.** Evolución con el tiempo del recuento de microorganismos aerobios totales (RMAT) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. Diferentes letras (a, b) representan una diferencia significativa dentro del mismo rango de tiempo ( $p < 0,05$ ).  $RMAT < 1$ : por debajo del límite de cuantificación.

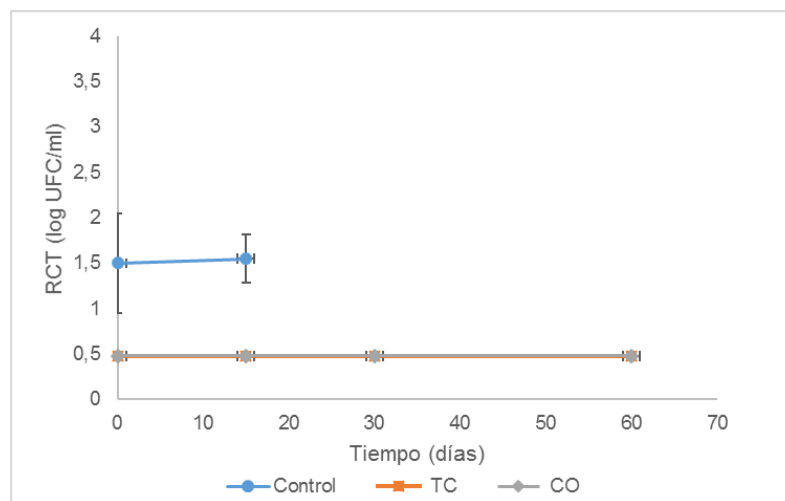
Los datos de las figuras están expresados como la media  $\pm$  error estándar ( $n = 3$ ). Los recuentos de microorganismos en el zumo control excedieron los límites recomendados para el consumo a los 30 días de almacenamiento, por ello sólo se representan en las figuras los datos hasta el día 15.

Todos los demás recuentos permanecieron en valores por debajo de los niveles de cuantificación y/o detección hasta el final del almacenamiento (Figuras 4.16 y 4.17). Si bien no se ha representado, cabe destacar que el total de las muestras presentaron ausencia de *Clostridium* sulfito-reductores.

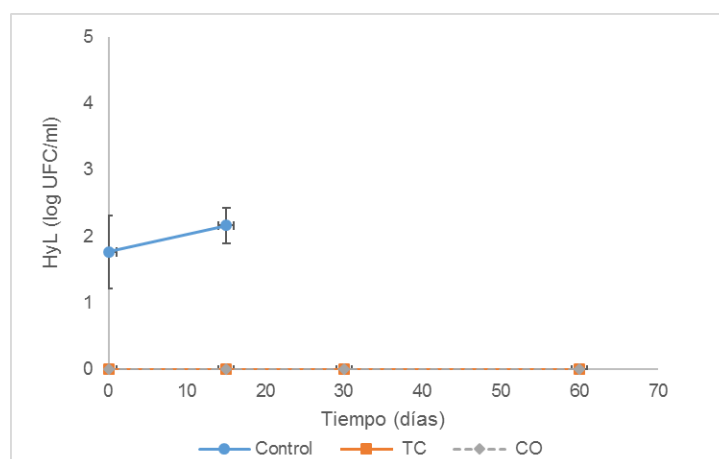
La cinética de inactivación de microorganismos *target* en procesos térmicos de pasteurización está bien estudiada. Sin embargo, existe poca información sobre los mecanismos de inactivación microbiana en procesos de pasteurización no térmicos. La destrucción de microorganismos por efecto de la electricidad aún no se comprende bien, genera cierta controversia y se ha trabajado poco en este campo. Jaeger et al. (2016) han descrito que, en los tratamientos con CO, los microorganismos se inactivan



mediante el calor, ya que la fuerza del campo eléctrico (10 KV/cm) necesaria para provocar su lisis es muy superior a la que se aplica habitualmente. Sin embargo, la mayoría de los resultados publicados no hacen referencia a la temperatura de la muestra o no pueden eliminarla como parámetro variable (Vicente et al., 2012, 2014). Además, no existen informes de microorganismos o cepas patógenas con una resistencia particular al tratamiento con CO (USA-FDA, 2000).



*Figura 4.16.* Evolución con el tiempo del recuento de microorganismos coliformes totales (RCT) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. RCT<1: por debajo del límite de cuantificación.



*Figura 4.17.* Evolución con el tiempo del recuento de hongos y levaduras (HyL) en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control.

El Código Alimentario Argentino (2007) no incluye especificaciones para zumos de hortalizas; sin embargo, para que sirva de comparación se pueden considerar los requerimientos para bebidas analcohólicas. Para este tipo de bebidas, por ejemplo, zumos de frutas que hayan sido sometidos a tratamiento térmico, el Parámetro de Criterio de Aceptación Metodológica para el RMAT es:

$$n=5, , m=10^4, M=10^5 c=2$$

donde:

- n: número de muestras analizadas,
- m: valor que separa las muestras aceptables de las marginalmente aceptables,
- M: valor que separa las marginalmente aceptables de las defectuosas,
- c: número máximo de muestras para las cuales se acepta que den valores de los recuentos comprendidos entre m y M.

Por lo tanto, de cinco muestras tomadas de un lote y analizadas, sólo dos o menos darán valores de los RMAT entre  $10^4$  y  $10^5$  y ninguna dará recuentos mayores a  $10^5$ . Los recuentos de RMAT en el zumo control excedieron los límites recomendados para el consumo ( $>5$  Log CFU/mL) a los 30 días de almacenamiento. Por el contrario, los dos zumos de zanahoria pasteurizados cumplieron con este requisito microbiológico durante los 60 días de su almacenamiento refrigerado ( $4$  °C). En base a estos resultados, y teniendo en cuenta que los RCT, HyL y CSR estuvieron por debajo del límite de detección y/o cuantificación durante todo el tiempo de almacenamiento ( $4$  °C), podría considerarse que microbiológicamente, ambos zumos pasteurizados tendrían una vida útil aceptable de, al menos, 60 días.

#### 4.3.7. Compuestos volátiles de los zumos tratados y del zumo control

La relación de los compuestos volátiles presentes en los zumos, identificados por comparación de sus espectros de masa con los de la base de datos del NIST, se lista en las Tablas 4.9, 4.10 y 4.11. Los datos están expresados como la media  $\pm$  error estándar ( $n=5$ ). En el zumo de zanahoria control se identificaron 36 compuestos volátiles, mientras que, en los zumos tratados por TC y CO, se identificaron 41 y 37 compuestos volátiles, respectivamente. Los terpenos, que son metabolitos secundarios sintetizados a partir de unidades de isopreno (Baser & Demirci, 2007), y que juegan un papel importante al influir en las cualidades sensoriales evaluadas como gusto y sabor (Bayindirli, 2010), constituyeron el grupo químico presente en mayor proporción en los tres zumos. Esto coincide con los resultados de Zhang et al. (2019), que encontraron que los terpenos era el grupo químico más abundante en el zumo de zanahoria fresco. Estos resultados pueden ser explicados a partir de la composición de las zanahorias frescas, ya que la mayoría de los componentes volátiles emitidos por las mismas son mono y sesquiterpenos y pueden comprender hasta el 97% del total de compuestos volátiles (Bayindirli, 2010).

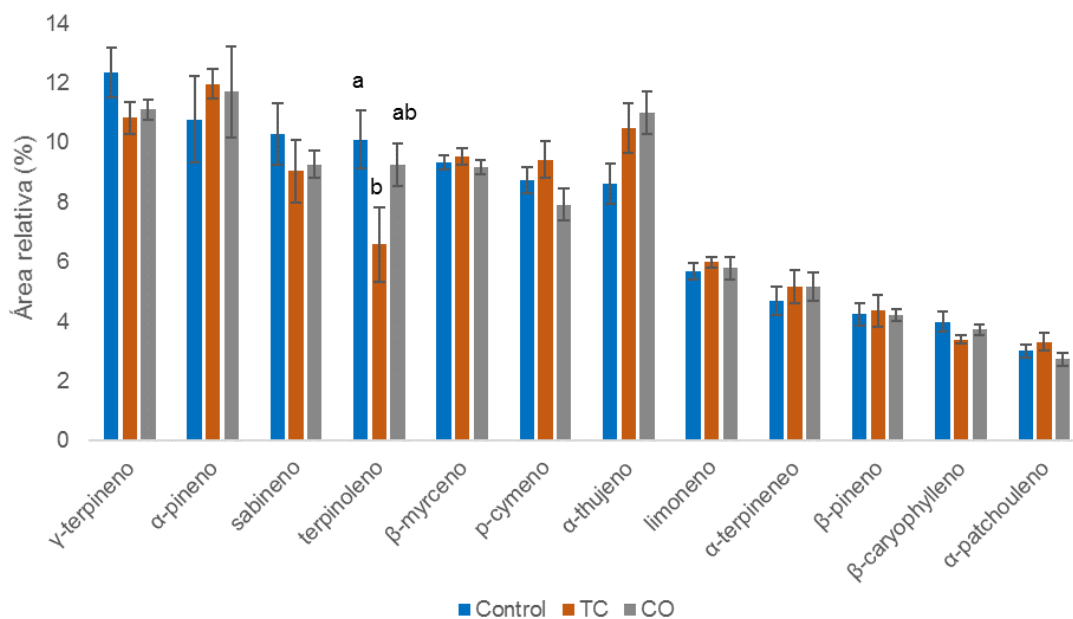
Dentro del grupo químico de los terpenos, los monoterpenos (Tabla 4.10) representaron los compuestos en mayor proporción. En el zumo de zanahoria control se identificaron 21 monoterpenos, frente a los 19 y 20 identificados, respectivamente, en los zumos tratados por TC y CO (Tabla 4.10). Los compuestos  $\gamma$ -terpineno,  $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -tujeno, sabineno,  $\beta$ -mirceno, cimeno, terpinoleno, limoneno y  $\alpha$ -terpineno representaron el 90% de los monoterpenos en los tres zumos. La alta proporción de monoterpenos entre los compuestos volátiles totales del zumo de control ( $90,0 \pm 0,5\%$ ) no se alteró ( $p>0,05$ ) por la aplicación de TC o CO ( $88,8 \pm 0,5$  y  $90,0 \pm 0,2\%$ , respectivamente).

**Tabla 4.10.** Monoterpenos identificados en la fracción volátil de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control.

| Compuesto (UAAx10 <sup>4</sup> ) | Zumó           |               |               |
|----------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|                                  | C              | TC            | CO            |
| γ-terpineno                      | 1023,2 ± 108,6 | 893,2 ± 63,4  | 866,4 ± 109,1 |
| α-pineno                         | 892,8 ± 93,5   | 986,3 ± 51,9  | 913,1 ± 91,9  |
| Sabineno                         | 852,9 ± 83,5   | 745,6 ± 85,1  | 723,2 ± 85,0  |
| Terpinoleno                      | 836,3 ± 44,9   | 543,7 ± 68,3  | 721,7 ± 56,3  |
| β-mirceno                        | 772,6 ± 42,7   | 785,6 ± 42,2  | 715,9 ± 65,7  |
| Cimeno                           | 724,8 ± 48,3   | 777,4 ± 66,5  | 618,0 ± 51,3  |
| α-tujeno                         | 713,9 ± 90,3   | 865,6 ± 111,8 | 859,4 ± 71,9  |
| Limoneno                         | 471,2 ± 31,6   | 493,9 ± 29,1  | 452,2 ± 60,9  |
| α-terpineno                      | 389,7 ± 43,1   | 425,4 ± 55,4  | 403,5 ± 42,8  |
| β-pineno                         | 351,4 ± 45,5   | 359,3 ± 38,4  | 328,1 ± 32,4  |
| α-felandreno                     | 217,3 ± 26,3   | 272,8 ± 19,1  | 232,4 ± 19,7  |
| Terpineno-4-ol                   | 57,6 ± 5,6     | 64,7 ± 7,8    | 48,9 ± 6,6    |
| Camfeno                          | 46,7 ± 5,3     | 40,6 ± 4,6    | 38,7 ± 4,5    |
| β-ocimeno                        | 45,3 ± 1,3     | 28,8 ± 2,2    | 37,6 ± 4,7    |
| Camfor                           | 17,7 ± 1,4     | 26,4 ± 1,7    | 20,2 ± 2,2    |
| Borneol                          | 10,0 ± 1,3     | 14,1 ± 1,7    | 10,0 ± 0,6    |
| 3-metoxi-p-cimeno                | 8,9 ± 1,0      | ND            | ND 0,0        |
| Hidrato de sabineno              | 6,2 ± 0,5      | 3,3 ± 0,4     | 6,6 ± 0,8     |
| α-ocimeno                        | 4,5 ± 0,4      | 4,8 ± 0,4     | 4,6 ± 0,2     |
| α-terpineol                      | 4,3 ± 0,1      | ND            | 3,1 ± 0,3     |
| p-cimen-8-ol                     | 3,4 ± 0,1      | 8,9 ± 0,8     | 2,2 ± 0,2     |

UAA: unidades arbitrarias de área. ND: no detectado.

Los monoterpenos  $\gamma$ -terpineno,  $\gamma$ -pineno, sabineno, terpinoleno,  $\beta$ -mirceno,  $p$ -cimeno,  $\alpha$ -tujeno, limoneno,  $\alpha$ -terpineno,  $\beta$ -pineno y los sesquiterpenos:  $\beta$ -cariofileno y  $\alpha$ -pachouleno representaron el 90% de los compuestos volátiles totales en los tres zumos estudiados (Figura 4.18). Estos resultados están de acuerdo con estudios previos que reportaron el perfil de compuestos volátiles en zanahoria (Kebede et al., 2015; Kjeldsen et al., 2001; Kreutzmann et al., 2008) y en zumo de zanahoria (Zhang et al., 2019). Cabe señalar que el zumo de zanahoria tratado con TC presentó el valor más bajo del monoterpeno terpinoleno (Figura 4.18).



**Figura 4.18.** Compuestos volátiles mayoritarios en los zumos de zanahoria pasteurizados y en el zumo control. Los datos están expresados como la media  $\pm$  error estándar ( $n=5$ ). Los valores con letras diferentes (a, b), para el mismo terpeno, fueron significativamente ( $p<0,05$ ) diferentes entre sí.

Los sesquiterpenos representaron el segundo grupo químico mayoritario en los tres zumos. En el zumo control se identificaron diez compuestos pertenecientes a este grupo químico, mientras que, en los zumos tratados por TC y CO, ocho y nueve compuestos,

respectivamente (Tabla 4.11). Los compuestos  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -patchouleno y  $\alpha$ -humuleno representaron el 90% del total de sesquiterpenos en los tres zumos. La proporción de sesquiterpenos respecto a los compuestos volátiles totales en el zumo control ( $9,6 \pm 0,5\%$ ) fue similar ( $p > 0,05$ ) a la de los zumos tratados con TC y CO ( $9,6 \pm 0,6$  y  $9,0 \pm 0,2\%$ ).

**Tabla 4.11.** Sesquiterpenos identificados en la fracción volátil de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control.

| Compuesto (UAAx10 <sup>4</sup> )                           | Zumos              |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | Control            | TC                 | CO                 |
| $\beta$ -cariofileno                                       | 330,97 $\pm$ 20,80 | 280,47 $\pm$ 14,67 | 291,07 $\pm$ 21,46 |
| $\alpha$ -patchouleno                                      | 249,54 $\pm$ 15,75 | 272,83 $\pm$ 19,16 | 213,35 $\pm$ 27,84 |
| $\alpha$ -humuleno   | 118,58 $\pm$ 8,26  | 144,98 $\pm$ 10,21 | 111,05 $\pm$ 4,99  |
| $\alpha$ -bisaboleno                                       | 57,50 $\pm$ 5,08   | 74,78 $\pm$ 7,58   | 53,23 $\pm$ 4,13   |
| $\beta$ -bisaboleno  | 10,74 $\pm$ 1,14   | 12,22 $\pm$ 1,10   | 9,17 $\pm$ 0,51    |
| Biciclo [7.2.0] undecano, 10,10-dimetil-2,6-bis (metileno) | 9,06 $\pm$ 1,16    | ND                 | 10,59 $\pm$ 0,75   |
| $\alpha$ -trans-bergamoteno                                | 6,71 $\pm$ 0,44    | 2,79 $\pm$ 0,38    | 5,35 $\pm$ 0,36    |
| $\alpha$ -copaeno  | 1,68 $\pm$ 0,14    | 1,98 $\pm$ 0,21    | 1,58 $\pm$ 0,18    |
| $\alpha$ -longipineno                                      | 1,65 $\pm$ 0,20    | 2,36 $\pm$ 0,19    | 1,14 $\pm$ 0,08    |
| $\alpha$ -zingibereno                                      | 2,78 $\pm$ 0,22    | ND                 | ND                 |

UAA: unidades arbitrarias de área. ND: no detectado.

Los terpenoides producen una amplia gama de sabores y aromas que contribuyen a la apariencia sensorial de la zanahoria (Kebede et al., 2014). Por ejemplo, los monoterpenos  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno, sabineno,  $\beta$ -mirceno y p-cimeno se relacionan con el olor característico de zanahoria, mientras que limoneno,  $\gamma$ -terpineno y terpinoleno, contribuyen a las notas cítricas y afrutadas. Por otro lado, los principales sesquiterpenos,

$\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -humuleno y  $\beta$ -bisaboleno, contribuyen a las calificaciones de los consumidores como "picante" y "leñoso", relacionados con el sabor amargo y áspero de las zanahorias que, a menudo, provoca el rechazo por parte de los consumidores. Por tanto, el aumentar el número de monoterpenos y reducir el de sesquiterpenos puede mejorar el sabor general de las zanahorias (Bayindirli, 2010). Esto se consigue en nuestro caso, aunque no de un modo significativo, en el zumo tratado por CO, donde, aunque el número de monoterpenos respecto al zumo control no varía, el número de sesquiterpenos se reduce.

Los compuestos volátiles identificados en los zumos que no pertenecen al grupo de los terpenos se presentan en la Tabla 4.12. Estos compuestos pertenecen a los grupos químicos aldehídos, cetonas, alcoholes, alcanos y ésteres. El zumo tratado por TC presentó una proporción significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor de este grupo respecto a los volátiles totales ( $1,61 \pm 0,24\%$ ); el zumo tratado por CO mostró valores intermedios ( $1,02 \pm 0,12\%$ ) y el zumo control la proporción más baja ( $0,40 \pm 0,01\%$ ).

Los zumos de zanahoria pasteurizados contienen mayor proporción de compuestos volátiles no terpenoides que el zumo control (Tabla 4.12). En este sentido, una gran cantidad de compuestos volátiles no terpenoides, de los cuales muchos son compuestos aromáticos importantes con impacto en el carácter responsable de las notas frescas, verdes y afrutadas, procede de la degradación de los ácidos grasos (Kebede et al., 2014). En el presente trabajo, al aplicar tratamientos térmicos, no era de esperar que las vías enzimáticas jugaran un papel importante en la formación de volátiles procedentes de la degradación de los ácidos grasos. Sin embargo, cabe señalar que la primera etapa de reacciones catalizadas por enzimas, la autooxidación, puede iniciarse al cortar las zanahorias antes de la elaboración del zumo.

**Tabla 4.8.** Compuestos volátiles, no terpenos, identificados en la fracción volátil de los zumos de zanahoria pasteurizados y del zumo control.

| Compuesto (UAAx10 <sup>4</sup> )         | Zumó        |              |              |
|--|-------------|--------------|--------------|
|  | C           | TC           | CO           |
| Butanal, 2-metil                         | 9,32 ± 1,05 | ND           | ND           |
| Butanal, 3-metil                         | 1,94 ± 0,20 | ND           | ND           |
| Hexanal                                  | 4,96 ± 0,37 | 3,64 ± 0,18  | 3,48 ± 0,38  |
| 3,8-dimetilcicloocten                    | 9,07 ± 0,95 | 6,96 ± 0,78  | 12,42 ± 1,27 |
| Hexanol, 2-etil                          | 5,65 ± 0,28 | ND           | 6,04 ± 0,75  |
| N-heptanal                               | ND          | 2,37 ± 0,20  | 2,14 ± 0,26  |
| Nonanal                                  | ND          | 3,62 ± 0,40  | 4,86 ± 0,26  |
| (2E)-3-etil-2-hexeno                     | ND          | 17,63 ± 1,70 | 12,75 ± 1,26 |
| (2E)-3-metil-2-hepteno                   | ND          | 14,96 ± 1,24 | ND           |
| Complejo borano-metil- sulfuro           | ND          | 12,45 ± 1,27 | ND           |
| 1-Octeno                                 | ND          | 12,03 ± 1,21 | 14,63 ± 1,59 |
| 2,4-dimetil-1-hepteno                    | ND          | 9,13 ± 1,13  | ND           |
| Hexano, 3,3-dimetil                      | ND          | 7,64 ± 0,73  | ND           |
| Ácido 2-propenoico, 2-metil, metil ester | ND          | 7,45 ± 0,90  | ND           |
| Octano                                   | ND          | 6,18 ± 0,33  | ND           |
| Benzeno, metil                           | ND          | 2,46 ± 0,20  | 4,92 ± 0,58  |

UAA: unidades arbitrarias de área. ND: no detectado.

La autooxidación es un proceso en cadena de radicales libres, y factores como la temperatura, iones metálicos y la luz, contribuyen a iniciar esa primera etapa. Una vez que se forman los radicales libres, reaccionan de modo auto catalítico para generar una serie de radicales intermedios y productos finales de reacción (Christensen et al., 2007).



Dado que las altas temperaturas hacen que haya más sitios disponibles en los ácidos grasos para la oxidación, se forman otros compuestos volátiles a temperaturas más altas en comparación con los que se forman a temperatura ambiente (Reineccius, 2005). Numerosos ácidos, alcoholes, aldehídos, hidrocarburos, cetonas, lactonas y ésteres son algunos de los productos de oxidación inducidos térmicamente. En el presente trabajo los tratamientos térmicos de pasteurización aumentaron la proporción de aldehídos, alcoholes e hidrocarburos, aunque de forma más pronunciada en el caso del TC. De modo similar, Kebede (2014) encontró que la esterilización tanto térmica como por altas presiones hidrostáticas aumentó la concentración de aldehídos alifáticos, alcoholes e hidrocarburos en zanahorias escaldadas. Por otra parte, en este trabajo, debido a la baja proporción de estos compuestos en los volátiles totales del zumo, es de esperar que no afecten a las propiedades sensoriales del mismo.

### 4.3.8. Capacidad antioxidante total de los zumos tratados y del zumo control

Los zumos vegetales son una buena fuente de compuestos antioxidantes, la cual puede ser cuantificada mediante ensayos bioquímicos (Giovanelli & Pagliarini, 2009). Wootton-Beard et al. (2011) evaluaron la actividad antioxidante total, medida como FRAP, de zumos vegetales sometidos a las fases de digestión gástrica y duodenal *in vitro*, informando un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de la capacidad antioxidante, lo que otorga una importante evidencia sobre la disponibilidad de los antioxidantes de zumos de vegetales en sistemas biológicos.

Los valores de la capacidad antioxidante total, medida como FRAP (*Ferric reducing antioxidant power*), obtenidos en los zumos de zanahoria de nuestro trabajo se muestran en la Tabla 4.13, expresados como la media  $\pm$  error estándar ( $n=9$ ). El valor de FRAP correspondiente al zumo de zanahoria control se encuentra en el rango publicado (1369–1533  $\mu\text{M}$ ) en la literatura (Wootton-Beard et al., 2011).

**Tabla 4.13.** Capacidad antioxidante total y contenidos de  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno en los zumos pasteurizados y en el zumo control.

| Zumo    | Parámetro                   |                           |                          |
|---------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
|         | FRAP ( $\mu$ M ET)          | $\alpha$ -caroteno (mg/L) | $\beta$ -caroteno (mg/L) |
| Control | 1734 $\pm$ 147 <sup>a</sup> | 22,5 $\pm$ 0,9            | 69,6 $\pm$ 3,2           |
| TC      | 2051 $\pm$ 155 <sup>b</sup> | 21,4 $\pm$ 0,9            | 65,5 $\pm$ 3,3           |
| CO      | 2709 $\pm$ 165 <sup>c</sup> | 22,2 $\pm$ 1,0            | 68,9 $\pm$ 3,5           |

Valores con diferentes letras (a, b, c) indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). ET: equivalente de Trolox.

Como se desprende de la Tabla 4.13, la capacidad antioxidante total del zumo de zanahoria tratado por CO fue significativamente ( $p < 0.05$ ) superior a la inicial y a la del zumo tratado por TC. Así mismo, Mannozi et al. (2019) informaron un aumento en la capacidad antioxidante total del zumo de zanahoria, medida por la técnica ABTS, cuando la pulpa fue pretratada tanto por TC (80 °C) como por CO (20 a 80 °C). Aunque se trata de técnicas basadas en distintas reacciones, algunos autores (Wootton-Beard et al., 2011) han informado una buena correlación entre las técnicas FRAP y ABTS ( $r^2 = 0.87$ ).

Los resultados obtenidos en este trabajo indican un efecto beneficioso del tratamiento por CO sobre la capacidad antioxidante total del zumo de zanahoria. La actividad antioxidante total en frutas y verduras, en general, está correlacionada con la presencia de fitoquímicos incluyendo fenoles, flavonoides y antocianinas (Sun et al., 2002) que pueden encontrarse, ya sea en forma libre o conjugada/ligada (Eberhardt et al., 2000). La mayor parte de la actividad antioxidante de estos vegetales es generada por la presencia de compuestos fenólicos (ácidos hidroxicinámicos, flavan-3-ols, antocianinas, flavonoles y dihidrochalconas), cuya actividad contra el radical peroxilo es mayor que la de la vitamina C y E, o el  $\beta$ -caroteno (Zhang & Hamazu, 2004).

La temperatura usada tanto en el TC como en el CO es de vital importancia. Se ha descrito que el tratamiento térmico puede afectar a las propiedades de unión de los compuestos bioactivos, produciendo la degradación de materiales celulares y el aumento de transferencia de los compuestos fenólicos; sin embargo altas temperaturas y largos tiempos de tratamiento provocan la degradación de dichos compuestos fenólicos (Bhat et al., 2017), al mismo tiempo que aumentan los procesos de degradación enzimáticos o no enzimáticos, causando un efecto negativo en la calidad de los productos procesados (Schilling et al., 2007).

Este efecto perjudicial de las elevadas temperaturas sobre los compuestos fenólicos y flavonoides y, de esta manera la reducción de la capacidad antioxidante, ha sido descrito previamente en frutas, vegetales y granos (Nayak et al., 2015). Sin embargo, al mismo tiempo, temperaturas elevadas llevan a la inactivación de las enzimas oxidativas, reduciendo así los efectos alteradores de las mismas y resultando, también, en una mayor capacidad antioxidante en el zumo (Mannozi et al., 2019). Por tanto, hay que adoptar una situación de compromiso en cuanto a la temperatura a aplicar en el tratamiento térmico y la duración del mismo.

El tratamiento por CO, que involucra un calentamiento rápido y un mínimo calentamiento de los alrededores del producto (Bhat et al., 2017) tiene el potencial de extraer la mayor cantidad de compuestos fenólicos con un daño mínimo a la integridad del producto de su estructura.

Pero, además del efecto térmico, en los tratamientos por campos pulsados y por CO es necesario considerar otro factor, el de la electropermeabilización, que puede contribuir a liberar una mayor cantidad de compuestos antioxidantes (Mannozi et al., 2019). En este sentido, se ha mencionado que el aumento significativo en el contenido de compuestos fenólicos durante el CO de zumo de calabaza podría ser atribuido al hecho

de que la energía eléctrica puede romper los tejidos y liberar mayor cantidad de fenoles (Bhat et al., 2017).

Esto es lo que parece ocurrir en el presente trabajo, donde la actividad antioxidante del zumo tratado por CO aumenta en un 32% respecto a la del tratado por TC, debido, posiblemente, al efecto adicional de la electropermeabilización.

#### 4.3.9. Carotenos de los zumos tratados y del zumo control

El contenido de  $\alpha$ -caroteno y de  $\beta$ -caroteno en los tres zumos se presenta en la Tabla 4.13 (apartado 4.3.8), expresado como la media  $\pm$  error estándar ( $n=9$ ). El contenido de  $\beta$ -caroteno en el zumo de zanahoria control se ubicó en el rango de los valores reportados previamente, de 50 a 200 mg/L (Kun et al., 2008; Quitão-Teixeira et al., 2009). Sin embargo, el contenido de  $\alpha$ -caroteno fue menor que el informado (90 mg/L) por Kun et al. (2008). Estas diferencias pueden estar relacionadas con el hecho de que la cantidad de carotenoides en las zanahorias depende de numerosas variables como pueden ser la especie, las condiciones del suelo, el clima, etc. (Kun et al., 2008).

Por su parte, los tratamientos de CO y TC no afectaron a los contenidos de  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno del zumo de zanahoria (Tabla 4.13), de igual modo a lo descrito por Marx et al. (2003) al pasteurizar zumo de zanahoria por TC (95 °C).

La importancia de los carotenos en los alimentos radica en que actúan como precursores de la vitamina A, pues pueden transformarse en el organismo en retinol (pro-vitamina A) (Olson, 1989). Entre ellos, el más importante en la dieta humana y el más fácil de transformarse en retinol es el  $\beta$ -caroteno (Latham, 2002). En particular, el zumo de zanahoria es una fuente importante de carotenoides, tales como  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, luteína y licopeno (Riganakos et al., 2017; Sharma et al., 2012), lo que le confiere un elevado valor nutricional (DiGiacomo & DiTaglieri, 2009; Picouet et al., 2015). En base a nuestros resultados, las propiedades nutricionales asociadas al

contenido de  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno del zumo control no se alteran por la aplicación de los tratamientos de pasteurización por CO y TC.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS sugieren un requerimiento recomendado diario de vitamina A entre 400  $\mu\text{g}$  y 900  $\mu\text{g}/\text{día}$ , según la edad y el estado fisiológico de la persona (FAO, 2017). Considerando que 6  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno equivalen a 1  $\mu\text{g}$  de retinol, una porción de 100 mL de zumo de zanahoria, conteniendo 69 mg/L de  $\beta$ -caroteno, contendría 1150  $\mu\text{g}$  de retinol. Por lo tanto, una porción de 100 mL de zumo de zanahoria cubriría los requerimientos diarios recomendados de vitamina A.

Existen estudios de la influencia de diferentes tratamientos sobre el contenido de los carotenos en distintos alimentos. Así, Lemmens et al. (2009) compararon CO (50 Hz, 60-90 °C, 1-40 min), microondas y TC aplicándolo a trozos de zanahoria sin obtener diferencias significativas en el contenido de  $\beta$ -carotenos. Algo similar ocurrió con la aplicación de diferentes gradientes de voltaje (10-40 V/cm) en el tratamiento por CO de puré de espinaca (Yildiz et al., 2010). Así mismo, Achir et al. (2016) exploraron el efecto del CO (95 °C) y del TC (80 °C) sobre los carotenos en naranja y toronja, reportando que tanto licopeno como  $\beta$ -caroteno fueron estables en ambos tratamientos. Picouet et al. (2015) evaluaron el efecto del tratamiento térmico (80 °C - 7 min) y altas presiones hidrostáticas (600 Mpa- 5 min) en el contenido de  $\beta$ -caroteno en zumo de zanahoria sin encontrar diferencias significativas entre los tratamientos. Por el contrario, aplicando otros tratamientos, diferentes autores obtuvieron mayores concentraciones de carotenos en el zumo de zanahoria tratado respecto al zumo fresco. Entre ellos, Quitao-Teixeira et al. (2009), aplicando campos eléctricos pulsados de alta intensidad (40 °C, 200 Hz, 35 KV/cm) y tratamiento TC (90 °C 30 y 60 s); y Umair et al. (2019), tratando el zumo con plasma frío de campos eléctricos (60, 70, y 80 KV, 3 y 4 min). Sin embargo, hasta la fecha, los trabajos que han aplicado CO a zumo de zanahoria no han reportado

el estudio del efecto del tratamiento sobre el contenido de carotenos, por lo que los resultados presentados en la presente tesis pueden ser de interés.

#### 4.3.10. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) se utilizó para investigar la existencia de dependencias subyacentes entre los parámetros de calidad analizados y los diferentes tratamientos de pasteurización aplicados a los zumos. Dada la complejidad y cantidad de compuestos volátiles identificados, se realizaron dos ACP, uno exclusivamente para los compuestos volátiles y otro para el resto de los parámetros de calidad.

Para el primer ACP se introdujeron los once compuestos volátiles que presentaban diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, en concreto, cinco monoterpenos, cuatro sesquiterpenos y dos de otros grupos químicos. Luego el ACP seleccionó los compuestos volátiles que mejor explicaron ( $p < 0,05$ ) el comportamiento de las muestra, que fueron ocho y se representan en un *biplot* en la Figura 4.19.

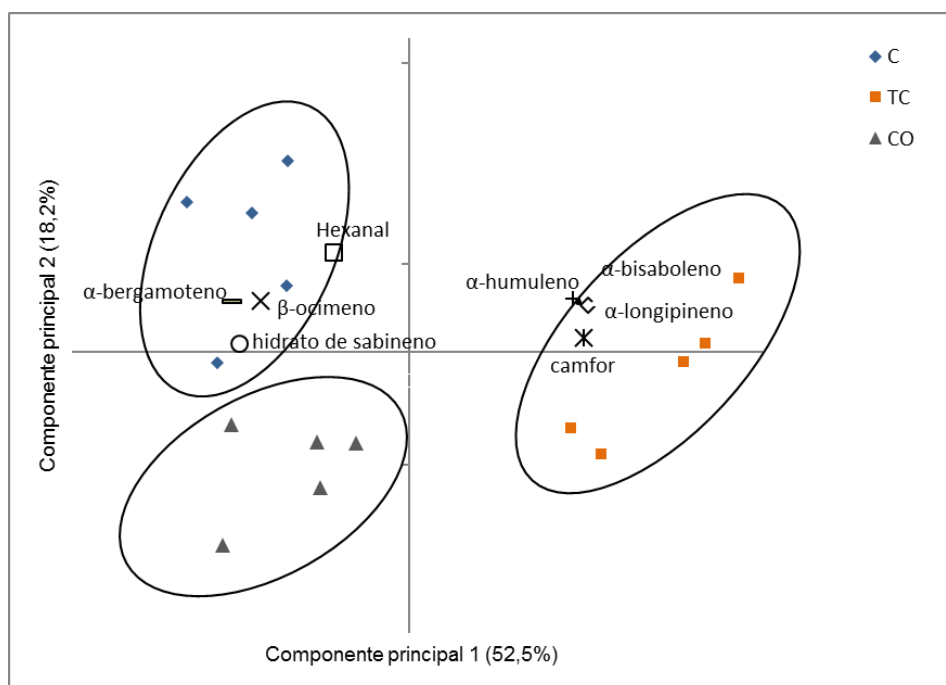


Figura 4.19. Biplot de los resultados del ACP de los compuestos volátiles de los zumos pasteurizados y del zumo control.

Las dos primeras componentes (componente principal 1: CP1 y componente principal 2: CP2) del ACP explicaron el 70,7% de la variabilidad de los datos (CP1 = 52,5%; CP2 = 18,2%). La CP1 se correlacionó positivamente con camfor,  $\alpha$ -humuleno,  $\alpha$ -bisaboleno y  $\alpha$ -longipineno y se correlacionó negativamente con  $\alpha$ -bergamoteno,  $\beta$ -ocimeno e hidrato de sabineno. La CP2 sólo se correlacionó positivamente con hexanal. El ACP mostró que el zumo tratado con TC se caracterizó por los valores más altos del monoterpeno camfor y de los sesquiterpenos  $\alpha$ -bisaboleno,  $\alpha$ -humuleno y  $\alpha$ -longipineno, y por los valores más bajos de los monoterpenos sabineno hidrato y  $\beta$ -ocimeno y del sesquiterpeno  $\alpha$ -bergamoteno en relación con el zumo control y con el tratado por CO. Por otro lado, el zumo control presentó los valores más altos de sabineno hidrato,  $\alpha$ -bergamoteno,  $\beta$ -ocimeno y hexanal y los menores de los sesquiterpenos  $\alpha$ -bisaboleno,  $\alpha$ -humuleno y  $\alpha$ -longipineno.

El zumo tratado con CO tiene un perfil cercano al del zumo control, pero con valores más bajos de sabineno hidrato,  $\alpha$ -bergamoteno,  $\beta$ -ocimeno y hexanal. Estos resultados podrían explicarse por el hecho de que, durante el procesamiento, los terpenos en las muestras pueden producirse directamente o convertirse, a partir de un producto inicial, en sesquiterpenos o monoterpenos por oxidación, deshidrogenación y otras reacciones (Korkmaz et al., 2017). Se ha descrito que una reducción en los terpenos de zanahoria afectaría su sabor característico (Kebede et al., 2014). Sin embargo, en el presente trabajo, es de esperar que los cambios asociados a los tratamientos térmicos en cada uno de los nueve terpenos estudiados no impacten en el sabor de los zumos, ya que representan una fracción minoritaria en el contenido total de terpenos.

Los resultados presentados en la Figura 4.19 muestran que los tratamientos de pasteurización modificaron el perfil de compuestos volátiles de los zumos tratados respecto del de control, siendo el zumo sometido a CO el que presentó menores cambios, por lo que es de esperar que sus propiedades sensoriales, como el flavor, no

sean diferentes a las del zumo control. Lo cual, considerando los resultados de aceptabilidad de los consumidores presentados en el apartado 4.1, harían de este zumo tratado por CO un producto atractivo sensorialmente.

Para la realización del segundo ACP se seleccionó el resto de los parámetros de calidad que presentaban diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos y cumplían con los supuestos del análisis. De esta manera, los parámetros pH,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $H^\circ$ , PME, PPO y FRAP fueron incluidos en el ACP. La actividad de la enzima POD fue excluida del análisis, a pesar de presentar diferencias significativas entre los tratamientos, por presentar valores en diferentes órdenes en uno de los tratamientos. La Figura 4.20 muestra un *biplot* de muestras correspondientes a los zumos de zanahoria y los parámetros de calidad. Las dos primeras componentes del ACP explicaron el 86,1% de la variabilidad de los datos (CP1 = 69,8%; CP2 = 16,3%).

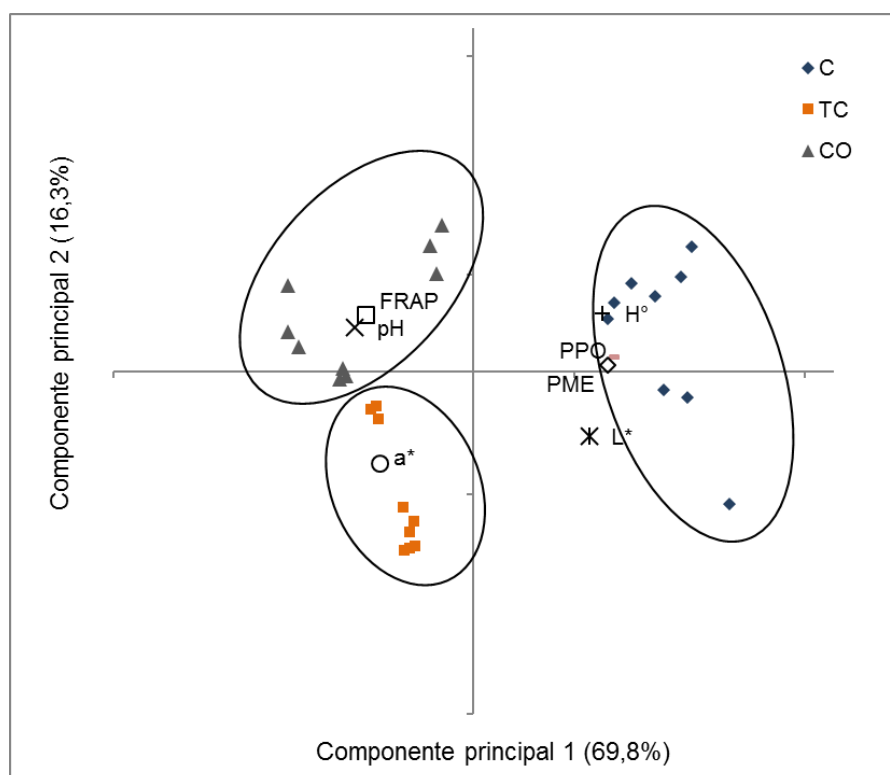


Figura 4.20. Biplot de los resultados del ACP de los parámetros de calidad de los zumos pasteurizados y del zumo control.



La CP1 se correlacionó positivamente con los parámetros cromáticos  $L^*$  ( $r = 0,80$ ) y  $H^\circ$  ( $r = 0,90$ ), y con las actividades enzimáticas de PME ( $r = 0,94$ ) y PPO ( $r = 0,95$ ), y negativamente con FRAP ( $r = -0,75$ ) y pH ( $r = -0,82$ ). La CP2 correlacionó negativamente con el parámetro cromático  $a^*$ , aunque con menor grado ( $r = -0,669$ ), y, además, este parámetro  $a^*$  también correlacionó positivamente con la CP1 ( $r = -0,65$ ).

Según puede observarse en la Figura 4.20, las muestras del zumo control se separaron claramente de las muestras de los zumos tratados. El agrupamiento de las muestras control, en la CP1, podría deberse a los valores más altos de  $L^*$ ,  $H^\circ$  y a las mayores actividades enzimáticas (PME y PPO) y menores de FRAP respecto a las muestras de los zumos tratados por CO y por TC. Comparando entre sí los zumos tratados, el tratado por TC mostró los valores más altos del parámetro  $a^*$  mientras que el tratado por CO presentó los valores más altos de FRAP y pH.

Este ACP permite comparar los zumos de zanahoria en relación con los parámetros de calidad que difirieron entre los tratamientos. A diferencia de lo obtenido en el primer ACP, donde los compuestos volátiles ubicaban al zumo tratado por CO cerca del zumo control, los resultados de enzimas, color, pH y capacidad antioxidante los alejan del mismo. De esta manera, el zumo tratado por CO tendría mayor capacidad antioxidante, coloración más roja y un aceptable nivel de inactivación enzimática respecto al zumo control. A esto hay que añadir el hecho de que su contenido en carotenos fue similar al del zumo control. Todo esto hace del zumo pasteurizado por CO un alimento de elevada calidad nutricional, estable enzimáticamente e inocuo.

Los aumentos registrados en pH, parámetros cromáticos y en la capacidad antioxidante del zumo tratado por CO podrían estar asociados con un efecto eléctrico del tratamiento sobre las paredes celulares, aumentando su permeabilidad a sales, pigmentos y compuestos con capacidad antioxidante. Estos resultados, se suman a los de otros

investigadores, quienes indican la necesidad de identificar y diferenciar el efecto eléctrico del térmico sobre los componentes de los alimentos en el tratamiento de CO.

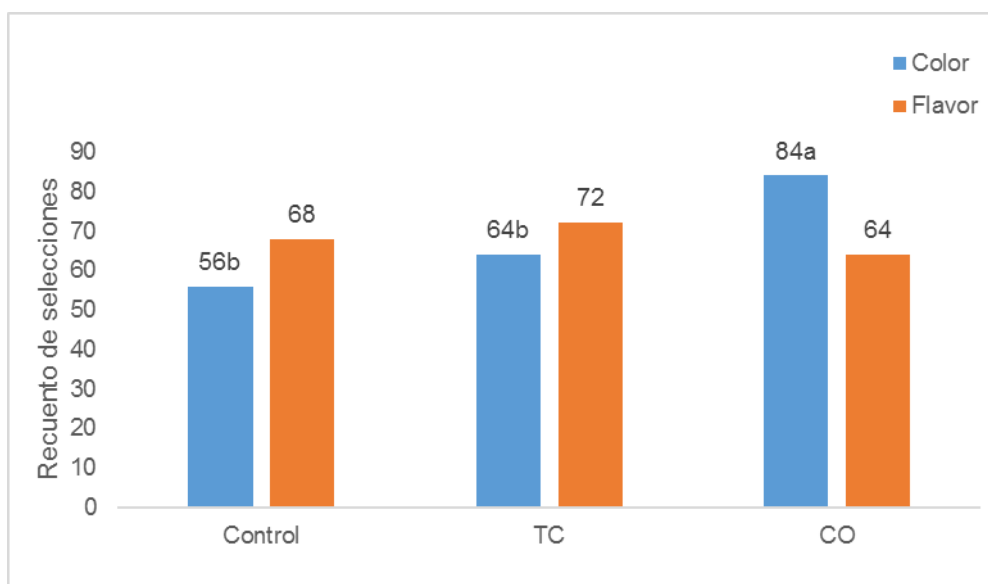
#### 4.3.11. Evaluación sensorial de los zumos tratados y del zumo control

El color, el flavor y la textura son importantes características de calidad que influyen en la aceptabilidad del consumidor y la percepción sensorial de frutas y hortalizas (Oey et al., 2008). Existen estudios previos que informan sobre la evaluación sensorial, fundamentalmente aroma y apariencia, de zumos mixtos pasteurizados (zanahoria, calabaza, apio y cítricos) en los que la puntuación del zumo tratado por CO fue más alta que la del zumo tratado por TC (Dima et al., 2015). Por el contrario, Tumpanuvat y Jittanit (2012) indicaron que el color y el flavor del zumo de naranja y del zumo de piña tratados por CO (80 °C) no difirieron de los de los tratados por TC (60 °C). Sin embargo, no existen en la literatura estudios previos de tratamiento de zumo de zanahoria por CO que proporcionen datos de evaluación sensorial. De ahí la importancia del presente estudio, de evaluar los cambios sensoriales producidos en los zumos de zanahorias durante los tratamientos.

La prueba de evaluación sensorial de los zumos se llevó a cabo con 16 panelistas semi entrenados pertenecientes al Instituto Tecnología de Alimentos de INTA (Hurlingham, Buenos Aires, Argentina), de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.5.3.10.

Los resultados de la evaluación sensorial de los tres zumos de zanahoria, obtenidos a través de la prueba de preferencia de color y flavor, se muestran en la Figura 4.21. Respecto al color, los panelistas prefirieron el zumo tratado con CO ( $p < 0,05$ ). Cabe mencionar que, si bien la diferencia total de color ( $\Delta E$ ) entre los dos zumos tratados (ver apartado 4.3.4) no fue significativa ( $p > 0,05$ ), el valor de  $\Delta E$  del zumo tratado por CO fue ligeramente más alto, lo cual podría relacionarse con su mayor tonalidad rojiza, que podría explicar la preferencia de los panelistas por el color de este zumo.

Esto no debería sorprender, ya que el rojo se ha identificado durante mucho tiempo como un color único y especial, que logra una gran atracción (Ellis, 1900). De hecho, los antropólogos consideran que el rojo fue el primer color cromático utilizado de manera simbólica en la comunicación interpersonal, y se cree que el uso del ocre rojo en la pintura rupestre prehistórica es el primer uso del color cromático en el arte (Elliot & Maier, 2014). Muchos aspectos de la biología, la cultura y el lenguaje apuntan a la intensidad y la prominencia del rojo.



*Figura 4.21.* Preferencia de color y flavor de los zumos pasteurizados y del zumo control. Letras diferentes (a, b) para un mismo atributo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Color:  $n=34$ , diferencia mínima significativa: 16,16; Flavor:  $n=31$ .

En cuanto al flavor, que resulta de la estimulación combinada de los cinco sentidos (Baral, 2015), los resultados (Figura 4.21) no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los zumos tratados y el zumo control, resultando las tres muestras equivalentes en preferencia.

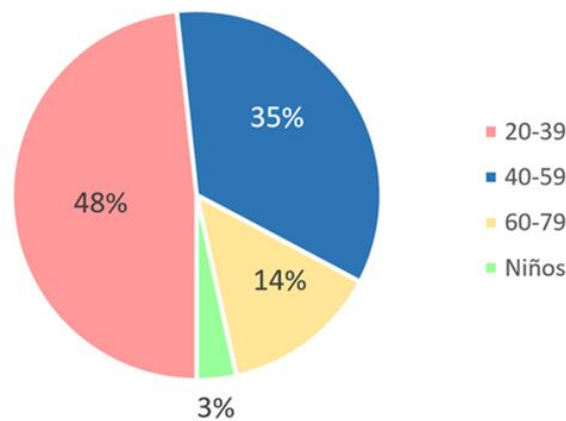
El flavor en la zanahoria cruda parece estar muy influenciado por los compuestos terpénicos volátiles totales (Simon et al., 1980), la mayoría de los cuales (97% de la masa volátil total) son mono- y sesquiterpenos, que contribuyen significativamente al

aroma y al sabor de las zanahorias crudas (Kjeldsen et al., 2001; Kreutzmann et al., 2008; Simon et al., 1980). Se ha referenciado también que el perfil de compuestos volátiles del zumo de zanahoria fresco es similar al de las zanahorias crudas (Zhang et al., 2019). De acuerdo con los resultados relativos a los compuestos volátiles en los zumos de zanahoria mostrados en el apartado 4.3.7, la proporción de mono- y sesquiterpenos del zumo control (90 y 9,6%, respectivamente), que influyen considerablemente en el flavor, no se vio afectada por los tratamientos de preservación aplicados al zumo de zanahoria. De ahí que no haya diferencias significativas en la preferencia de un zumo u otro en cuanto al parámetro del flavor. Por otra parte, aunque los dos tratamientos aumentaron la proporción de volátiles no terpénicos, como aldehídos, alcoholes e hidrocarburos, respecto a los del zumo control, su concentración en el zumo es tan baja, que no es esperable que influyan en la evaluación sensorial.

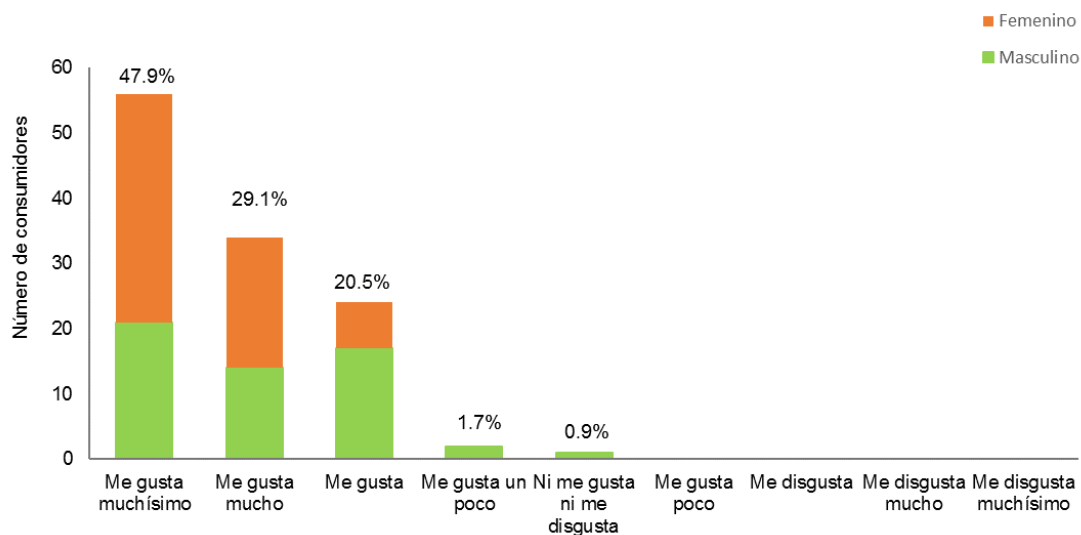
Considerando los resultados obtenidos en la prueba de preferencia de color y flavor, se seleccionó el zumo de zanahoria tratado por CO para realizar una prueba de aceptabilidad por parte de los consumidores. Esta prueba se llevó a cabo con 117 consumidores en el mercado de productos orgánicos "Sabe la Tierra" (San Fernando, Buenos Aires, Argentina). Los participantes (54 hombres, 62 mujeres) tenían entre 20 y 79 años (Figura 4.22) y eran consumidores habituales de zumos naturales. Casi el 50% de los participantes en la prueba se encontraban en el rango de edad comprendido entre los 20 y los 39 años y solo un pequeño porcentaje (3%) de los consumidores fueron niños.

Los resultados (Figura 4.23) indican que no se observaron diferencias significativas de aceptabilidad por género ( $p > 0,05$ ). El 47,9% de los consumidores marcaron el indicador "me gusta muchísimo", recibiendo así la puntuación más alta (9) de la escala hedónica utilizada. También puede comprobarse que el 99% de los consumidores realizaron una valoración positiva del zumo, lo cual indica una aceptabilidad casi total. Este resultado

coincide con lo esperado si se tienen en cuenta los datos obtenidos en la evaluación sensorial preliminar del zumo de zanahorias de descartes mostrados en el apartado 4.1. En ese estudio, en el que se obtuvo aproximadamente un 80% de aceptabilidad, la mayoría de los participantes (el 58%) eran consumidores no habituales de zumos naturales. Por tanto, era de esperar que el zumo lograra incluso mejores niveles de aceptación al ser presentado a un público habitual consumidor de este tipo de zumos.



*Figura 4.22.* Rango etario de los consumidores que participaron de la prueba de aceptabilidad del zumo de zanahoria pasteurizado.



*Figura 4.23.* Prueba de aceptabilidad por parte de los consumidores del zumo de zanahoria tratado por CO, llevada a cabo en el mercado de productos orgánicos "Sabe la Tierra" (San Fernando, Buenos Aires, Argentina) (n= 117).

#### 4.4. Aprovechamiento de la pulpa de zanahoria en la elaboración de magdalenas libres de gluten

Durante los experimentos realizados en la presente tesis, el rendimiento promedio en la elaboración del zumo de zanahoria fue de  $50,91 \pm 0,51$  g por cada 100 g de zanahoria fresca pelada, obteniendo un descarte promedio de  $40,2 \pm 0,63$  g de pulpa de zanahoria, que fue sometido a secado para obtener el polvo de pulpa de zanahoria.

Los valores de las determinaciones realizadas en la pulpa de zanahoria de acuerdo con lo indicado en el apartado 3.6.2, se presentan en la Tabla 4.14.

*Tabla 4.14.* Comparación entre la composición centesimal del polvo de pulpa de zanahoria y la de algunos valores de referencia.

|       | Humedad        | Cenizas        | Lípidos        | Proteína       | Hidratos de carbono | FDT            |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|
| PPZ   | $4,3 \pm 0,18$ | $5,3 \pm 0,11$ | $1,2 \pm 0,01$ | $5,3 \pm 0,14$ | $45,2 \pm 0,25$     | $43,0 \pm 1,5$ |
| Ref.* | 2,0-4,10       | 5,0-7,67       | 1,0-1,3        | 0,7-8.44       | 19,3-82,0           | 37-56          |

FDT: fibra dietaria total.\*Valores de referencia: fuente: Bao & Chang (1994), Chau et al (2004), Kumari & Grewal (2007) y Majzoobi et al. (2016)

Puede observarse que el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas e hidratos de carbono, expresados en % en base seca, se encuentran en el rango de los valores publicados en la literatura (Bao & Chang, 1994; Chau et al., 2004; Kumari & Grewal, 2007; Majzoobi et al., 2016). El contenido de fibra dietaria total de la premezcla de harina libre de gluten para panificados incorporando polvo de pulpa de zanahoria (premezcla PPZ) fue del 45%. Dicho contenido se ubica dentro del rango (37-48%) reportado por Bao y Chang (1994), siendo inferior a los reportados por Kumari y Grewal (2007) y Chau et al. (2004). Esta variabilidad estaría indicando que el contenido de fibra es un parámetro muy relacionado con la composición de la materia prima, así como con el proceso de obtención del zumo y del polvo.

En la introducción (apartado 1.4) se mencionó la baja ingesta de fibra dietaria de los consumidores celíacos y se planteó la necesidad de mejorar la calidad de los alimentos libres de gluten, por ejemplo, enriqueciéndolos en fibra durante su elaboración. En relación con ello, en el presente trabajo se decidió aprovechar el polvo de pulpa de zanahoria, con alto contenido en fibra dietaria, para la formulación de una premezcla de harinas para panificados sin gluten, en las proporciones indicadas en la Tabla 3.3.

El mercado de productos para celíacos dispone actualmente de premezclas de harinas libres de gluten, pero bajas en fibra dietaria. Por lo tanto, la premezcla elaborada en este trabajo puede resultar una alternativa a estas formulaciones comerciales, utilizando los mismos ingredientes que ellas, pero enriquecidos en fibra alimentaria. Además, esta alternativa resulta innovadora, ya que es la primera vez que se utiliza el polvo de pulpa de zanahoria en una premezcla que contiene fécula de mandioca siendo, como se mencionó, uno de los ingredientes en las premezclas utilizadas en la región para la elaboración de panificados libres de gluten.

Como ensayo de versatilidad de esta premezcla PPZ para panificados sin gluten, ésta fue utilizada en la elaboración de magdalenas libres de gluten ricas en fibra. Los resultados de la evaluación general de las magdalenas con incorporación de un 15% de polvo de pulpa de zanahoria y de las magdalenas control (de acuerdo con lo especificado en el apartado 3.6.4.3) se muestran en la Tabla 4.15.

*Tabla 4.15.* Parámetros de la evaluación de las magdalenas libres de gluten.

| Magdalena | Color y brillo de la corteza* | Textura                | Color de la miga       | Estructura             | Altura de la masa (mm) |
|-----------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Control   | 8,0 ± 2,0                     | 5,3 ± 1,5 <sup>a</sup> | 7,3 ± 0,6 <sup>b</sup> | 7,0 ± 1,0 <sup>a</sup> | 14,2 ± 1,5             |
| PPZ       | 7,7 ± 1,1                     | 7,0 ± 1,0 <sup>b</sup> | 8,0 ± 1,0 <sup>a</sup> | 7,7 ± 1,1 <sup>b</sup> | 13,4 ± 1,8             |

De los datos de la Tabla 4.15, se deduce que las magdalenas PPZ difirieron de las magdalenas control en textura, color de la miga y en estructura ( $p < 0,05$ ).

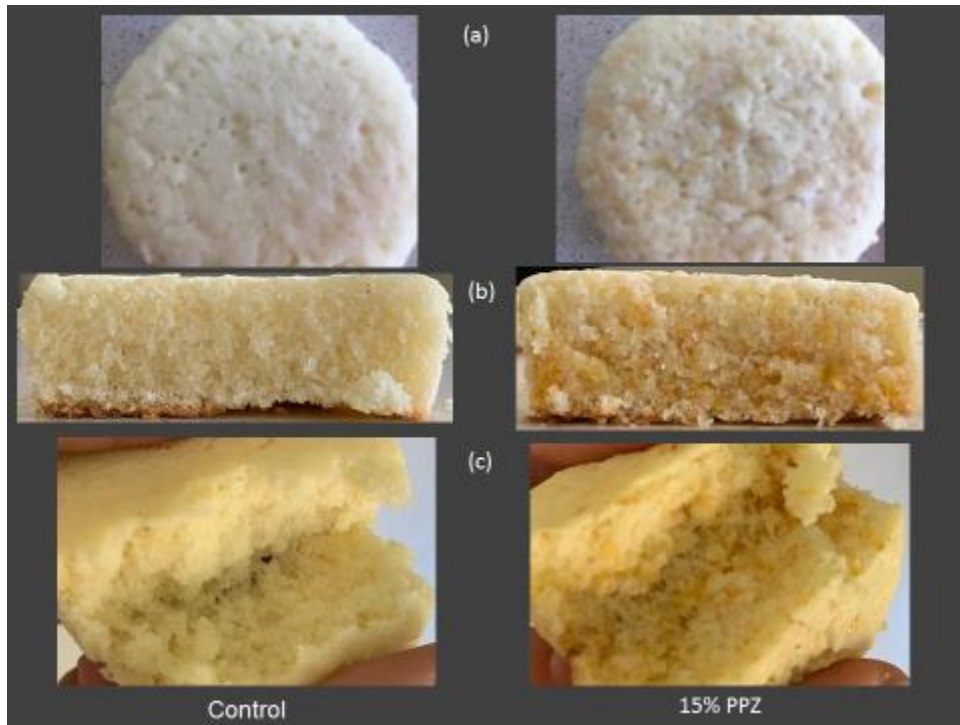
En cuanto al color de la corteza y la altura de las magdalenas, no hubo diferencias significativas ente las magdalenas control y las PPZ. Este resultado es interesante, si se compara con el obtenido por Kirbas et al. (2019), quienes detectaron menores puntuaciones en la evaluación sensorial del color exterior de los bizcochuelos que incorporaron polvo de pulpa de zanahoria.

La evaluación de la textura indica que las magdalenas PPZ presentan una masa más elástica que las magdalenas control y una mayor cantidad de alvéolos en su estructura, lo cual podría ser atribuible a la presencia de la fibra aportada por la pulpa de zanahoria. Estos resultados están en la línea con los reportados por Majzooobi et al. (2016), quienes utilizaron polvo de pulpa de zanahoria en la elaboración de bizcochuelo sin gluten, observando una menor densidad, dureza y cohesión del mismo.

En relación al color, los resultados indican que la miga de las magdalenas PPZ presenta una coloración más amarillenta/anaranjada que la de las magdalenas control., tal como puede observarse en la Figura 4.24, donde se presentan fotografías del aspecto exterior e interior de las mismas.

El contenido de fibra dietaria total de las magdalenas que incorporaron PPZ fue de 1,47 g por unidad (32 g) mientras que el de las magdalenas control fue de 0,06 g por unidad. Esto significa que utilizando la premezcla PPZ se logra aumentar 25 veces el contenido de fibra de las magdalenas. En consecuencia, una porción de magdalenas PPZ (1 unidad) cubriría casi el 6% del valor diario recomendado de ingesta de fibra que, en adulto, es de 25 g (WHO, 2003), mientras que las magdalenas elaboradas con la premezcla comercial control sólo cubrirían el 0,24 % del requerimiento diario.





*Figura 4.24.* Superficie (a), sección transversal (b) y corte manual (c) de magdalenas PPZ libres de gluten conteniendo 0% (control) y 15% de polvo de pulpa de zanahoria.

El Código Alimentario Argentino (2007) indica que un alimento puede etiquetarse como “fuente de fibra alimentaria” si contiene, al menos, un 3% de fibra y como alimento “con alto contenido en fibra” si contiene, como mínimo, un 6%. De acuerdo con ello, 100 g de magdalenas PPZ contendrían 4,6 g de fibra, por lo cual podrían etiquetarse como “alimento fuente de fibra alimentaria”. Cabe destacar que el contenido de fibra de la premezcla podría aumentarse agregando fibra de otra fuente alimentaria a la formulación o bien enriqueciendo la premezcla con mayor contenido de polvo de pulpa de zanahoria, para lo cual serían necesarios nuevos ensayos.

Según estos resultados preliminares, el polvo de pulpa de zanahoria obtenido en este trabajo podría ser considerado como un concentrado de fibra de elevada calidad nutricional, que podría ser utilizado como suplemento alimentario o como ingrediente en la elaboración de alimentos. Esto está de acuerdo con lo expuesto por Chau et al. (2004), que recomiendan el consumo de esta fracción de fibra insoluble o su utilización

como ingrediente a granel bajo en calorías en la elaboración de alimentos, a los que aporta propiedades como retención de aceite y humedad. No obstante, es necesario realizar estudios adicionales en los que se utilicen diferentes proporciones de polvo de pulpa de zanahoria para encontrar el máximo nivel que es aceptable incorporar en la premezcla y evaluar sus propiedades y la aceptabilidad general por parte de los consumidores.

## **5.CONCLUSIONES**



## 5. CONCLUSIONES

En la presente tesis doctoral se ha aplicado la tecnología de calentamiento óhmico al zumo obtenido a partir de descartes de zanahoria, obteniéndose un zumo pasteurizado, con propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales similares a las del zumo fresco, y de gran aceptabilidad sensorial por parte de consumidores habituales de zumos naturales. Adicionalmente, se ha propuesto una estrategia para revalorizar el residuo de la elaboración del zumo de zanahoria.

El estudio realizado permite obtener las siguientes conclusiones:

- La percepción de los consumidores frente al zumo fresco elaborado con zanahorias de descarte fue de elevada aceptabilidad. Este resultado constituyó el punto de partida del trabajo, con el fin de extender la vida útil del zumo mediante la aplicación de dos procesos de pasteurización, tratamiento térmico convencional (TC) y calentamiento óhmico (CO), que alteraran lo menos posible sus características sensoriales y nutricionales.
- Se ha aplicado, por primera vez en Argentina, el CO de alta frecuencia para procesar alimentos líquidos, logrando resultados exitosos con zumo de zanahoria.
- El equipo de CO estático, a escala laboratorio, diseñado, construido y modificado a tal fin en el marco de este estudio permitió la pasteurización del zumo de zanahoria en las siguientes condiciones de proceso: 80 °C, 7 min, 60 KHz, 11,9 V/cm, 2,75 kW.
- Los dos tratamientos de pasteurización aplicados al zumo de zanahoria, TC y CO, lograron su objetivo primordial: obtener un alimento microbiológicamente estable durante 60 días (con refrigeración a 4 °C) y con actividad enzimática inhibida.

- El CO alcanzó dicho objetivo en menor tiempo que el TC, 9,06 frente a 13,25 min, obteniéndose, además, en el zumo tratado por CO, una mayor concentración de los compuestos con alto valor nutricional y una modificación de ciertos parámetros que redundaron en una mayor preferencia sensorial.
- Adicionalmente, el zumo tratado por CO conservó el flavor del zumo sin pasteurizar, fue el preferido por los panelistas semientrenados en cuanto al color, y presentó la capacidad antioxidante total más alta de los tres zumos.
- Los altos niveles de inactivación enzimática (de POD, PME y PPO) alcanzados con la pasteurización permitieron descartar alteraciones de color debidas al pardeamiento enzimático en los zumos y pérdida de turbidez.
- Los dos tratamientos aumentaron la cantidad de volátiles no terpénicos, pero su concentración en los zumos es tan baja que no influyó en su evaluación sensorial.
- El contenido de carotenos de los zumos no se modificó por la aplicación de los tratamientos de pasteurización. De esta manera, la ingesta diaria de medio vaso (100 mL) de zumo de zanahoria pasteurizado cubriría los requerimientos diarios recomendados de vitamina A.
- Debido a la mejor calidad sensorial del zumo CO respecto al zumo TC, el primero fue el seleccionado para realizar la prueba de aceptabilidad con consumidores habituales, alcanzando un valor del 99%.
- La pulpa de zanahoria obtenida como subproducto de la elaboración del zumo pudo ser aprovechada, con buenos resultados preliminares, en la obtención de tres productos: ingrediente alimentario (polvo de pulpa de zanahoria de alto contenido en fibra dietaria); premezcla para elaborar panificados para celíacos (premezcla incorporando polvo de pulpa de zanahoria para panificados libre de gluten); y magdalenas sin gluten fuente de fibra dietaria.

En definitiva, y a modo de resumen, se puede decir que la pasteurización por medio de la aplicación de CO ha resultado ser una alternativa al TC convencional en la producción de zumo a partir de zanahorias de descarte. Como líneas de trabajo futuro que derivan de este estudio, se puede indicar las siguientes:

- El desarrollo del equipo de CO y la aplicación de la tecnología, sientan las bases para futuros trabajos en los que se utilicen primero equipos de flujo continuo a escala piloto y después a escala industrial, para el procesamiento de bebidas naturales.
- Sería necesario realizar estudios adicionales para evaluar la estabilidad de los atributos de calidad durante el almacenamiento, así como las posibles modificaciones de la calidad de los zumos en función de la materia prima de partida.
- Así mismo, sería oportuno incluir en los futuros estudios consumidores no habituados a estas bebidas.
- También sería de interés identificar la influencia de cualquier efecto no térmico del CO sobre los parámetros de calidad del zumo.
- El enriquecimiento de alimentos con polvo de pulpa de zanahoria podría ser utilizado como una estrategia a desarrollar, no solo para la población celíaca, sino también para otros consumidores.





## **6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207–225.
- Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J.P., & Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 397–404.
- Ahmed, J., & Shivhare, U. S. (2012). Thermal processing of vegetables. In D.W. Sun (Ed.) *Thermal food processing: new technologies and quality issues*. CRC Press, United States of America. 402–431.
- AIJN. (2005). *Code of practice for evaluation of fruit and vegetable juices*. European Fruit Juice Association. <https://aijn.eu/> (Último acceso: 1 de junio de 2021).
- Aimaretti, N. (2011). *Desarrollo de un proceso sostenible para la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España.
- Aimaretti, N., & Ybalo, C. (2012). Valorization of carrot and yeast discards for the obtention of ethanol. *Biomass and Bioenergy*, 42, 18–23.
- Aimaretti, N. R., Ybalo, C. V, Rojas, M. L., Plou, F. J., & Yori, J. C. (2012a). Production of bioethanol from carrot discards. *Bioresource Technology*, 123, 727–732.
- Aimaretti, N., Ybalo, C., Escorcia, M., & Codevilla, A. (2012b). Revalorización de descartes agroindustriales para la obtención de bioetanol. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, 28, 141–157.
- Aimaretti, N. R., Clementz, A. L., Codevilla, A., Rojas, M. L., & Yori, J. C. (2013). Sustainable fermentation processing of two revalorized agro-industrial discards:

- carrot and brewer's yeast. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1–7.
- Aimaretti, N., Canesini, M. C., Diruscio, I., Martins, L., Calcha, J., Soressi, M., Terán, J. C., Rausch, A., Almada, G., & del Huerto Sordo, M. (2016). Agregado de valor: un diagnóstico preliminar. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, 19(36), 143–168.
- Alklint, C., Wadsö, L., & Sjöholm, I. (2004). Effects of modified atmosphere on shelf-life of carrot juice. *Food Control*, 15(2), 131–137.
- Altindag, E., & Siller, F. (2014). Effects of flexible working method on employee performance: an empirical study in Turkey. *Business and Economics Journal* 05(03), 104-111.
- AMSA. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. American Meat Science Association. Champaign, Illinois, USA. 135 pp.
- Andarwulan, N., Kurniasih, D., Apriady, R. A., Rahmat, H., Roto, A. V, & Bolling, B. W. (2012). Polyphenols, carotenoids, and ascorbic acid in underutilized medicinal vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 339–347.
- Anderson, D. R. (2008). *Ohmic heating as an alternative food processing technology*. Master of Science. Kansas State University, Kansas, United States of America.
- Andrés, V., Villanueva, M. J., & Tenorio, M. D. (2016). The effect of high-pressure processing on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 192, 328–335.
- AOAC (2000). *Official methods of analysis (17th ed.)*. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

- AOAC (2005). *International Official Methods 991.43. Official Methods of Analysis of AOAC International* (W. Horwitz (ed.); 18th ed.). AOAC International.
- Arias, R. (2018). *Calentador óhmico. Manual de Usuario. v.0.11* (p. 18). Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, UBA. Buenos Aires, Argentina.
- Ashurst, P., Hargitt, R., & Palmer, F. (2017). *Soft drink and fruit juice problems solved*. Woodhead Publishing, United Kingdom. 215 pp.
- Baker, R. A., & Cameron, R. G. (1999). Clouds of citrus juices and juice drinks. *Food Technology*, 53(1), 64–69.
- Baljeet, S. Y., Ritika, B. Y., & Reena, K. (2014). Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, 21(1), 217-222.
- Balogh, T., Smout, C., Nguyen, B. L., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2004). Thermal and high-pressure inactivation kinetics of carrot pectinmethylesterase: from model system to real foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 429–436.
- Balzarini, M., Teich, I., Bruno, C., & Peña, A. (2011). Making genetic biodiversity measurable: a review of statistical multivariate methods to study variability at gene level. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 261–275.
- Bao, B., & Chang, K. C. (1994). Carrot pulp chemical composition, color, and water-holding capacity as affected by blanching. *Journal of Food Science*, 59(6), 1159–1161.
- Baral, S. (2015). Neurogastronomy 101: The science of taste perception. <https://www.eater.com/2015/10/19/9553471/what-is-neurogastronomy> (Último acceso: 3 de junio de 2021).

- Basak, S., & Ramaswamy, H. S. (1996). Ultra high pressure treatment of orange juice: a kinetic study on inactivation of pectin methyl esterase. *Food Research International*, 29(7), 601–607.
- Baser, K. H. C., & Demirci, F. (2007). *Flavours and fragrances: Chemistry, bioprospecting and sustainability*. Heidelberg, Springer, Switzerland. 115 pp.
- Bates, R. P., Morris, J. R., & Crandall, P. G. (2001). Principle and practises small and mediu scale fruit juice processing. *Food and Organization of the United Nations*, 219 pp.
- Bayindirli, A. (2010). *Enzymes in fruit and vegetable processing: chemistry and engineering applications*. CRC Press, United States. 405 pp.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Bhale, S. D. (2004). *Effect of ohmic heating on color, rehydration and textural characteristics of fresh carrot cubes*. Master's Thesis. Louisiana State University. Louisiana, United States of America.
- Bhat, S., Saini, C. S., & Sharma, H. K. (2017). Changes in total phenolic content and color of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) juice upon conventional and ohmic blanching. *Food Science and Biotechnology*, 26(1), 29–36.
- Binaghi, M. J., Dyner, L. M., & Lopez, L. B. (2019). Bioaccesibilidad de minerales en alimentos elaborados con premezclas comerciales libres de gluten. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 23(2), 65–75.
- Bocchetto, R., Ghezan, G., Vitale, J., Porta, F., Grabois, M., & Tapia, C. (2014). *Trayectoria y prospectiva de la agroindustria alimentaria argentina: agenda*

- estratégica de innovación*. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- Bozkurt, H., & Icier, F. (2009). Rheological characteristics of quince nectar during ohmic heating. *International Journal of Food Properties*, 12(4), 844–859.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Britos, S. (2018). *El mercado y el perfil nutricional de aguas y bebidas disponibles en Argentina*. <http://cepea.com.ar> (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- Brothwell, D., & Brothwell, P. (1969). *Food in Antiquity*. Johns Hopkins Univ. Press. United States. 288 pp.
- Buttriss, J. L., & Diplock, A. T. (1984). High-performance liquid chromatography methods for vitamin E in tissues. *Methods in enzymology*. Elsevier. United Kingdom. 105, 131–138.
- Butu, M., & Rodino, S. (2019). Fruit and vegetable-based beverages—Nutritional properties and health benefits. In A.M. Grumezescu and A.M. Holban (Eds.) *Natural Beverages*. Elsevier, United Kingdom. 303–338.
- CAA. (2007). *Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Artículo 982. Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007. Ley 18284*. Buenos Aires Marzocchi. <http://anmat.gov.ar> (Último acceso: 1 de junio de 2021).
- Castro, I., Macedo, B., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2004a). The effect of electric field on important food-processing enzymes: comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. *Journal of Food Science*, 69(9), C696–C701.

- Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., & Vicente, A. A. (2004b). Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(1), 27–36.
- Cautela, D., Castaldo, D., Servillo, L., & Giovane, A. (2010). Enzymes in citrus juice processing. In A. Bayindirli (Ed.) *Enzymes in Fruit and Vegetable Processing*, CRC Press. 211–228.
- Cervantes Hernández, A., Robledo Olivo, I., Flores Verástegui, A. A., & Hernández, C. (2017). Efecto de pulsos eléctricos moderados sobre el jugo de granada. Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Cohauila, México.
- Chau, C. F., Chen, C. H., & Lee, M. H. (2004). Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *LWT - Food Science and Technology*, 37(2), 155–160.
- Chen, D., Pang, X., Zhao, J., Gao, L., Liao, X., Wu, J., & Li, Q. (2015). Comparing the effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on papaya beverage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 16–28.
- Chen, L., Bi, X., Guo, D., Xing, Y., & Che, Z. (2019). The effect of high-power ultrasound on the quality of carrot juice. *Food Science and Technology International*, 25(5), 394–403.
- Christensen, L. P., Edelenbos, M., & Kreutzmann, S. (2007). Fruits and vegetables of moderate climate. In R.G. Berger (Ed.) *Flavours and fragrances- Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, Springer, Switzerland. 135–187.
- Clydesdale, F. M. (1978). Colorimetry-methodology and applications. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 10, 243–301.



- Corti, F. (2019). *Horticultura en el norte de Santa Fe* (p. 28). INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/horticultura\\_en\\_el\\_norte\\_de\\_santa\\_fe](https://inta.gob.ar/sites/default/files/horticultura_en_el_norte_de_santa_fe) (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, Á., Tóth-Markus, M., & Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(1–2), 49–54.
- Cubilla-Giménez, P. V., Monsalvo-Benítez, M. B., Acosta-Escobar, J., González-Céspedes, L. E., & Morínigo-Martínez, M. (2018). Elaboración de productos panificados a partir de premezcla de harinas aptas para celíacos enriquecidas con hierro y vitaminas del complejo B y su aceptabilidad. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de La Salud*, 16(1), 64–70.
- Daniel, D. (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de La Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca, México.
- Dansa, A., Bougardt, F., & Nocera, P. (2017). *Perfil de mercado de zanahoria*. <https://www.magyp.gob.ar/> (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- De Halleux, D., Piette, G., Buteau, M. L., & Dostie, M. (2005). Ohmic cooking of processed meats: energy evaluation and food safety considerations. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie Des Biosystems Au Canada*, 47, 41–47.
- Demir, N., Savas, K., & Acar, J. (2007). The effect of processing method on the characteristics of carrot juice. *Journal of Food Quality*, 30, 813–822.
- Demirdöven, A., & Baysal, T. (2014). Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1817–1826.

- Díaz Ramos, M. (2012). *Calentamiento óhmico y pasteurización eléctrica de alimentos líquidos, mediante corrientes de alta frecuencia*. Tesis de grado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Díaz Ramos, M. F. D., & Tacca, H. E. (2013). Ohmic heating of food by means of high frequency power inverters. *15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, 1–10.
- DiGiacomo, G., & DiTaglieri, L. (2009). A new high-yield process for the industrial production of carrot juice. *Food and Bioprocess Technology*, 2(4), 441–446.
- Dima, F., Istrati, D., Garnai, M., Serea, V., & Vizireane, C. (2015). Study on obtaining vegetables juices with high antioxidant potential, preserved by ohmic pasteurization. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 21(1), 67–74.
- Dominguez, M., Kleiman, E., Vaudagna, S., Vitale Gutierrez, J. ., & Masana, M. (2016). Escenarios sobre exigencias de calidad e inocuidad en el sector productor de materias primas y alimentos elaborados en Argentina para el 2030. In *Informe Final. Consultoría “Escenarios sobre exigencias de calidad e inocuidad en el sector productor de materias primas y alimentos elaborados en Argentina para el 2025* (p. 202). MINCYT.
- Drabińska, N., Zieliński, H., & Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 149–157.
- Dumbravă, D.-G., Hădărugă, N.-G., Moldovan, C., Raba, D.-N., Popa, M.-V., & Rădoi, B. (2011). Antioxidant activity of some fresh vegetables and fruits juices. *Journal of Agroalimentary Processes Technology*, 17(2), 163–168.

- Eberhardt, M. V, Lee, C. Y., & Liu, R. H. (2000). Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405(6789), 903–904.
- Elez-Martínez, P., Aguiló-Aguayo, I., & Martín-Belloso, O. (2006). Inactivation of orange juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as influenced by process parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 71–81.
- Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual Review of Psychology*, 65, 95–120.
- Ellis, H. (1900). The psychology of red. *Popular Science Monthly*, 57, 365–375.
- Elmore, J. S. (2015). Extraction techniques for analysis of aroma compounds. In J.K. Parker, J.S. Elmore and L. Methven (Eds.) *Flavour development, analysis and perception in food and beverages*. Elsevier, United Kingdom. 31–46.
- Espachs-Barroso, A., Van Loey, A., Hendrickx, M., & Martín-Belloso, O. (2006). Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1–2), 40–48.
- Evrendilek, G. A., Baysal, T., Icier, F., Yildiz, H., Demirdoven, A., & Bozkurt, H. (2012). Processing of fruits and fruit juices by novel electrotechnologies. *Food Engineering Reviews*, 4(1), 68–87.
- FAO (2010). *Seguridad alimentaria de los hogares y nutrición de la comunidad*. [http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/household\\_micronutrients\\_es.stm](http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/household_micronutrients_es.stm) (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- FAO (2017). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0f.htm>. (Último acceso: 1 de junio de 2021).

- FAO (2020). *Carrot and Turnip Production 2016*. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- Farrell, R. J., & Kelly, C. P. (2002). Celiac sprue. *New England Journal of Medicine*, *346*(3), 180–188.
- Fasano, A., & Catassi, C. (2001). Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology*, *120*(3), 636–651.
- FDA. (2007). *Guidance for industry on refrigerated carrot juice and other refrigerated low-acid*. <https://www.fda.gov/regulatory-information> (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- Fernández, M. V., Jagus, R. J., Agüero, M. V, Fito, P., Gerard, J., & Fernández M. Veronica, Jagus R, A. M. V. (2014). Revalorización de hortalizas subutilizadas: caracterización y evaluación de hojas de remolacha y su potencial como fuente de compuestos beneficiosos para la salud. *Book of Abstracts “International Conference on Food Innovation”*. Concordia, Argentina, 3, 64–68.
- Fernandez, M. V., Denoya, G. I., Agüero, M. V., Jagus, R. J., & Vaudagna, S. R. (2018). Optimization of high pressure processing parameters to preserve quality attributes of a mixed fruit and vegetable smoothie. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *47*, 170–179.
- Flint, A. J., Hu, F. B., Glynn, R. J., Jensen, M. K., Franz, M., Sampson, L., & Rimm, E. B. (2009). Whole grains and incident hypertension in men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *90*(3), 493–498.
- Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, *6*(3), 149–155.

- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58(3), 453–467.
- Gaviola, J. C. (2013). Manual de producción de zanahoria. *Mendoza, Argentina: INTA*, 97–98.
- Gayas, B., Shukla, R. N., & Khan, B. M. (2012). Physico-chemical and sensory characteristics of carrot pomace powder enriched defatted soyflour fortified biscuits. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(8), 1–5.
- Giner, J., Gimeno, V., Espachs, A., Elez, P., Barbosa-Cánovas, G. V, & Martín, O. (2000). Inhibition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pectin methylesterase by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(1), 57–67.
- Giovanelli, G., & Pagliarini, E. (2009). Antioxidant composition of tomato products typically consumed in Italy. *Italian Journal of Food Science*, 21, 305–316.
- Gomathy, K., Thangavel, K., Balakrishnan, M., & Kasthuri, R. (2015). Effect of ohmic heating on the electrical conductivity. Biochemical and rheological properties of papaya pulp. *Journal of Food Process Engineering*, 38(4), 405–413.
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574–581.
- Gong, Y., Yu, J. Y., Qian, P., Meng, J., Zhang, X. J., & Lu, R. R. (2015). Comparative study of the microbial stability and quality of carrot juice treated by high-pressure processing combined with mild temperature and conventional heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 38(4), 395–404.

- Goullieux, A., & Pain, J.-P. (2014). Ohmic heating. In D.W. Sun (Ed.) *Emerging technologies for food processing*. Elsevier, United Kingdom. 399–426.
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102362 (1)-102362(12).
- Graphic Quality Consultancy. <http://www.colourphil.co.uk> (Último acceso 8 de junio de 2021).
- Gull, A., Prasad, K., & Kumar, P. (2015). Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 470–474.
- GVR. (2018). *Fruit and vegetable juice market size report size analysis report by product (Fruit Juices, Fruit & Vegetable Blends, Vegetable Juices), By Region and segment forecasts, 2018 - 2025*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/fruit-vegetable-juice-market> (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Hagerman, A. E., & Austin, P. J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 440–444.
- Hampel, D., Mosandl, A., & Wüst, M. (2005). Biosynthesis of mono-and sesquiterpenes in carrot roots and leaves (*Daucus carota* L.): metabolic cross talk of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathways. *Phytochemistry*, 66(3), 305–311.

- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., & Weemaes, C. (1998). Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 197–203.
- Hernández-Ortega, M., Kissangou, G., Necoechea-Mondragón, H., Sánchez-Pardo, M. E., & Ortiz-Moreno, A. (2013). Microwave dried carrot pomace as a source of fiber and carotenoids. *Food and Nutrition Sciences*, 4(10), 1037–1046.
- Heywood, V. H. (1983). Relationships and evolution in the *Daucus carota* complex. *Israel Journal of Plant Sciences*, 32(2), 51–65.
- Huet Breña, C. (2017). *Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en muestras biológicas*. Trabajo fin de grado. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Icier, F. (2010). Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, 33(4), 661–683.
- Icier, F., & Ilicali, C. (2005a). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*, 38(10), 1135–1142.
- Icier, F., & Ilicali, C. (2005b). The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *European Food Research and Technology*, 220(3–4), 406–414.
- Icier, F., Yildiz, H., & Baysal, T. (2006). Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 424–429.
- ICMSF (2001). *Microorganismos de los alimentos. Métodos recomendados para análisis microbiológico en alimentos. Técnicas de Análisis Microbiológicos*. International Commission on Microbiological Specification for Foods. Acribia, Argentina. 382 pp.

- IRAM (1966). *Ensayo de panificación experimental. Método para ser usado en programas de mejoramiento de trigo. Norma 15858-1*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- ISO (2008). *Sensory analysis — Vocabulary* (Vol. 2008, Issue ISO 5492:2008). International Organization for Standardization.
- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., Vogel, R. F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V., & Steinberg, P. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97.
- Jayaraman, K. S., KS, J., & PK, V. (1982). Enzymatic browning in some banana varieties as related to polyphenoloxidase activity and other endogenous factors. *Journal of Food Science and Technology*, (19) 181-186.
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 637–652.
- Jones, M. G. (2008). Formation of vegetable flavour. In B. Brückner and S. G. Wyllie (Eds.) *Fruit and vegetable flavour* CRC Press, United States of America. 71–102.
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 391–399.
- Kebede, B. T., Grauwet, T., Magpusao, J., Palmers, S., Michiels, C., Hendrickx, M., & Loey, A. Van. (2015). An integrated fingerprinting and kinetic approach to



- accelerated shelf-life testing of chemical changes in thermally treated carrot puree. *Food Chemistry*, 179, 94–102.
- Kebede, B. T., Grauwet, T., Palmers, S., Vervoort, L., Carle, R., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2014). Effect of high pressure high temperature processing on the volatile fraction of differently coloured carrots. *Food Chemistry*, 153, 340–352.
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–422.
- Khandare, V., Walia, S., Singh, M., & Kaur, C. (2011). Black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus*) juice: processing effects on antioxidant composition and color. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4), 482–486.
- Kim, S. Y. (2015). Fluctuations in phenolic content and antioxidant capacity of green vegetable juices during refrigerated storage. *Preventive Nutrition and Food Science*, 20(3), 169-175.
- Kim, Y. S., Park, S. J., Cho, Y. H., & Park, J. (2001). Effects of combined treatment of high hydrostatic pressure and mild heat on the quality of carrot juice. *Journal of Food Science*, 66(9), 1355–1360.
- Kimjun, H.-Y., & Gerber, L. E. (1988). Influence of processing on quality of carrot juice. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 20(5), 683–690.
- Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 914–926.
- Kjeldsen, F., Christensen, L. P., & Edelenbos, M. (2001). Quantitative analysis of aroma compounds in carrot (*Daucus carota* L.) cultivars by capillary gas chromatography

- using large-volume injection technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(9), 4342–4348.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Jurasová, M. (2012). Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11(4), 381–387.
- Kong, Y. Q., Li, D., Wang, L. J., Bhandari, B., Chen, X. D., & Mao, Z. H. (2008). Ohmic heating behavior of certain selected liquid food materials. *International Journal of Food Engineering*, 4(3).
- Korkmaz, A., Hayaloglu, A. A., & Atasoy, A. F. (2017). Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened *Capsicum annuum* and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot). *LWT-Food Science and Technology*, 84, 842–850.
- Korkut, S. (2012). Performance of three thermally treated tropical wood species commonly used in Turkey. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 355–362.
- Kreutzmann, S., Thybo, A. K., Edelenbos, M., & Christensen, L. P. (2008). The role of volatile compounds on aroma and flavour perception in coloured raw carrot genotypes. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1619–1627.
- Kubo, M. T., Siguemoto, É. S., Funcia, E. S., Augusto, P. E., Curet, S., Boillereaux, L., Sastry, S. K., & Gut, J. A. (2020). Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 36–48.
- Kumar, N., Sarkar, B. C., & Sharma, H. K. (2010). Development and characterization of extruded product of carrot pomace, rice flour and pulse powder. *African Journal of Food Science*, 4(11), 703–717.

- Kumari, S., & Grewal, R. B. (2007). Nutritional evaluation and utilization of carrot pomace powder for preparation of high fiber biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 44(1), 56–58.
- Kun, S., Rezessy-Szabó, J. M., Nguyen, Q. D., & Hoschke, Á. (2008). Changes of microbial population and some components in carrot juice during fermentation with selected Bifidobacterium strains. *Process Biochemistry*, 43(8), 816–821.
- Latham, M. C. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición N 29. *Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y La alimentación*. Roma.  
<http://www.Fao.Org/Docrep/006/W0073s/W0073s00.Htm>. (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Lawless, H. T. & Heymann, H. (2010). Preference testing. In Lawless, H. T. & Heymann, H. (Ed.), *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer New York, United States of America. 316-317.
- Lee, C. Y., Bourne, M. C., & Van Buren, J. P. (1979). Effect of blanching treatments on the firmness of carrots. *Journal of Food Science*, 44(2), 615–616.
- Leizerson, S., & Shimoni, E. (2005). Effect of ultrahigh-temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3519–3524.
- Lemmens, L., Tibäck, E., Svelander, C., Smout, C., Ahrné, L., Langton, M., Alming, M., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: effect on quality related aspects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 522–529.

- Lima, G. P. P., Vianello, F., Corrêa, C. R., Campos, R. A., & Borguini, M. G. (2014). Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. *Food and Nutrition Sciences*, 1065–1082.
- Lima, M., Heskitt, B. F., & Sastry, S. K. (1999). The effect of frequency and wave form on the electrical conductivity-temperature profiles of turnip tissue 1. *Journal of Food Process Engineering*, 22(1), 41–54.
- Llorach, R., Espín de Gea, J. C., Tomás Barberán, F., & Ferreres, F. (2003). Aprovechamiento y gestión de subproductos de e industrialización de hortalizas. Posible uso como compuestos de interés para la salud. *Revista CTC Alimentación*, 16, 6–12.
- Lobo, M. G., Hounsome, N., & Hounsome, B. (2018). Biochemistry of vegetables: secondary metabolites in vegetables—terpenoids, phenolics, alkaloids, and sulfur-containing compounds. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, 3, 47-82. Wiley Blackwell, United Kingdom.
- Loypimai, P, Moongarm, A., & Chottanom, P. (2009). Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 3642–3652.
- Loypimai, P., Moongngarm, A., Chottanom, P., & Moontree, T. (2015). Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 102–110.
- Luo, W., Zhang, R., Wang, L., Guan, Z., Jia, Z., & Liao, X. (2008). Investigation on shelf life of carrot juice processed by pulse electric field. *2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 735–741.

- Madden, T. J., Hewett, K., & Roth, M. S. (2000). Managing images in different cultures: a cross-national study of color meanings and preferences. *Journal of International Marketing*, 8(4), 90–107.
- Made in China*. <https://shchase.en.made-in-china.com> (Último acceso 1 de junio de 2021).
- Majzoobi, M., Poor, Z. V., Jamalain, J., & Farahnaky, A. (2016). Improvement of the quality of gluten-free sponge cake using different levels and particle sizes of carrot pomace powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1369–1377.
- Manassero, C. A. (2016). *Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre propiedades fisicoquímicas y bioquímicas y estabilidad física de diferentes sistemas preparados con proteínas de soja y minerales*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Mannozi, C., Rompoonpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Jaeger, H. (2019). Influence of pulsed electric field and ohmic heating pretreatments on enzyme and antioxidant activity of fruit and vegetable juices. *Foods*, 8(7), 247–259.
- Marcotte, M. (1999). Ohmic heating of viscous liquid foods. Doctoral thesis. McGill University, Québec, Canada.
- Marszałek, K., Krzyżanowska, J., Woźniak, Ł., & Skąpska, S. (2016). Kinetic modelling of tissue enzymes inactivation and degradation of pigments and polyphenols in cloudy carrot and celery juices under supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 117, 26–32.

- Marx, M., Stuparic, M., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Effects of thermal processing on trans-cis-isomerization of  $\beta$ -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*, 83(4), 609–617.
- Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318–2331.
- McColl, K. (2016). *Aumentar el consumo de frutas y verduras para reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/elena/titles/commentary/fruit\\_vegetables\\_ncds/es/](https://www.who.int/elena/titles/commentary/fruit_vegetables_ncds/es/) (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- Meghwal, M., & Kadeppagari, R. K. (2017). Dietary fibers and their role as functional food for human health: food fibers and human health. In S. Benjamin (Ed.) *Examining the development, regulation, and consumption of functional foods*. IGI Global, United States of America. 29–44.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory Evaluation Techniques* (4Th ed.). CRC Press, United States of America. 441 pp.
- Menchu, M., & Mendez, H. (2007). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). <http://www.incap.int/mesocaribefoods/> (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Mercali, G. D., Jaeschke, D. P., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2012). Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 91–95.
- Mercali, G. D., Jaeschke, D. P., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2013). Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: comparison between ohmic and conventional heat treatment. *Food Chemistry*, 136(2), 853–857.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.magyp.gob.ar> (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Mitchell, F. R. G., & De Alwis, A. A. P. (1989). Electrical conductivity meter for food samples. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 22(8), 554.
- Morales-Blancas, E. F., Chandia, V. E., & Cisneros-Zevallos, L. (2002). Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots. *Journal of Food Science*, 67(1), 146–154.
- Moron, C., Zacarias, I., & Pablo, S. de. (1997). Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. In *Produccion y manejo de datos de composicion quimica de alimentos en nutricion*. FAO. Dirección de Alimentación y Nutrición.
- Munsch, M. H., Simard, R. E., & Girard, J.-M. (1983). Relationships in colour and carotene content of carrot juices. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(3), 173–178.
- Murata, M., Sugiura, M., Sonokawa, Y., Shimamura, T., & Homma, S. (2002). Properties of chlorogenic acid quinone: relationship between browning and the formation of hydrogen peroxide from a quinone solution. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 66(12), 2525–2530.
- Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 887–918.
- Nazzaro, F., Fratianni, Nf., Sada, A., & Orlando, P. (2008). Synbiotic potential of carrot juice supplemented with *Lactobacillus* spp. and inulin or fructooligosaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2271–2276.

- Niakousari, M., Hedayati, S., Gahruie, H. H., Greiner, R., & Roohinejad, S. (2019). Impact of ohmic processing on food quality and composition. In S. Roohinejad, M. Koubaa, R. Greiner, K. Mallikarjunan (Eds.) *Effect of Emerging Processing Methods on the Food Quality*. Springer, Switzerland. 1–26.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1–10.
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 19(6), 320–328.
- Olson, J. A. (1989). Provitamin A Function of Carotenoids: the conversion of  $\beta$ -carotene into vitamin A. *The Journal of Nutrition*, 119(1), 105–108.
- Ozgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Scheerens, J. C., & Miller, A. R. (2006). Modified 2, 2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1151–1157.
- Palaniappan, S., & Sastry, S. K. (1991). Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. *Journal of Food Process Engineering*, 14(4), 247–260.
- Palaniappan, S., Sastry, S. K., & Richter, E. R. (1990). Effects of electricity on microorganisms: a review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 14(5), 393–414.



- Palaniappan, S., Sastry, S. K., & Richter, E. R. (1992). Effects of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms. *Biotechnology and Bioengineering*, 39(2), 225–232.
- Park, S. J., Lee, J. I., & Park, J. (2002). Effects of a combined process of high-pressure carbon dioxide and high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice. *Journal of Food Science*, 67(5), 1827–1834.
- Parker, J. K. (2015). Introduction to aroma compounds in foods. In J.K. Parker, J.S. Elmore and L. Methven (Eds.) *Flavour development, analysis and perception in food and beverages*. Elsevier, United Kingdom. 3–30.
- Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., Butler, F., & Downey, G. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(1), 16–22.
- Pederson, C. S. (1975). Vegetable juices. In W. J. Luh BS (Ed.), *Commercial vegetable processing*. AVI Publishing Co., Westport, CT. United States of America. 290-316.
- Picouet, P. A., Sárraga, C., Cofán, S., Belletti, N., & Dolors Guàrdia, M. (2015). Effects of thermal and high-pressure treatments on the carotene content, microbiological safety and sensory properties of acidified and of non-acidified carrot juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 920–926.
- Piette, G., Buteau, M. L., De Halleux, D., Chiu, L., Raymond, Y., Ramaswamy, H. S., & Dostie, M. (2004). Ohmic cooking of processed meats and its effects on product quality. *Journal of Food Science*, 69(2), 71–78.

- Pinchao, Y. A., Osorio, O., & Mejía, D. (2014). Inactivación térmica de pectinmetilesterasa en jugo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Información Tecnológica*, 25(5), 55–64.
- Piqueras-Fizman, B., & Spence, C. (2016). *Multisensory flavor perception: from fundamental neuroscience through to the market place*. Elsevier, United Kingdom. 337 pp.
- Pittaluga, J. P. (2016). *Nuevas tendencias muestran gran potencial para jugo 100 % natural*. <http://envasandoideas.com/es/growth> (Último acceso: 1 de junio de 2021).
- Polydera, A. C., Galanou, E., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2004). Inactivation kinetics of pectin methylesterase of greek Navel orange juice as a function of high hydrostatic pressure and temperature process conditions. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 291–298.
- Quitão-Teixeira, L. J., Aguiló-Aguayo, I., Ramos, A. M., & Martín-Belloso, O. (2008). Inactivation of oxidative enzymes by high-intensity pulsed electric field for retention of color in carrot juice. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 364–373.
- Quitão-Teixeira, L. J., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Mota-Ramos, A., Martín-Belloso, O., Quitão-Teixeira, L. J., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Mota-Ramos, A., & Martín-Belloso, O. (2009). Comparative study on antioxidant properties of carrot juice stabilised by high-intensity pulsed electric fields or heat treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(15), 2636–2642.
- Radočaj, O., Dimić, E., & Tsao, R. (2014). Effects of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil press-cake and decaffeinated green tea leaves (*Camellia sinensis*) on functional characteristics of gluten-free crackers. *Journal of Food Science*, 79(3), C318–C325.

- Ramaswamy, H. S., Marcotte, M., Sastry, S., & Abdelrahim, K. (2014). *Ohmic heating in food processing*. CRC Press, United States of America. 495 pp.
- Ranmode, S., & Kulshreshtha, M. (2011). Enhancement of juice recovery from carrot using 2-stage pressing with ohmic heating. *Journal of Engineering Science and Technology*, 6(2), 240–251.
- Reineccius, G. (2005). *Flavor chemistry and technology*. CRC Press, United States of America. 520 pp.
- Reiter, M., Stuparić, M., Neidhart, S., & Carle, R. (2003). The role of process technology in carrot juice cloud stability. *LWT - Food Science and Technology*, 36(2), 165–172.
- Reznick, D. (1996). Ohmic heating of fluid foods: ohmic heating for thermal processing of foods: government, industry, and academic perspectives. *Food Technology*, 50(5), 250–251.
- Richard-Forget, F. C., & Gaillard, F. A. (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis* cv. Williams) polyphenol oxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2472–2476.
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 165–172.
- Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Barbosa-Cánovas, G. V., & Rodrigo, M. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1163–1170.

- Rocha, A., & Morais, A. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*, 14(1), 13–20.
- Romero, M. del P., & Aimaretti, N. (2018). Desarrollo de un snack saludable a base de zanahorias de descarte. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, 39, 24–35.
- Rossetti, L., Langman, L., Grigioni, G. M., Biolatto, A., Sancho, A. M., Comerón, E., & Descalzo, A. M. (2010). Antioxidant status and odour profile in milk from silage or lucerne-fed cows. *Australian Journal of Dairy Technology*, 65(1), 3–9.
- Roux, S., Courel, M., Birlouez-Aragon, I., Municino, F., Massa, M., & Pain, J. P. (2016). Comparative thermal impact of two UHT technologies, continuous ohmic heating and direct steam injection, on the nutritional properties of liquid infant formula. *Journal of Food Engineering*, 179, 36–43.
- Ruan, R., Ye, X., Chen, P., Doona, C. J., Taub, I., & Center, N. S. (2001). Ohmic heating. In P. Richardson (Ed.) *Thermal technologies in food processing*. Woodhead Publishing, United Kingdom.. 165–241.
- Rubel, I. A., Pérez, E. E., Manrique, G. D., & Genovese, D. B. (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: effect on dough rheology and bread quality. *Food Structure*, 3, 21–29.
- Samaranayake, C. P., & Sastry, S. K. (2018). In-situ activity of  $\alpha$ -amylase in the presence of controlled-frequency moderate electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, 90, 448–454.
- Sastry, S. K. (2004). Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing. In G.V. Barbosa-Canovas, M. S. Tapia, M. P. Cano (Eds.) *Novel Food Processing Technologies*, CRC Press, Boca Raton, United States of America .491–499.

- Sastry, S. K. (2014). Overview of ohmic heating. In H.S. Ramaswamy, M. Marcotte, S.H. Sastry, K. Abdelrahim (Eds.) *Ohmic Heating in Food Processing*. CRC Press, Boca Raton, United States of America. 3–6.
- Saxena, J., Makroo, H. A., & Srivastava, B. (2016). Optimization of time-electric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. *LWT-Food Science and Technology*, *71*, 329–338.
- Schieber, A., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, *12*(11), 401–413.
- Schilling, S., Alber, T., Toepfl, S., Neidhart, S., Knorr, D., Schieber, A., & Carle, R. (2007). Effects of pulsed electric field treatment of apple mash on juice yield and quality attributes of apple juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *8*(1), 127–134.
- Sensoy, I. (2012). Design of ohmic heating processes. In J. Ahmed and M.S. Rahman (Eds.) *Handbook of Food Process Design*. Wiley Blackwell, United Kingdom. 1057–1077.
- Shao, L., Tian, X., Yu, Q., Xu, L., Li, X., & Dai, R. (2019). Inactivation and recovery kinetics of *Escherichia coli* O157:H7 treated with ohmic heating in broth. *LWT-Food Science and Technology*, *110*, 1–7.
- Sharma, H. K. (2018). Carrots Production, Processing, and Nutritional Quality. In M. Siddiq and M. A. Uebersax. (Eds.) *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, Wiley Blackwell, United Kingdom. 589–608.

- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 22–32.
- Shen, S. C., & James, S. B. W. (2018). Processing of vegetable juices and blends. In M. Siddiq and M. A. Uebersax. (Eds.) *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Wiley Blackwell, United Kingdom. 429-450.
- Shevkani, K., & Singh, N. (2014). Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(10), 2237–2244.
- Shirey, R. E. (2000). Optimization of extraction conditions for low-molecular-weight analytes using solid-phase microextraction. *Journal of Chromatographic Science*, 38(3), 109–116.
- Simoës, A., & Hidalgo, C. (2020). *The economic complexity observatory: an analytical tool for understanding the dynamics of economic development*. <https://oec.world/> (Último acceso: 1 de junio de 2021).
- Simon, P W. (1985). Carrot flavor: effects of genotype, growing conditions, storage, and processing. In H.E. Pattee (Ed.) *Evaluation of quality of fruits and vegetables*. AVI Publishing Co., Westport, CT. United States of America. 315–328.
- Simon, Philipp W., Peterson, C. E., & Lindsay, R. C. (1980). Correlations between sensory and objective parameters of carrot flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(3), 559–562.
- Sims, C. A., Balaban, M. O., & Mathews, R. F. (1993). Optimization of carrot juice color and cloud stability. *Journal of Food Science*, 58(5), 1129–1131.

- Singh, G. M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Lim, S., Ezzati, M., & Mozaffarian, D. (2015). Estimated global, regional, and national disease burdens related to sugar-sweetened beverage consumption in 2010. *Circulation*, *132*(8), 639–666.
- Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Development of eggless gluten-free rice muffins utilizing black carrot dietary fibre concentrate and xanthan gum. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(2), 1269–1278.
- SITN: *Science in the News*. <http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2016/brain-tricks-to-make-food-taste-sweeter-how-to-transform-taste-perception-and-why-it-matters> (Último acceso 1 de junio de 2021).
- Soldati, A., Toscani, A., Cova, P., & Franceschini, G. (2019). Design and control of high-density high-voltage smart converter for food ohmic heating. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *55*(6), 7712–7725.
- Song, H.-P., Kim, D.-H., Jo, C., Lee, C.-H., Kim, K.-S., & Byun, M.-W. (2006). Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. *Food Microbiology*, *23*(4), 372–378.
- Soysal, Çiğdem, & Söylemez, Z. (2005). Kinetics and inactivation of carrot peroxidase by heat treatment. *Journal of Food Engineering*, *68*(3), 349–356.
- Soysal, Çiğdem, Söylemez, Z., & Bozoğlu, F. (2004). Effect of high hydrostatic pressure and temperature on carrot peroxidase inactivation. *European Food Research and Technology*, *218*(2), 152–156.
- Stinco, C. M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C. A., Inácio, R. S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Saraiva, J. A., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and

- enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112(1)-125112(7).
- Stolarczyk, J., & Janick, J. (2011). Carrot: history and iconography. *Chronica*, 51(2), 13.
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2012). *Sensory evaluation practices*. Academic press, United States of America. 408 pp.
- Sun, J., Chu, Y.-F., Wu, X., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7449–7454.
- Szczepańska, J., Barba, F. J., Skąpska, S., & Marszałek, K. (2020). High pressure processing of carrot juice: effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. *Food Chemistry*, 307, 125549(1)-125549(8).
- Takahama, U. (2004). Oxidation of vacuolar and apoplastic phenolic substrates by peroxidase: physiological significance of the oxidation reactions. *Phytochemistry Reviews*, 3(1–2), 207–219.
- Talcott, S. T., & Howard, L. R. (1999). Phenolic autoxidation is responsible for color degradation in processed carrot puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(5), 2109–2115.
- Terefe, N. S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 24–63.
- Tholl, D. (2006). Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolism. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(3), 297–304.
- Thompson, T., Dennis, M., Higgins, L. A., Lee, A. R., & Sharrett, M. K. (2005). Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended



- amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 18(3), 163–169.
- Tola, Y. B., & Ramaswamy, H. S. (2014). Thermal destruction kinetics of *Bacillus licheniformis* spores in carrot juice extract as influenced by pH, type of acidifying agent and heating method. *LWT - Food Science and Technology*, 56(1), 131–137.
- Tumpanuvat, T., & Jittanit, W. (2012). The temperature prediction of some botanical beverages, concentrated juices and purees of orange and pineapple during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 226–233.
- Turksoy, S., & Özkaya, B. (2011). Pumpkin and carrot pomace powders as a source of dietary fiber and their effects on the mixing properties of wheat flour dough and cookie quality. *Food Science and Technology Research*, 17(6), 545–553.
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Sultana, T., Senan, A. M., Awad, F. N., Hong, Z., & Zhang, J. (2019). Exploring the potential of high-voltage electric field cold plasma (HVCP) using a dielectric barrier discharge (DBD) as a plasma source on the quality parameters of carrot juice. *Antibiotics*, 8(4), 1–18.
- USA-FDA. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science*, 65, 108. <https://www.fda.gov/files/food> (Último acceso: 3 de junio de 2021).
- USDA. (2020). *Food Data Central*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170393/nutrients> (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2304–2317.

- Vavilov, N. I. (1951). *The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants*. Waltham, Mass and Stechert-Hafner, Inc., United State of America. 364 pp.
- Vicente, A. A., Castro, I. A. C. L., Teixeira, J. A., & Pereira, R. N. C. (2012). *Ohmic heating for food processing*. In D.W. Sun (Ed.) *Thermal food processing: new technologies and quality issues*. CRC Press, United States of America. 425-468.
- Vicente, A. A., Pereira, R. N., Penna, T. C. V, & Knirsch, M. (2014). Electricity effects on microorganisms and enzymes. In H.S. Ramaswamy, M. Marcotte, S.H. Sastry, K. Abdelrahim (Eds.) *Ohmic heating in food processing*, CRC Press, United States of America. 115–126.
- Wang, L., & Sun, D.W. (2012). Heat and mass transfer in thermal food processing. In D.W. Sun (Ed.) *Thermal food processing: new technologies and quality issues*. CRC Press, United States of America. 50–86.
- WHO (2003). *Régimen alimentario, nutrición y prevención de enfermedades crónicas: informe de una consulta mixta FAO/OMS de expertos*. 152. [https://www.who.int/elena/titles/fruit\\_vegetables\\_ncds/es/](https://www.who.int/elena/titles/fruit_vegetables_ncds/es/) (Último acceso: 1 de junio de 2021).
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217–224.
- WorldMapper. <https://www.worldmapper.org> (Último acceso: 8 de junio de 2021).
- Yildiz, H., Bozkurt, H., & Icier, F. (2009). Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5), 503–512.

- Yildiz, H., Icier, F., & Baysal, T. (2010). Changes in  $\beta$ -carotene, chlorophyll and color of spinach puree during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 33(4), 763–779.
- Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review 1. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361–422.
- Yu, G., Bei, J., Zhao, J., Li, Q., & Cheng, C. (2018). Modification of carrot (*Daucus carota* Linn. var. *Sativa* Hoffm.) pomace insoluble dietary fiber with complex enzyme method, ultrafine comminution, and high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 257, 333–340.
- Zareifard, M. R., Mondor, M., Villeneuve, S., & Grabowski, S. (2015). Ohmic heating: principles and application in thermal food processing. In T. Varzakas, C. Tzia (Eds.) *Handbook of Food Processing-Food Preservation*. CRC Press, United States of America. 407–433.
- Zhang, D., & Hamauzu, Y. (2004). Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 95–100.
- Zhang, Q., Tan, S., McKay, A., & Yan, G. (2005). Carrot browning on simulated market shelf and during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 16–20.
- Zhang, X., Duan, W., Zou, J., Zhou, H., Liu, C., & Yang, H. (2019). Flavor and antioxidant activity improvement of carrot juice by fermentation with *Lactobacillus plantarum* WZ-01. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 3366–3375.
- Zhang, Y., Liu, X. C., Wang, Y., Zhao, F., Sun, Z., & Liao, X. (2016). Quality comparison of carrot juices processed by high-pressure processing and high-temperature short-

time processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 135–144.

Zhang, Z., & Pawliszyn, J. (1993). Headspace solid-phase microextraction. *Analytical Chemistry*, 65(14), 1843–1852.

**ANEXOS**





Contents lists available at ScienceDirect

LWT

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt)

## Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment

Livia M. Negri Rodríguez<sup>a,b,\*</sup>, Ricardo Arias<sup>e,1</sup>, Trinidad Soteras<sup>a,c</sup>, Ana Sancho<sup>d</sup>,  
Natalia Pesquero<sup>a,c</sup>, Luciana Rossetti<sup>a,c</sup>, Hernán Tacca<sup>e</sup>, Nora Aimaretti<sup>f</sup>, María Luisa Rojas  
Cervantes<sup>b</sup>, Natalia Szerman<sup>a,c,g</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Tecnología de Alimentos, CC 25, CP 1712 Castelar, Buenos Aires, Argentina

<sup>b</sup> Departamento de Química Inorgánica y Química Técnica, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España

<sup>c</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de Sistemas Alimentarios Sustentables, UEDD, INTA, CONICET, Argentina

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Genética "Ewald A. Favret", Buenos Aires, Argentina

<sup>e</sup> Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (LABCATYP), Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

<sup>f</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Agencia de Extensión Rural Montevera, Santa Fe, Argentina

<sup>g</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Carrot juice  
Ohmic heating  
Pasteurization  
Sensory evaluation  
Quality

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of pasteurization of carrot juice by heat treatment (80 °C–7 min) and ohmic heating (OH) on its physicochemical and chromatic parameters, enzymatic and microbiological inactivation, volatile compounds, antioxidant capacity, carotene content, and sensory characteristics, compared to control juice (CJ). Both treatments allowed obtaining microbiologically stable and safe carrot juice and achieved 99% peroxidase inactivation levels. Significant differences were obtained in L\* parameter, polyphenoloxidase activity and total antioxidant capacity, compared to HT-treated and CJ. The OH-treated juice presented greater color preference ( $p < 0.05$ ) by semi-trained panelists and a high level of acceptance among consumers (corresponding to "like extremely"). The results allow concluding that OH could be an alternative to conventional HT for the pasteurization of carrot juice, providing benefits in its sensory perception.

### 1. Introduction

One of the main problems in horticulture and its derived industries is the generation of significant amounts of waste and by-products, usually discarded or underutilized. In some cases, these by-products can account for up to 75% of the harvested material (Llorach et al., 2003). However, in recent years, progress has been made in developing food and technologies to reevaluate horticultural by-products (Aimaretti et al., 2016; Fernandez et al., 2018; O'Shea et al., 2012). In this context, the discards from carrot (*Daucus carota L.*), one of the most popular vegetables with a worldwide production (Bhat et al., 2017; Riganakos et al., 2017), can be used to produce carrot juice. Carrot juice is currently widely marketed thanks to its high nutritional value (Picouet et al., 2015) due to its high content of carotenoids, such as  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene, lutein, and

lycopene (Riganakos et al., 2017), some of which may exhibit provitamin A activity (Cakmakci et al., 2014). It is also a good source of vitamin C and phenolic compounds, which substantially contribute to its antioxidant potential (Zhang et al., 2005). The importance of antioxidant components in the maintenance of health and protection against coronary heart disease and cancer continues to be a relevant aspect of food as the trend of the future moves towards functional foods with specific health effects (Sharma et al., 2012; Wootton-Beard et al., 2011).

Carrot juice should be consumed within 1–2 days from its production (Picouet et al., 2015). The action of endogenous enzymes, mainly polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD), and pectin methylesterase (PME), is conducive to juice deterioration (Gouma et al., 2020; Mannozzi et al., 2019). PPO and POD are mostly responsible for enzymatic browning due to the oxidation of phenolic compounds, while PME

\* Corresponding author. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Tecnología de Alimentos, CC 25, CP 1712 Castelar, Buenos Aires, Argentina.

E-mail addresses: [negri.livia@inta.gov.ar](mailto:negri.livia@inta.gov.ar), [lnegri2@alumno.uned.es](mailto:lnegri2@alumno.uned.es) (L.M. Negri Rodríguez).

<sup>1</sup> Deceased author.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>

Received 9 November 2020; Received in revised form 19 February 2021; Accepted 4 March 2021

Available online 15 March 2021

0023-6438/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

causes cloud destabilization and hence clarifies carrot juice due to pectin degradation. The inactivation of these enzymes and the inactivation and/or inhibition of the growth of microorganisms are critical for extending the shelf-life of carrot juice (Gouma et al., 2020). Conventional heat treatment (HT) is usually applied (Dima et al., 2015) to achieve that purpose. However, the high temperatures used can affect the sensory and nutritional quality of the juice (Quitão-Teixeira et al., 2009; Riganakos et al., 2017). Thus, an ongoing challenge for the food industry is developing technologies that minimize the adverse effects of HT on quality attributes, decrease the processing times, and ensure the safety of the products.

In this context, ohmic heating (OH), an electrical resistance heating method in which an alternating current (50–100 kHz) passes through the food (Sensoy, 2012), maybe an alternative. Since the amount of heat generated is directly related to the current induced by the voltage gradient in the field, the most important parameter in the applicability of ohmic heating is the electrical conductivity of the material (Kumar, 2018). The advantage of OH over conventional HT methods is the volumetric nature of the heating effect. Instead of being transferred by conduction or convection, heat is generated very fast inside the food due to the electric current, achieving shorter processing times. This high heat transfer rate allows achieving microbial safety without causing product degradation (Sensoy, 2012) and improving the quality of some processed foods, especially those containing large particles (Zareifard et al., 2015). Despite the mentioned advantages of OH, the main drawbacks are possible electrochemical reactions at the electrodes, which lead to their erosion and the electrolysis of the product (Jaeger et al., 2016). OH has been applied in several fruits, juices and vegetable purees, at pasteurization temperatures, and the deterioration of some compounds of interest (such as carotenoids, antioxidants and vitamin C) was lower than that observed after the application of HT (Dima et al., 2015; Funcia et al., 2020; Kumar, 2018; Müller et al., 2020). Also, several works have studied the inactivation of microorganisms through the application of OH compared to HT, and the main effect has been attributed primarily to heat (Jaeger et al., 2016). Despite this, a non-thermal microorganism inactivation effect is still under discussion (Kubo et al., 2020).

Despite the encouraging results mentioned above, the effect of the OH on carrot juice is not yet well studied; thus, the present study aimed to evaluate the effect of the pasteurization of carrot juice by OH and HT (80 °C–7 min) on its physicochemical and chromatic parameters, enzymatic and microbiological inactivation, volatile compounds, antioxidant capacity, carotene content and sensory characteristics, compare to control juice. Also, microbial growth was evaluated for 60 days under refrigerated storage conditions (4 °C).

## 2. Materials and methods

### 2.1. Preparation of carrot juice

Fresh carrots (*Daucus carota L.*) were supplied by a producer in Santa Rosa de Calchines (31°25'S, 60°20'W), Santa Fe province, Argentina. After harvesting, carrots classified as discarded due to their shape or size were immediately transported to our lab. Carrots were packed in polyethylene bags with perforations (49 × 80 cm, 24 holes, 70 µm thickness) and kept under refrigeration at 4 °C (relative humidity: 95%) until their use. Before processing, carrots were washed and disinfected by dipping in chlorinated water (200 ppm) for 5 min and dried. Then, carrots were manually peeled and chopped into small pieces (20 × 20 × 20 mm). Carrot juice was extracted using a juice extractor (JG1700, Yelmo, China). The average yield of the juice was 50.91 ± 0.51 g per 100 g of carrot. The juice was placed into polyethylene terephthalate (PET) bottles (1000 mL) and immediately stored at 4 ± 1 °C. A total of 9000 mL of juice was prepared, 3000 mL for each treatment (OH and HT) and 3000 mL for the control (preserved without treatment). The OH and HT treatments were applied after 12 h of refrigeration. The whole procedure was repeated three times, so nine batches of carrot juice were obtained

on three different days.

### 2.2. Ohmic heating

#### 2.2.1. Ohmic heating apparatus

The laboratory-scale OH system was designed and manufactured at the Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina). It consists of an ohmic heating unit (Fig. 1), which heats the liquid to be pasteurized by passing an alternating current with a frequency of 60 kHz through it. It should be noticed that the high frequency used by the unit is high enough to avoid electrolysis phenomena (Diaz Ramos & Tacca, 2013). The OH unit includes two stainless steel electrodes (height: 10.1 cm; width: 9.8 cm) located in a heating cell (length: 33.5 cm; width: 9.8 cm) constructed with a 10-mm-thick acrylic and a workload of 2.5 L. Temperature during processing was measured by a stainless steel-coated PT100 resistor located at the midpoint of the heating cell. The temperature, voltage, current and power applied were monitored by a microprocessor board, which transmitted the information to the computer at constant intervals (0.1 s).

Two nested closed-loops controlled the temperature of the sample. The external loop compares the measured temperature with the reference value, which could be either a constant value or a rising ramp. The temperature control loop supplied a current reference to the inner loop, which set the rms voltage by varying the duty cycle of the output voltage waveform. The temperature of each sample was assumed to be uniform in the cell since the maximum difference among the temperatures measured at different locations was approximately 1 °C.

#### 2.2.2. Electrical conductivity measurement

The OH system measures the output voltage (V) and current (I) passing through the load in real-time. Then, the microprocessor calculates the rms values to calculate the power applied to the load and performs the quotient between the I and the V to estimate the conductance of the food sample at each instant. The conductivity ( $\sigma$ ) is calculated according to Equation (1) (Diaz Ramos & Tacca, 2013)

$$\sigma = \frac{IL^2}{VVol} \quad (1)$$

where I is the rms current, V is the rms output voltage, L is the distance between electrodes (cm) and Vol is the sample volume (mL). The values of both the power and conductivity are sent through a Bluetooth interface to a host PC that presents the values on the screen in a graph as a function of time.

#### 2.2.3. Ohmic pasteurization

The ohmic heating system described in 2.2.1 was used to pasteurize the carrot juice. The heating cell was filled with 2500 mL carrot juice at 4 °C and the temperature sensor was inserted and fixed into the geometric center of the cell to monitor the sample temperature continuously. The samples were sandwiched between the two electrodes in the heating cell and heated ohmically with an alternating current with 60 kHz frequency and voltage adjustable by a power relay (the electric field at the maximum voltage applied was 120 V/cm). The sample was ohmically heated from 15 to 80 °C, and then the temperature was kept constant at 80 ± 1 °C for 7 min (Fig. S1). The pasteurized juice was packaged in bottles in aseptic conditions, which were immersed in an ice-water bath and then stored in refrigeration (4 °C). The experiments were replicated three times.

### 2.3. Conventional heat treatment

The carrot juice assigned to the HT treatment was divided into five cook-in bags (Cryovac CN640, Sealed Air) containing 500 mL each. All bags were then placed in a water bath (Lindberg/Blue M, mod.



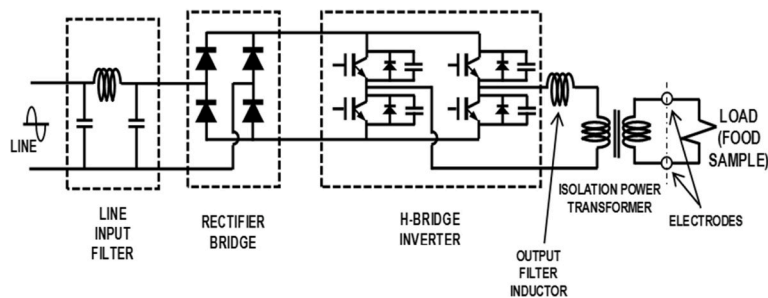


Fig. 1. Block diagram of the ohmic heater and picture of the ohmic heating cell, temperature sensor and voltage signal generator.

RWB3220CY-1, NC USA) at 82 °C. A combination of 80 °C and 7 min was applied as the lowest heating point (Picouet et al., 2015). Temperatures were measured using flexible T-type thermocouples, placed in the bags by stuffing box devices (Ecklund Harrison Tech, USA). The data were recorded with a digital multimeter (Fluke Hydra 2625A, USA). The temperature readings were taken at 10-s intervals, and the measurement precision was  $\pm 0.1$  °C (Fig. S2). Immediately after HT, bags were immersed in an ice-water bath and stored under refrigeration (4 °C).

## 2.4. Determination of quality attributes

### 2.4.1. pH and total soluble solids (TSS)

The pH in carrot juices was measured at room temperature ( $20 \pm 1$  °C) by using a digital pH meter (Thermo Orion, 710A+) with a pH electrode (8102BN, ROSS, Thermo Orion) and ATC probe (Thermo Orion). TSS were determined as °Brix at  $20 \pm 1$  °C using a refractometer (Atago Master T, Tokyo, Japan). The measurements were carried out in duplicate for each sample.

### 2.4.2. Chromatic parameters

The chromatic parameters of carrot juices were measured using a Minolta CR-400 chroma meter provided with a sample holder CR A505 and a 20-mm glass cell (CM-A99 to measure liquids, Konica Minolta, Japan) with an illuminant D65 and 2° observer angle. Results are expressed as  $L^*$  (lightness),  $a^*$  (redness/greenness) and  $b^*$  (yellowness/blueness) in the CIE Lab system. These values were used to calculate the Hue degree and Chroma (Equations (2) and (3)) (Pathare et al., 2013).

$$H^\circ = \arctangent[b^* a^{*-1}] \quad (2)$$

$$Ch = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

Also, the total color difference between the sample and the control ( $\Delta E$ ) was calculated by Equation (4) (Mannozi et al., 2019).

$$\Delta E = \left[ (L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

where  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  are the chromatic parameters of the sample and  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  and  $b_0^*$  are the chromatic parameters of the control juice. Differences in perceptible color can be classified as not detectable (0–0.5), slightly detectable (0.5–1.5), detectable (1.5–3.0), well detectable (3.0–6.0) and highly detectable (6.0–12.0) (Cserhalmi et al., 2006). The browning index (BI) was calculated by Equation (5) (Mannozi et al., 2019).

$$BI = [(100(x - 0.31))/0.172] \quad (5)$$

where  $x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$ .

The measurements of chromatic parameters were performed in triplicate for each sample and the results were averaged.

### 2.4.3. Enzyme activities

The enzyme activities for peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO), and pectin methylesterase (PME) were determined as described by Fernández et al. (2018). More details of the methodology can be found in the Supplementary material (sections S.1.a and S.1.b). One unit of enzyme activity was defined as the change of 0.001 of absorbance at the corresponding wavelength. The measurements were carried out in duplicate for each sample. Results are expressed as  $\Delta A/\text{min}/L$ , and the percentage of relative enzymatic activity relative to the control carrot juice was calculated.

### 2.4.4. Microbial analysis

All samples were serially diluted for microbial analysis with a sterile 0.1 g/100 mL peptone solution, and 1.0 mL of each dilution was plated into duplicate plates of the appropriate agar. Plate Count Agar medium (Merck, Germany) was used to determine the total aerobic mesophilic counts (TPC) after incubation at 37 °C for 48 h. Yeast Extract Dextrose Chloramphenicol Agar medium (Merck, Germany) was used to count yeast and mold cells (Y&M) after incubation at 25 °C for 7 days. Lauryl Sulfate Broth medium (Merck, Germany) was used to count total coliforms (TCC) after incubation at 37 °C for 48 h. Finally, in-depth seeding on Sulfite Polymyxin Sulfadiazine Agar medium (Merck, Germany) was used to count clostridium sulfite-reducers (CSR) after incubation at 37 °C for 48 h. The results are expressed as decimal logarithms of the number of colony-forming units per mL (CFU/mL) of juice. The plates were considered below the quantification limit of 1.0 Log CFU/mL when up to five colonies were counted. Microbiological analyses were carried out in control, OH-treated and HT-treated carrot juice after 0, 15, 30, and 60 days of refrigerated storage (4 °C).

### 2.4.5. Volatile compounds (VOCs)

The carrot juice VOCs were extracted by headspace solid-phase microextraction, as described by Kebede et al. (2014) with some modifications. Briefly, 5 mL of juice was equilibrated (40 °C - 20 min) and VOCs were extracted (40 °C - 10 min) by 2  $\mu\text{m}$ –50/30  $\mu\text{m}$  DVB/Carboxen/PDMS Extractive Fiber (Supelco, Bellefonte, USA). Then, the VOCs extracted were determined by gas chromatography-mass

spectroscopy (GC–MS). More details of the methodology can be found in the Supplementary material (section S.2). Results are expressed as arbitrary area units (AAU). VOCs were determined in duplicate.

#### 2.4.6. Total antioxidant capacity

Total antioxidant capacity (TAC) was determined using the Ferric reducing antioxidant power (FRAP) methodology, according to [Chen et al. \(2015\)](#) with some modifications, and calculated by using 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox, Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) as standard and expressed as  $\mu\text{M}$  of Trolox equivalent antioxidant capacity. The details of the technique can be found in the Supplementary material (section S.3).

#### 2.4.7. Carotenoids

The carotenoid extraction procedure was adapted from [Rossetti et al. \(2010\)](#). Briefly, 5 g of juice was homogenized with 25 mL of the buffer; 1 mL of homogenate was mixed with 2 mL of pyrogallol and incubated ( $70^\circ\text{C}$  - 2 min). Saponification was carried out with 300  $\mu\text{L}$  KOH ( $70^\circ\text{C}$  - 30 min). Carotenoids were extracted with hexane and analyzed by high-performance liquid chromatography (HPLC). More details of the methodology can be found in the Supplementary material (section S.4). The measurements were carried out in duplicate for each sample.

#### 2.4.8. Sensory evaluation

Semi-trained panelists (16) carried out a preference ranking test to assess color and flavor differences between the control, OH-treated and HT-treated carrot juices. The preference ranking test to assess color was carried out in a cabinet with standardized light (Verivide, CAC 120, UK) D65 illuminant and the visual angle was kept constant during all tests. Samples were placed in transparent glass bottles, simulating a commercial presentation. The preference ranking test to assess flavor was carried out in panel booths. Panelists received 25 mL of each sample, served in plastic glasses at  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . A balanced-block design was used for order presentation.

The pasteurized carrot juice with the highest score in the preference ranking test was selected to evaluate the consumers' acceptance. A nine-point hedonic scale ([Meilgaard et al., 2007](#)) was used (1: dislike extremely; 9: like extremely). The test was carried out with 117 casual consumers recruited in the organic products market "Sabe la Tierra" located in San Fernando (Buenos Aires, Argentina). Consumers (54 males, 62 females) were between 20 and 79 years old. Samples were delivered at  $4^\circ\text{C}$  and served in plastic glasses.

### 2.5. Statistical analysis

A completely randomized block design with three fixed treatments and three randomized blocks was applied. Each processing batch corresponded to a block. The results were statistically evaluated by using the Statistical Package SPSS 12.0 (Chicago, USA). For all the parameters evaluated in the present study, the block effect was non-significant ( $p > 0.05$ ). One-way analysis of variance (ANOVA) was used for independent samples (when equal variances were not assumed) and linear regression was used to analyze the effect of the treatment on the quality attributes of the carrot juice samples. Bonferroni post-hoc test was used to compare means. The areas of VOCs were analyzed by principal component analysis (PCA). The scores obtained from each PCA were analyzed by ANOVA to test for significant differences between treatments. The Friedman test analyzed preference ranking data.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Electrical conductivity

The electrical conductivity ( $\sigma$ ) of carrot juice increased linearly with the increase in temperature ([Fig. 2](#)). The data were adjusted to a linear regression model, according to Equation (6).

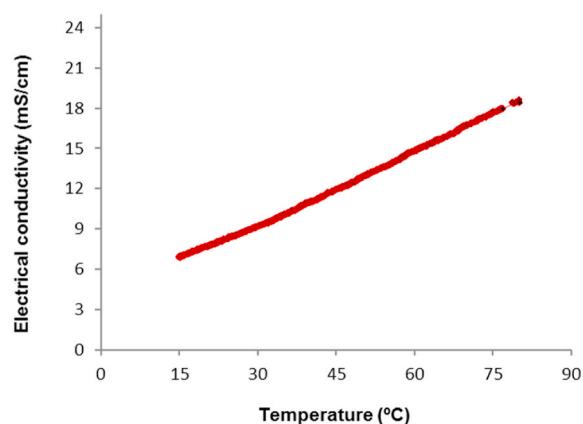


Fig. 2. Electrical conductivity of carrot juice.

$$\sigma = 4.11 + 0.18 \times T \quad R^2 = 0.998 \quad (6)$$

where  $\sigma$  is the electrical conductivity (mS/cm), and  $T$  is the temperature ( $^\circ\text{C}$ ) of the carrot juice during the OH treatment. These results are consistent with those reported by [Quitão-Teixeira et al. \(2008\)](#), who obtained  $\sigma$  values between 5 and 20 mS/cm (from  $5$  to  $65^\circ\text{C}$ ) when treating carrot juice with pulsed electric fields (PEFs). [Kumar \(2018\)](#) also reported linear increases in the  $\sigma$  of various fruits with the increase in temperature during OH, with a constant voltage gradient.

The increase in  $\sigma$  with the temperature may be explained by the fact that, in a liquid, the electric current is transported by the movement of ions ([Kong et al., 2008](#)), and therefore, when the temperature increases, the resistance to the movement of ions is lower ([Jittanit et al., 2017](#)).

### 3.2. pH and TSS

The pH and TSS of the three carrot juices evaluated (control, OH-treated and HT-treated) are shown in [Table 1](#). The pH values of the OH- and HT-treated juices were significantly ( $p < 0.05$ ) higher than those of the control juice ([Table 1](#)). [Luo et al. \(2008\)](#) obtained similar results, observing a slight increase in the carrot juice pH treated by PEFs at 25 kV/cm for 200  $\mu\text{s}$  at 1 Hz. The increase of pH values in the OH- and HT-treated juices could be a consequence of the diffusion of materials or salts from the cell to the medium. On the one hand, the application of electric fields enhances this diffusion phenomenon ([Rinaldi et al., 2020](#); [Varghese et al., 2014](#)); and on the other, the HT may cause cell membrane disruption ([Patras et al., 2009](#)). Regarding TSS, we observed no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the treatments. Furthermore, [Jiménez-Sánchez et al. \(2017\)](#) reported that the electrical treatments of fruit juices would not affect TSS content.

### 3.3. Chromatic parameters, $\Delta E$ and BI

The values of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\text{Ch}$ ,  $\text{H}^\circ$ ,  $\Delta E$  and BI of the control, OH-treated and HT-treated carrot juices are shown in [Table 1](#). The  $L^*$  values of the OH-treated juice were significantly lower ( $p < 0.05$ ) than those of the control and HT-treated juices. Also, the  $a^*$  values of OH- and HT-treated juices were significantly higher ( $p < 0.05$ ) than those of the control juice, whereas the  $\text{H}^\circ$  values were significantly lower. Parameters  $b^*$ ,  $\text{Ch}$  and BI of OH- and HT-treated juices showed no significant changes ( $p > 0.05$ ) in comparison to those of the control juice.

The application of HT in carrot juice can cause variations in color, with a decrease in  $a^*$  parameter causing a change from red to yellow-orange ([Chen et al., 1995](#)). Also, browning reactions may explain the less red and yellow colorations of carrot juices ([Szczepańska et al., 2020](#)). However, in this study, the HT applied increased the "redness" of the juice and decreased parameter  $\text{H}^\circ$ , tending towards reddish tones,

**Table 1**  
Effects of OH and HT on the pH, total soluble solids and chromatic parameters of carrot juice.

| Treatment | pH                       | TSS (°Brix)               | Chromatic parameters      |                           |                           |                           |                           |                          |                          |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
|           |                          |                           | L*                        | a*                        | b*                        | Ch                        | H°                        | ΔE                       | BI                       |
| Control   | 6.52 ± 0.02 <sup>b</sup> | 11.15 ± 0.08 <sup>a</sup> | 43.04 ± 0.19 <sup>a</sup> | 16.80 ± 0.41 <sup>b</sup> | 31.51 ± 0.53 <sup>a</sup> | 35.71 ± 0.66 <sup>a</sup> | 61.93 ± 0.23 <sup>a</sup> | –                        | 144.7 ± 3.4 <sup>a</sup> |
| HT        | 6.59 ± 0.02 <sup>a</sup> | 11.17 ± 0.08 <sup>a</sup> | 42.25 ± 0.20 <sup>a</sup> | 19.41 ± 0.43 <sup>a</sup> | 30.44 ± 0.56 <sup>a</sup> | 36.10 ± 0.69 <sup>a</sup> | 57.48 ± 0.25 <sup>b</sup> | 3.49 ± 0.43 <sup>a</sup> | 146.2 ± 3.5 <sup>a</sup> |
| OH        | 6.66 ± 0.02 <sup>a</sup> | 11.12 ± 0.09 <sup>a</sup> | 41.73 ± 0.21 <sup>b</sup> | 18.96 ± 0.46 <sup>a</sup> | 30.44 ± 0.59 <sup>a</sup> | 35.87 ± 0.73 <sup>a</sup> | 58.14 ± 0.26 <sup>b</sup> | 4.60 ± 1.57 <sup>a</sup> | 148.6 ± 3.8 <sup>a</sup> |

Data are expressed as means ± standard error (n = 9). Values with different letters (a, b, c) in the same column were significantly different (p < 0.05) from each other. L\*: lightness, a\*: redness, b\*: yellowness, Ch: Chroma, H°: Hue degree, ΔE: total color difference, BI: browning index, TSS: total soluble solids.

without affecting b\* parameter. Furthermore, [Patras et al. \(2009\)](#) and [Bhale \(2004\)](#) observed an increase in a\* values after applying HT (70 °C) to carrot juice and OH to carrot cubes, respectively. [Bhale \(2004\)](#) also reported a decrease in L\* and H° values of OH-treated carrot cubes. HT could improve the carotenoid extraction by disrupting cell membranes and carotenoid-protein complex ([Patras et al., 2009](#)). This effect may explain the higher a\* and lower H° values in HT-treated juices than the control one. In OH-treated juices, the lowest L\* and higher a\* values could be associated with a higher diffusion of dyes and salts through cell membranes than in HT, probably explained by the phenomenon of electroosmosis ([Loypimai et al., 2015](#)).

The values of ΔE ([Table 1](#)) for the OH- and HT-treated juices showed no significant differences (p < 0.05) and would be in the “well visible” range ([Cserhalmi et al., 2006](#)). These results indicate that both OH and HT generate changes that could be perceived even by inexperienced observers. Other authors have reported that the values of ΔE obtained for carrot juices treated by thermal ([Gong et al., 2015](#); [Gouma et al., 2020](#)) and non-thermal ([Szczepańska et al., 2020](#)) technologies were similar.

### 3.4. Enzyme activities

The values obtained from the residual activities of POD, PPO and PME of the control, OH-treated and HT-treated carrot juices are shown in [Table 2](#).

POD activity in the control juice was 177.5 ± 2.8 ΔA/min/L. Both OH and HT treatments led to inactivation levels greater than 99%. Similarly, [Mannozi et al. \(2019\)](#) achieved 80% of POD inhibition in carrot pulp by applying a pretreatment with OH at 40–80 °C (114 V/cm).

PPO activity in the control juice was 2.34 ± 0.11 ΔA/min/L. The OH treatment led to an inhibition of 80%, whereas HT led to an inhibition of 68%. In apple juice pretreated with HT (80 °C) and OH (20–80 °C, 114 V/cm), [Mannozi et al. \(2019\)](#) achieved 75% of PPO inhibition.

Both PPO and POD are involved in the enzyme browning mechanism, which can generate off-flavor and result in the loss of nutritional and

**Table 2**  
Effects of OH and HT on residual enzymatic activity, antioxidant capacity (FRAP) and carotenoids of carrot juice.

| Treatment | POD                      | PPO                      | PME                      | FRAP                    | α-carotene              | β-carotene              |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|           | RA                       | RA                       | RA                       |                         |                         |                         |
|           | (%)                      | (%)                      | (%)                      | (μM TE)                 | (mg/L)                  | (mg/L)                  |
| Control   | 100                      | 100                      | 100                      | 1734 ± 147 <sup>c</sup> | 22.5 ± 0.9 <sup>a</sup> | 69.6 ± 3.2 <sup>a</sup> |
| HT        | 0.06 ± 0.00 <sup>b</sup> | 31.8 ± 3.45 <sup>a</sup> | 15.0 ± 1.32 <sup>a</sup> | 2051 ± 155 <sup>b</sup> | 21.4 ± 0.9 <sup>a</sup> | 65.5 ± 3.3 <sup>a</sup> |
| OH        | 0.26 ± 0.02 <sup>a</sup> | 19.9 ± 2.55 <sup>b</sup> | 17.2 ± 1.19 <sup>a</sup> | 2709 ± 165 <sup>a</sup> | 22.2 ± 1.0 <sup>a</sup> | 68.9 ± 3.5 <sup>a</sup> |

Data are expressed as means ± standard error (n = 9). Values with different letters (a, b, c) in the same column are significantly different (p < 0.05). POD RA: residual activity of peroxidase, PPO RA: residual activity of polyphenoloxidase, PME RA: residual activity of pectinmethylesterase, FRAP: Ferric reducing antioxidant power.

economic value of juices ([Terefe et al., 2014](#)). According to the inactivation levels reached for both enzymes in OH- and HT-treated juices here evaluated, it is expected to have a favorable effect on their quality.

Regarding PME, control juice activity was 10.57 ± 0.54 ΔA/min/L, and the OH and HT treatments inhibited this enzyme by 83 and 85%, respectively. Generally, PME is responsible for losing viscosity and turbidity in juices ([Espachs-Barroso et al., 2006](#)). Although no other studies have evaluated the effect of OH on PME activity in carrot juice, [Luo et al. \(2008\)](#) achieved 37.35% of PME inactivation by applying PEFs (40 °C), which resulted in turbidity similar to that of fresh juice during its 28-day shelf-life.

Therefore, the application of the OH was more efficient than the HT in the inactivation of PPO from the carrot juice; although, similar results were obtained in the inactivation of PME and POD. This result could be associated with a non-thermal effect that caused the inactivation of PPO. The activation and inactivation of enzymes due to OH may be associated with conformational changes and the influence of electrostatic forces on the tertiary structure ([Samaranayake & Sastry, 2018](#)). Also, the oscillating electric field and the dissipation of energy by friction would induce molecular movement that changes the structure, and consequently, the activity of the enzymes ([Shao et al., 2019](#)). Despite the numerous published studies, it is difficult to accurately distinguish the thermal and non-thermal effects of electric fields on enzyme activity ([Kubo et al., 2020](#)). The existence of non-thermal effects can be more or less evident or indistinguishable depending on several parameters and factors, such as electric field strength, frequency, power, temperature distribution, time temperature history, food medium/matrix, and strain or type of biological material to be evaluated ([Kubo et al., 2020](#)).

### 3.5. Microbiological analysis

The values obtained for TPC, Y&M, TCC and CSR counts in the control, OH-treated and HT-treated carrot juices during the 60 days of storage at 4 °C are shown in [Table 3](#).

The counts in the control juice at time 0 ([Table 3](#)) were in the range usually measured for carrot juice ([Gong et al., 2015](#); [Riganakos et al., 2017](#)). The application of OH and HT significantly reduced all microbiological counts, with values below the quantification and/or detection levels, which indicated a correct pasteurization.

After 60 days of storage, the TPC counts increased to 2.27 ± 1.07 and 2.65 ± 1.19 Log CFU/mL in HT and OH-treated juices, respectively. Besides, the TPC counts in the control juice exceeded the recommended limits for consumption (<5 Log CFU/mL) after 30 days of storage. All other counts remained at values below the quantification and/or detection levels until the end of storage. It has been described that, in OH treatments, microorganisms are inactivated through heat since the force of the electric field (10 kV/cm) necessary to cause their lysis is much higher than that usually applied ([Jaeger et al., 2016](#)). Also, no microorganisms or pathogenic strains with particular resistance to OH treatment were reported ([USA-FDA, 2000](#)).

### 3.6. Volatile compounds

In control, OH-treated and HT-treated carrot juices, we identified 36, 37 and 41 VOCs, respectively, comparing their MS with those in the

**Table 3**

Microbial parameters of carrot juice during 60 days of storage at 4 °C after OH and HT.

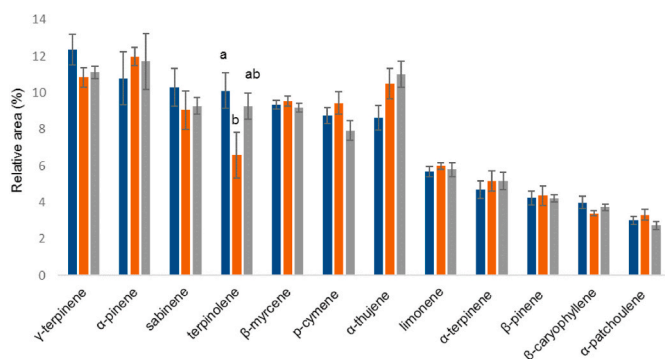
| Treatment | Storage time (days) | TPC Log CFU/mL           | Y&M Log CFU/mL | TCC Log CFU/mL | CSR Log CFU/mL |
|-----------|---------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Control   | 0                   | 3.09 ± 0.64              | 1.76 ± 0.66    | 1.50 ± 0.55    | ND             |
|           | 15                  | 4.21 ± 0.68              | 2.16 ± 0.66    | 1.54 ± 0.27    | ND             |
| HT        | 0                   | <1                       | ND             | <1             | ND             |
|           | 15                  | <1                       | ND             | <1             | ND             |
|           | 30                  | 1.70 ± 0.78 <sup>a</sup> | ND             | <1             | ND             |
|           | 60                  | 2.27 ± 1.07 <sup>b</sup> | ND             | <1             | ND             |
| OH        | 0                   | ND                       | ND             | <1             | ND             |
|           | 15                  | <1                       | ND             | <1             | ND             |
|           | 30                  | 2.05 ± 0.75 <sup>A</sup> | ND             | <1             | ND             |
|           | 60                  | 2.65 ± 1.19 <sup>B</sup> | ND             | <1             | ND             |

Data are expressed as means ± standard error (n = 3). A,B and a,b represent different comparison groups (OH vs Control; HT vs Control), whereas different letters in the same column represent a significant difference within the same time (p < 0.05).

TPC: total aerobic mesophilic count, Y&M: yeast and mold cells count, TCC: total coliforms count, CSR: clostridium sulfite-reducers count. ND: non detected, <1: below the quantification limit.

mass spectral database NIST (Version 2.0, 2002; NIST USA). Terpenes were the chemical group present in the highest amounts in the three juices. The high proportion of monoterpenes among the total VOCs of the control juice (90.0 ± 0.5%) was not altered (p > 0.05) by the application of HT or OH (88.8 ± 0.5 and 90.0 ± 0.2%, respectively). Also, the proportion of sesquiterpenes in HT- and OH-treated juices (9.6 ± 0.6 and 9.0 ± 0.2%) was similar (p > 0.05) to control juice one (9.6 ± 0.5%). In agreement with previous studies (Umair et al., 2019),  $\gamma$ -terpinene,  $\gamma$ -pinene, sabinene, terpinolene,  $\beta$ -myrcene, p-cymene,  $\alpha$ -thujene, limonene,  $\alpha$ -terpinene,  $\beta$ -pinene,  $\beta$ -caryophyllene, and  $\alpha$ -patchoulene represented 90% of the total VOCs of the three juices (Fig. 3). It should be noted that the HT-treated carrot juice presented the lowest value of the monoterpene terpinolene (Fig. 3). Previous studies have described that carrot monoterpenes contribute to the consumers' ratings "citrus-like" and "fruity", while sesquiterpenes contribute to the consumers' ratings "spicy" and "woody", related to the bitter and rough taste of carrots that often causes consumers' rejection (Bayindirli, 2010).

To investigate the existence of underlying dependencies between VOCs and the different treatments, we performed a PCA, for which we selected the VOCs that showed significant differences (p < 0.05)



**Fig. 3.** Main volatile compounds in control, OH-treated and HT-treated carrot juice.

Data are expressed as means ± standard error (n = 5). Values with different letters (a, b, c) in the same terpene are significantly different (p < 0.05) from each other (control ■ HT-treated ■, OH-treated ■).

between treatments (five monoterpenes, four sesquiterpenes and two from other chemical groups). Fig. 4 shows a biplot of the carrot juices and VOCs. The first two components of the PCA explained 70.7% of the data variability (PC1 = 52.5%; PC2 = 18.2%).

PC1 was positively correlated with camphor,  $\alpha$ -humulene,  $\alpha$ -bisabolene and  $\alpha$ -longipinene and negatively correlated with  $\alpha$ -bergamotene,  $\beta$ -ocimene and sabinene. PC2 was only positively correlated with hexanal. The PCA showed that the HT-treated juice was characterized by the highest values of camphor,  $\alpha$ -bisabolene,  $\alpha$ -humulene and  $\alpha$ -longipinene, and the lowest values of sabinene,  $\alpha$ -bergamotene, and  $\beta$ -ocimene relative to the control and OH-treated juices. On the other hand, the control juice presented the highest values of sabinene,  $\alpha$ -bergamotene,  $\beta$ -ocimene, and hexanal and the lowest ones of the sesquiterpenes  $\alpha$ -bisabolene,  $\alpha$ -humulene and  $\alpha$ -longipinene.

The OH-treated juice seemed to have a profile similar to that of the control juice but with lower values of sabinene,  $\alpha$ -bergamotene,  $\beta$ -ocimene and hexanal. These results could be explained by the fact that, during processing, the terpenoids in the samples can either be produced directly or be converted, from an initial product, into sesquiterpenes or monoterpenes by oxidation, dehydrogenation and other reactions (Korkmaz et al., 2017). Although it has been described that a reduction in carrot terpenes would affect the characteristic flavor of carrot juice (Kebede et al., 2014), it is to be hoped that changes in terpenes associated with heat treatments have no impact on juice flavor as they represent a minority fraction.

### 3.7. Total antioxidant capacity

The TAC of the control carrot juice (1734 ± 147  $\mu$ M) (Table 2) was slightly higher than that previously reported by Wootton-Beard et al. (2011) (1369–1533  $\mu$ M). The TAC of carrot juice increased significantly (p < 0.05) after OH treatment (Table 2). Also, the antioxidant capacity of the OH-treated juice was significantly (p < 0.05) higher than that of the HT-treated juice. Similarly, Mannozi et al. (2019) reported an increase in the TAC of carrot juice, as measured by the ABTS technique, when the pulp was pretreated (HT 80 °C and/or OH from 20 to 80 °C).

Most of the antioxidant activity of fruits and vegetables is generated by the presence of phenolic compounds (hydroxycinnamic acids, flavan-3-ols, anthocyanins, flavonols and dihydrochalcones) (Zhang & Hamauzu, 2004). In pumpkin juice, Bhat et al. (2017) obtained the highest values of total phenols after treating it with OH (80 °C - 4 min), intermediate values after treating it with HT (90 °C - 5 min), and the lowest values in the control juice.

According to the results obtained, the OH treatment greatly benefits the TAC of carrot juice. This could be mainly due to the release of antioxidant compounds induced by electroporation during electrical treatment (Mannozi et al., 2019), which is an additional effect to that of HT. Therefore, OH would have the potential to extract the greatest amount of phenolic compounds with minimal damage to the integrity of the product (Bhat et al., 2017).

### 3.8. Carotene content

The  $\beta$ -carotene content of the control carrot juice (69.6 ± 3.2 mg/L) (Table 2) was agree with previously reported values 50–200 mg/L (Kun et al., 2008; Quitão-Teixeira et al., 2009). However, the  $\alpha$ -carotene content was lower (22.5 ± 0.9 mg/L) than that reported (90 mg/L) by Kun et al. (2008). The amount of carotenoids depends on numerous variables such as species of carrot, soil, climate, etc. (Kun et al., 2008).

The OH and HT treatments did not significantly change (p > 0.05) the contents of  $\alpha$ -carotene or  $\beta$ -carotene of the carrot juice (Table 2). Marx et al. (2003) obtained similar results in HT-treated carrot juice (95 °C), whereas other authors found that the application of OH in carrot cubes (Lemmens et al., 2009), did not significantly change the  $\beta$ -carotene content.



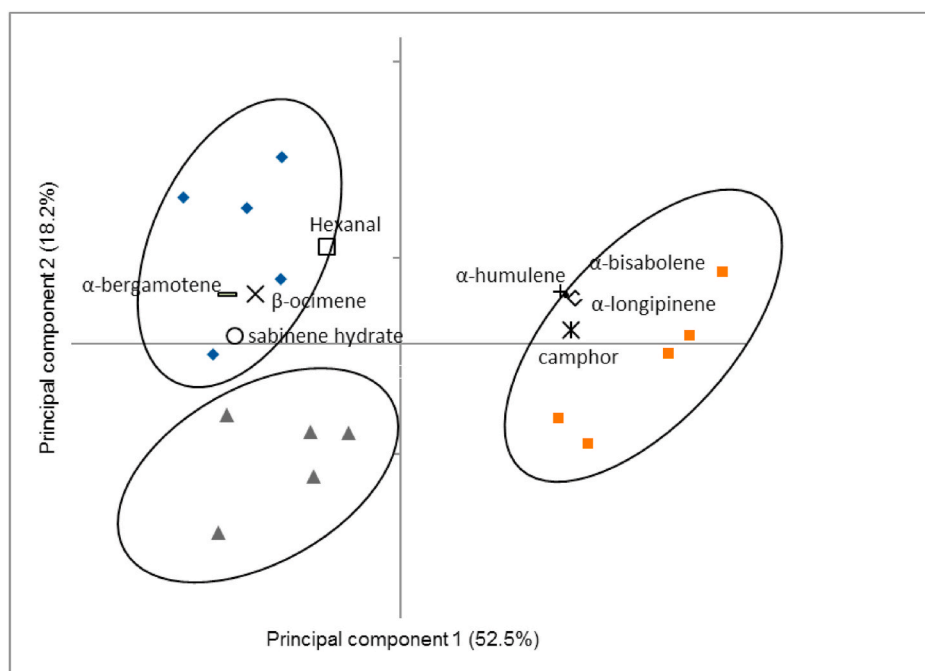


Fig. 4. PCA biplot based on volatile compounds of the control (◆) OH-treated (▲) and HT-treated (■) carrot juice.

### 3.9. Sensory analysis

The results of the sensory evaluation indicated that, regarding color, the OH-treated juice was preferred ( $p < 0.05$ ) over the other samples. Regarding flavor, the results showed no significant differences between the treated juices and the control ( $p > 0.05$ ). Therefore, in this study, the application of OH and HT treatments seems to have had no effect over flavor, preserving that of the control juice. It is important to highlight that previous studies in which carrot juice was treated with OH did not provide data on sensory assessments. Regarding other formulations, Dima et al. (2015) reported that the sensory evaluation of mixed juice (carrot, pumpkin, celery and citrus fruits) treated by OH (70 °C) achieved a higher score relative to the juice treated by HT (70 °C - 10 min), indicating that aroma and appearance were the most appreciated characteristics. On the other hand, Tumpanuvat and Jittanit (2012) indicated that the color and flavor of orange juice and pineapple juice treated by OH (80 °C) did not differ from those treated by HT (60 °C).

Considering the results obtained in the color and flavor preference test, the carrot juice treated by OH was selected to carry out a hedonic test with consumers. The results indicated that 47.9% of consumers considered the OH-treated juice as “like extremely”, thus receiving the highest score (9) of the hedonic scale used. At the same time, 99% of the consumers placed the OH-treated juice in the range between “like extremely” and “like slightly” (Fig. 5).

## 4. Conclusions

The OH and HT treatments allowed obtaining carrot juice that was microbiologically stable for 60 days under refrigerated storage at 4 °C. Both treatments also led to inhibition of POD, PME and PPO enzyme activities, with the OH treatment leading to more significant PPO inactivation than HT. The flavor of OH- and HT-treated juices was not modified compared to the control juice, which may be associated with the fact that the terpene profile was unchanged in treated and control juices. Also, the OH-treated carrot juice presented differences in its chromatic parameters regarding the control and HT-treated juices. The semi-trained panelists perceived these differences since most of them preferred the OH-treated juice due to its color. Besides, the OH-treated

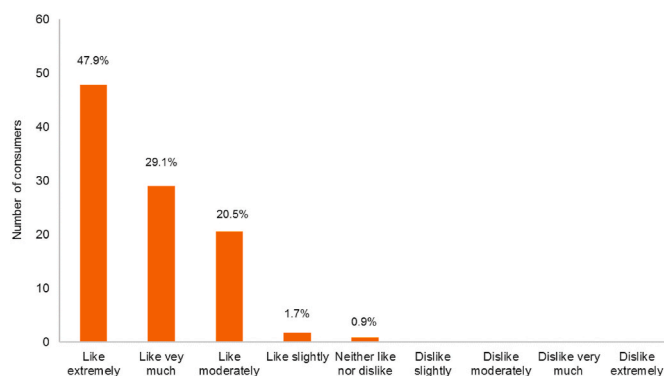


Fig. 5. Consumers' acceptance test of the OH-treated carrot juice carried out in the organic products market “Sabe la Tierra” (San Fernando, Buenos Aires, Argentina) (n = 117).

juice had a higher total antioxidant capacity than the control and HT-treated juices, the same carotene content as the control juice, and a high level of acceptance among consumers.

Thus, the application of OH would be an alternative to conventional HT in carrot juice production. This study provides technical information that could be used to take advantage of discarded carrots and constitute a promising basis to continue and carry out future studies on an industrial scale. Complementary studies should aim to assess the stability of quality attributes during storage and identify any non-thermal effect of OH on the quality parameters.

### Funding

This work was supported by the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA (PNAIyAV 1130033; PE I150; PD I153), Argentina.

### Authors' contributions

All authors contributed equally to the manuscript.

## CRedit authorship contribution statement

**Livia M. Negri Rodríguez:** Conceptualization, Investigation, Writing - original draft, Resources. **Ricardo Arias:** Investigation, Methodology. **Trinidad Soteras:** Methodology, Visualization. **Ana Sancho:** Formal analysis, Visualization. **Natalia Pesquero:** Investigation, Methodology. **Luciana Rosetti:** Investigation, Methodology. **Hernán Tacca:** Conceptualization, Writing - review & editing. **Nora Aimaretti:** Conceptualization, Writing - review & editing, Supervision. **María Luisa Rojas Cervantes:** Conceptualization, Writing - review & editing, Supervision. **Natalia Szerman:** Conceptualization, Writing - review & editing, Supervision.

## Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Acknowledgments

We thank Gabriela Denoya, Patricia Benedetti and Claudio Sanow, for their help in the analytical determinations.

## Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>.

## References

- Aimaretti, N., Canesini, M. C., Diruscio, I., Martins, L., Calcha, J., Soressi, M., et al. (2016). Agregado de valor: Un diagnóstico preliminar. *Invenio*, 19(36), 143–168.
- Bayindirli, A. (2010). *Enzymes in fruit and vegetable processing: Chemistry and engineering applications*. CRC Press.
- Bhale, S. D. (2004). *Effect of ohmic heating on color, Rehydration and textural Characteristics of fresh carrot cubes [LSU master's theses. 3918]*. [https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool\\_theses/3918%0AThis](https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/3918%0AThis).
- Bhat, S., Saini, C. S., & Sharma, H. K. (2017). Changes in total phenolic content and color of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) juice upon conventional and ohmic blanching. *Food Science and Biotechnology*, 26(1), 29–36. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0004-7>
- Cakmakci, S., Tahmas-Kahyaoglu, D., Erkaya, T., Cebi, K., & Hayaloglu, A. A. (2014).  $\beta$ -Carotene contents and quality properties of set type yoghurt supplemented with carrot juice and sugar. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1155–1163. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12075>
- Chen, D., Pang, X., Zhao, J., Gao, L., Liao, X., Wu, J., et al. (2015). Comparing the effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on papaya beverage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.018>
- Chen, B. H., Peng, H. Y., & Chen, H. E. (1995). Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1912–1918.
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, Á., Tóth-Markus, M., & Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1–2), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.07.001>
- Diaz Ramos, M. F. D., & Tacca, H. E. (2013). *Ohmic heating of food by means of high frequency power inverters. 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, 1–10.
- Dima, F., Istrati, D., Garnai, M., Serea, V., & Vizireanu, C. (2015). Study on obtaining vegetables juices with high antioxidant potential, preserved by ohmic pasteurization. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 21(1), 67–74.
- Espachs-Barroso, A., Van Loe, A., Hendrickx, M., & Martín-Belloso, O. (2006). Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1–2), 40–48.
- Fernandez, M. V., Denoya, G. I., Agüero, M. V., Jagus, R. J., & Vaudagna, S. R. (2018). Optimization of high pressure processing parameters to preserve quality attributes of a mixed fruit and vegetable smoothie. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47(February), 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.011>
- Funcia, E. S., Gut, J. A. W., & Sastry, S. K. (2020). Effect of electric field on pectinesterase inactivation during orange juice pasteurization by ohmic heating. *Food and Bioprocess Technology*, 13(7), 1206–1214.
- Gong, Y., Yu, J. Y., Qian, P., Meng, J., Zhang, X. J., & Lu, R. R. (2015). Comparative study of the microbial stability and quality of carrot juice treated by high-pressure processing combined with mild temperature and conventional heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 38(4), 395–404. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12170>
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>
- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., et al. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 501–523. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.867828>
- Kebede, B. T., Grauwet, T., Palmers, S., Vervoort, L., Carle, R., Hendrickx, M., et al. (2014). Effect of high pressure high temperature processing on the volatile fraction of differently coloured carrots. *Food Chemistry*, 153, 340–352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.061>
- Kong, Y. Q., Li, D., Wang, L. J., Bhandari, B., Chen, X. D., & Mao, Z. H. (2008). Ohmic heating behavior of certain selected liquid food materials. *International Journal of Food Engineering*, 4(3). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1378>
- Korkmaz, A., Hayaloglu, A. A., & Atasoy, A. F. (2017). Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened Capsicum annum and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot). *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 84, 842–850.
- Kubo, M. T., Siguemoto, É. S., Funcia, E. S., Augusto, P. E., Curet, S., Boillereaux, L., et al. (2020). Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: A critical review. *Current Opinion in Food Science*, 35(January), 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>
- Kumar, T. (2018). A review on ohmic heating technology: Principle, applications and scope. *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, 11(4). <https://doi.org/10.30954/0974-1712.08.2018.10>
- Kun, S., Rezessy-Szabó, J. M., Nguyen, Q. D., & Hoshcke, Á. (2008). Changes of microbial population and some components in carrot juice during fermentation with selected Bifidobacterium strains. *Process Biochemistry*, 43(8), 816–821. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.03.008>
- Lemmens, L., Tibäck, E., Svelander, C., Smout, C., Ahrné, L., Langton, M., et al. (2009). Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: Effect on quality related aspects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 522–529.
- Llorach, R., Espín de Gea, J. C., Tomás Barberán, F., & Ferreres, F. (2003). Aprovechamiento y gestión de subproductos de e industrialización de hortalizas. Posible uso como compuestos de interés para la salud. *Revista CTC Alimentación*, 16, 6–12. <http://hdl.handle.net/10261/18039>
- Loypmimai, P., Moongngarm, A., Chottanom, P., & Moontree, T. (2015). Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.009>
- Luo, W., Zhang, R., Wang, L., Guan, Z., Jia, Z., & Liao, X. (2008). Investigation on shelf life of carrot juice processed by pulse electric field. *International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 735–741.
- Mannozi, C., Rompoonpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., et al. (2019). Influence of pulsed electric field and ohmic heating pretreatments on enzyme and antioxidant activity of fruit and vegetable juices. *Foods*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/foods8070247>
- Marx, M., Stuparic, M., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Effects of thermal processing on trans-cis-isomerization of  $\beta$ -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*, 83(4), 609–617. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00255-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00255-3)
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). CR Press.
- Müller, W. A., Pasin, M. V. A., Sarkis, J. R., & Marczak, L. D. F. (2020). Effect of pasteurization on *Aspergillus fumigatus* in apple juice: Analysis of the thermal and electric effects. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108993>, 108993.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1–10.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., Butler, F., & Downey, G. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.09.008>
- Picouet, P. A., Sárraga, C., Cofán, S., Belletti, N., & Dolores Guàrdia, M. (2015). Effects of thermal and high-pressure treatments on the carotene content, microbiological safety and sensory properties of acidified and of non-acidified carrot juice. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 62(1), 920–926. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.027>
- Quitão-Teixeira, L. J., Aguiló-Aguayo, I., Ramos, A. M., & Martín-Belloso, O. (2008). Inactivation of oxidative enzymes by high-intensity pulsed electric field for retention of color in carrot juice. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 364–373. <https://doi.org/10.1007/s11947-007-0018-x>
- Quitão-Teixeira, L. J., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Mota-Ramos, A., Martín-Belloso, O., Quitão-Teixeira, L. J., et al. (2009). Comparative study on antioxidant properties of carrot juice stabilised by high-intensity pulsed electric fields or heat

- treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(15), 2636–2642. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3767>
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 42(June), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.015>
- Rossetti, L., Langman, L., Grigioni, G. M., Biolatto, A., Sancho, A. M., Comerón, E., et al. (2010). Antioxidant status and odour profile in milk from silage or lucerne-fed cows. *Australian Journal of Dairy Technology*, 65(1), 3–9.
- Samaranayake, C. P., & Sastry, S. K. (2018). In-situ activity of  $\alpha$ -amylase in the presence of controlled-frequency moderate electric fields. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 90, 448–454.
- Sensory, I. (2012). Design of ohmic heating processes. *Handbook of Food Process Design*, 1057–1077. <https://doi.org/10.1002/9781444398274.ch36>
- Shao, L., Tian, X., Yu, Q., Xu, L., Li, X., & Dai, R. (2019). Inactivation and recovery kinetics of *Escherichia coli* O157: H7 treated with ohmic heating in broth. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 110, 1–7.
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot-A review. *Journal of Food Science & Technology*, 49(1), 22–32. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7>
- Szczepańska, J., Barba, F. J., Skapska, S., & Marszałek, K. (2020). High pressure processing of carrot juice: Effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. *Food Chemistry*, 307, 125549. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125549>. July 2019.
- Terefe, N. S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: Effects of novel food processing technologies, part 1: High-pressure processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 24–63.
- Tumpanuvat, T., & Jittanit, W. (2012). The temperature prediction of some botanical beverages, concentrated juices and purees of orange and pineapple during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.05.044>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Sultana, T., Senan, A. M., Awad, F. N., et al. (2019). Exploring the potential of high-voltage electric field cold plasma (HVCP) using a dielectric barrier discharge (DBD) as a plasma source on the quality parameters of carrot juice. *Antibiotics*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8040235>
- USA-FDA. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: Ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science*, 65, 108. <https://www.fda.gov/files/food>.
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: A review. *Journal of Food Science & Technology*, 51(10), 2304–2317. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0710-3>
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033>
- Zareifard, M. R., Mondor, M., Villeneuve, S., & Grabowski, S. (2015). Ohmic heating: Principles and application in thermal food processing. In *Handbook of food processing* (pp. 407–433). CRC Press.
- Zhang, D., & Hamauzu, Y. (2004). Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 95–100.
- Zhang, Q., Tan, S., McKay, A., & Yan, G. (2005). Carrot browning on simulated market shelf and during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 16–20.



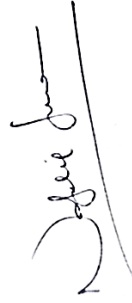


El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
certifica que


**Livia Negri**

ha presentando el Trabajo: Evaluación de parámetros de proceso y de calidad de jugo de zanahoria  
pasteurizado por calentamiento óhmico

en calidad de **Disertante en las V Jornadas de Actualización Técnica (JAT 2019)**  
organizado por la Comisión de Seminarios del Instituto Tecnología de Alimentos  
realizado en el Instituto Tecnología de Alimentos, CIA, CNIA, INTA Castelar  
**el día 29 de noviembre de 2019**  
Cantidad de horas: **16 hs**



**Dra. Natalia Szerman**  
Miembro de la Comisión de  
Seminarios y Capacitaciones  
Instituto Tecnología de Alimentos



**Dr. Sergio R. Vaudagna**  
Director  
Instituto Tecnología de Alimentos



## 5ª Jornadas de Actualización Técnica del Instituto Tecnología de Alimentos - JAT 2019

### Evaluación de parámetros de proceso y de calidad de jugo de zanahoria pasteurizado por calentamiento óhmico

Negri, Livia<sup>1</sup>; Pelypenko, Mariana<sup>1</sup>; Arias, Ricardo<sup>2</sup>; Denoya, Gabriela<sup>1</sup>, Tacca, Hernán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnología Alimentos - INTA, Hurlingham, BsAs, Argentina  
negri.livia@inta.gob.

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (LABCATYP).

El objetivo del presente trabajo fue comparar los parámetros cromáticos, sólidos solubles y las propiedades eléctricas del jugo de zanahoria fresco y tratado por calentamiento óhmico de dos variedades de zanahoria. Se elaboró jugo fresco de zanahoria variedad Nantesa (N) y variedad Chantenay (Ch), se formuló jugo con agregado de un 25% (p/p) de residuo de fibra (Ch 25F), se evaluó rendimiento y se midió el contenido de sólidos solubles. En el jugo fresco y tratado térmicamente (TT) se midieron los parámetros cromáticos L\*, a\*, b\*. El TT (80°C-7 min) se realizó con un equipo de calentamiento óhmico en batch de 2,5 l. El jugo fresco Ch tuvo mayor rendimiento que N, 57,4% y 34%, y menor contenido de azúcares, 9,11 y 10,67 °Brix, respectivamente. Se presentaron diferencias en todos los parámetros cromáticos, siendo el jugo Ch más oscuro (L\*: 45,85 vs 45,08) y tendiendo a tonalidades marrones (a\*: 20,85 vs 19,57) y el jugo N más claro y tendiendo a los amarillos (b\*: 38,69 vs 35,88). Durante el TT, la conductividad del jugo presentó un comportamiento lineal con el aumento de la temperatura, en todos los casos. La conductividad del jugo N a 80°C fue superior al de Ch (26,48 vs 20,26 mS/cm). Lo cual podría estar asociado al mayor contenido de sólidos solubles de N, que en su mayoría son fructuosa y glucosa, ambas moléculas polares. Para Ch, la conductividad fue más alta en el jugo (Ch) que en el jugo Ch25F (17,49 ± 0,045 mS/cm). Estos resultados se condicen con velocidades de calentamiento más altas para jugo N y menor tiempo de procesamiento (14,7 min) respecto a Ch (16,0 min) y Ch25F (17,5 min).

El jugo TT N difirió en los parámetros cromáticos a\* y b\* (20,4 y 38,8) respecto a Ch (23,21 y 35,46), indicando una coloración más oscura y marrón en Ch y más amarilla en N.

El parámetro a\* presentó diferencias entre el jugo TT y fresco, para ambas variedades (Ch: 19,6 – 20,4 y N: 20,85 – 23,21), indicando coloraciones marrones en los jugos TT.

Los resultados indicaron que es factible aplicar un tratamiento de pasteurización (80°C – 7 min) por medio de calentamiento óhmico con el equipo utilizado. Las dos variedades evaluadas presentaron diferencias en el rendimiento de jugo, en los parámetros cromáticos y en el contenido de sólidos solubles, influyendo este último en la velocidad de calentamiento.

### Evaluation of process parameters and quality of carrot juice pasteurized by ohmic heating

The objective of this work was to compare the chromatic parameters, soluble solids and the electrical properties of fresh carrot juice and treated by ohmic heating of two varieties of carrot. Fresh carrot juice Nantesa (N) and Chantenay variety (Ch) were produced, juice with aggregate of 25% (w/w) of fiber residue (Ch 25F) was formulated, performance

## 5ª Jornadas de Actualización Técnica del Instituto Tecnología de Alimentos - JAT 2019

assessed and the soluble solids content measured. In fresh and heat-treated juice (TT) the chromatic parameters  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  were measured. The TT (80°C -7 min) was applied with a batched ohmic heating equipment of 2.5 l. Fresh Ch juice yielded higher than N, 57.4% and 34%, and lower sugars, 9.11 and 10.67° Brix, respectively. Differences were presented in all chromatic parameters, being the darkest Ch juice ( $L^*$ : 45.85 vs 45.08) and tending to brown tones ( $a^*$ : 20.85 vs 19.57) and the lighter N juice and tending to the yellow ( $b^*$ : 38,69 vs 35,88). During TT, the conductivity of the juice exhibited linear behaviour with the increase in temperature, in all cases. The conductivity of juice N at 80°C was higher than that of Ch (26.48 vs 20.26 mS/cm). This could be associated with the higher content of soluble N solids, which are mostly fructose and glucose, both polar molecules. For Ch, conductivity was higher in juice (Ch) than in Ch25F juice (17.49 x 0.045 mS/cm). These results are consistent with higher heating speeds for N juice, and shorter processing time (14.7 min) compared to Ch (16.0 min) and Ch25F (17.5 min). TT N juice differed in chromatic parameters  $a^*$  and  $b^*$  (20.4 and 38.8) relative to Ch (23.21 and 35.46), indicating a darker and browner coloration in Ch and more yellow in N. Parameter  $a^*$  showed differences between TT and fresh juice, for both varieties (Ch: 19.6 – 20.4 y N: 20.85 – 23.21), indicating brown colours in TT juices. The results indicated that it is feasible to apply a pasteurization treatment (80oC – 7 min) by means of ohmic heating with the equipment used. The two varieties evaluated had differences in juice yield, in chromatic parameters and the content of soluble solids, influencing the latter in the heating speed

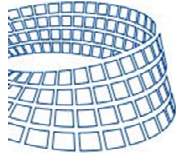




**Documento disponible en:**

[http://www.innovar.mincyt.gob.ar/catalogos/catalogo\\_innovar\\_2019.pdf](http://www.innovar.mincyt.gob.ar/catalogos/catalogo_innovar_2019.pdf)





# INNOVAR 2019

CONCURSO NACIONAL DE INNOVACIONES  
DECIMOQUINTA EDICIÓN

**2918**  
PROYECTOS REGISTRADOS

**1017**  
PROYECTOS EVALUADOS

**592**  
EMPRENDEDORES E INVENTORES

**189**  
INVESTIGADORES

**102**  
UNIVERSITARIOS Y TERCEROS

**73**  
EMPRESAS Y TERCER SECTOR

**61**  
SECUNDARIOS

## JURADO



**CARLOS ARCUSIN**  
INVENTOR

Posee amplia y destacada trayectoria como inventor y empresario. Es miembro fundador de la Asociación Argentina de Inventores. Posee numerosas patentes de invención tanto en la Argentina como en los principales países del mundo. Obtuvo los mayores premios nacionales e internacionales en mérito a la excelencia de sus inventos y su éxito en el mercado. Entre los premios más importantes que ha recibido se destacan la medalla de oro en la Exposición Internacional de Inventiones de Ginebra (Suiza), por la jeringa autoescartable y por el capuchón de seguridad para agujas hipodérmicas. Además recibió la medalla de oro de la OMPI al mejor inventor.



**GABRIEL BILMES**  
DOCTOR EN FÍSICA

Director del Laboratorio de Ablación, Limpieza y Restauración con Láser del Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET). Es investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires y profesor de la Facultad de Ingeniería (UNLPI). Es autor de investigaciones y patentes en temas de fotónica y aplicaciones del láser. Obtuvo premios por investigación aplicada en INNOVAR 2007. Integra el Comité Territorial Argentino de la International Commission for Optics (ICO), como representante ante ese organismo.

## JURADO



**SEBASTIÁN BRIE**  
INGENIERO ELECTRÓNICO

Subsecretario de Transferencia Tecnológica en la Facultad Regional Buenos Aires (UTN). Certificado como administrador de base de datos Oracle y como project manager por el Project Management Institute. Profesor titular de la cátedra de Innovación y Emprendedorismo en la carrera de Ingeniería Industrial (FRBA-UTN). Sus últimos 15 años de carrera los dedicó a la innovación tecnológica. Fue secretario de Ciencia y Tecnología de la FRBA-UTN, gerente de proyectos en la empresa Siemens S.A., gerente de Tecnología Postal en el Correo Argentino, director de Tecnología de la Fundación Biro y consultor independiente de temas relacionados con la innovación.



**MOISÉS BURACHIK**  
DOCTOR EN QUÍMICA

Director de Asuntos Regulatorios del Instituto de Agrobiotecnología Rosario S.A. Dirigió la oficina de Biotecnología de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Allí coordinó evaluaciones de riesgo ambiental, redactó las normativas y colaboró con el diseño de las políticas relacionadas con la seguridad de los organismos genéticamente modificados para uso agropecuario. Recibió la medalla de oro de la REDBIO (FAO). Es miembro honorario Asesor de la Comisión Directiva de REDBIO Argentina y socio activo honorífico de Instituto Internacional de Ciencias de la Vida Argentina.



**ROXANA GARBARINI**  
DISEÑADORA INDUSTRIAL

Directora del Centro Internacional de Diseño del Conocimiento Tomás Maldonado. Es investigadora y docente en la FADU (UBA). Dirige proyectos de fortalecimiento de núcleos productivos asociativos enfocados a la producción tecnológica para la agricultura familiar y a la producción Pyme. En INNOVAR 2009, recibió el segundo premio en la categoría Innovación en Tecnologías Sociales por proyectos de diseño para la recuperación de residuos sólidos urbanos, y de agregado de valor en cadenas locales de producción. Dictó conferencias en la Argentina y el exterior. Fue jurado del Programa BEC.AR y es miembro de comisiones evaluadoras nacionales e internacionales.



**HUGO KOGAN**  
DISEÑADOR INDUSTRIAL

Socio y director de la Consultora FocusBrand. Es el coordinador académico de la carrera de Diseño Industrial (FADU-UBA), donde también es profesor honorario. Es miembro honorario de la Asociación de Diseñadores de Argentina, y fundador y director de la Asociación de Diseñadores Industriales de Buenos Aires (ADIBA). Es consultor y asesora instituciones y programas nacionales. Diseñó productos que fueron producidos a escala industrial y proyectó espacios de arquitectura comercial. Expuso en museos de la Argentina, Francia, Italia, Finlandia y Brasil. Recibió el Premio Konex al Diseño 1992, 2002 y 2012.

## JURADO

## JURADO



**CARLOS JOSÉ LERCH**  
INGENIERO MECÁNICO

Especialista en metalurgia. Fue profesor de Gestión Tecnológica en la Maestría en Política y Gestión de la Ciencia y Tecnología (UBA) y de Emprendedorismo e Innovación, en la carrera de Ingeniería Industrial (UNLaM). Es consultor de organismos y empresas en la gestión de proyectos destacados por su contenido innovador. Fue investigador del Departamento de Metalurgia de la CNEA. Fue director de empresas propias y estatales de la Subsecretaría de Industria de la Ciudad de Buenos Aires.



**ARIEL LUTENBERG**  
DOCTOR EN INGENIERÍA

Profesor adjunto en la Facultad de Ingeniería (UBA), investigador adjunto del CONICET y coordinador general del proyecto Computadora Industrial Abierta Argentina. Dirige el laboratorio y la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos (CESE/FI-UBA). Preside la Asociación Civil para la Investigación, Promoción y Desarrollo de los Sistemas Electrónicos Embebidos e impulsó la creación de la Red Universitaria de Sistemas Embebidos. Realizó trabajos de transferencia para importantes empresas e instituciones argentinas e internacionales, como INVAP, ARSAT, CONAE, FAN, ARM Ltd., NXP Semiconductors y Sur Emprendimientos Electrónicos. Ganador del Premio Gran INNOVAR 2018.



**ALEJANDRO MENTABERRY**  
DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS

Coordinador Ejecutivo del Gabinete Científico y Tecnológico de la Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Bajo el régimen de licencia es investigador del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular, dirige el Laboratorio de Agrobiotecnología (FCEN-UBA) y es profesor con dedicación exclusiva en la misma facultad. Posee amplia trayectoria como miembro de comités científicos. Recibió importantes galardones como el Premio a la Innovación en Biotecnología "Luis Federico Leloir", el Premio "King Badouin", el premio "Bernardo Houssay" al desarrollo de la Biología Molecular en Argentina y el Premio al Líder Tecnológico en Biotecnología Vegetal.



**SILVIA PASSALACQUA**  
INGENIERA AGRÓNOMA

Magíster en Procesos de Integración Regional, con orientación en Economía de la Integración (FCE-UBA). Es profesora adjunta de la cátedra de Terapéutica Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Es coordinadora de la Comisión Nacional Asesora sobre Plagas Resistentes (SENASA), e integrante de la Comisión Nacional Asesora para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). De 2009 a 2018, fue coordinadora de Bioseguridad Agroambiental de la Dirección Nacional de Protección Vegetal (SENASA). Y, como representante de esta institución, fue miembro titular de la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca), de 1991 a 2018. Continúa participando como invitada experta.

## JURADO



# INVESTIGADORES

PROFESIONALES QUE LLEVEN A CABO O PARTICIPEN EN UNA INVESTIGACIÓN EN ÁMBITO ACADÉMICO-DOCENTE, COMERCIAL, INDUSTRIAL, GUBERNAMENTAL, EN INSTITUCIONES PRIVADAS, CON O SIN FINES DE LUCRO, O DE MANERA INDEPENDIENTE.



**2019-0001**

**RUPapp**

Aplicación para dispositivos móviles desarrollada para el estudio del arte rupestre y la exploración de sitios arqueológicos patagónicos. De acuerdo al perfil del usuario, puede utilizarse profesional o recreativamente.

▲ Raúl Eduardo González Duber: [raulgdubor@gmail.com](mailto:raulgdubor@gmail.com)  
 📍 Centro Nacional Patagónico (CCT-CONICET)  
 📍 Chubut



**2019-0003**

**GlucoAr - Glucómetro no invasivo**

Permite medir glucemia de forma no invasiva, sin necesidad de punzar el dedo. No necesita reactivos para funcionar y la información medida puede ser enviada a Internet, lo que permite generar alarmas para contactos del usuario.

▲ Alejandro José Uriz: [ajuriz@mdp.edu.ar](mailto:ajuriz@mdp.edu.ar)  
 📍 Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica (UNMAP-CONICET)  
 📍 Buenos Aires



**2019-0025**

**RemoteLab UdeMM - Laboratorio remoto de física**

Red de laboratorios colaborativos de acceso remoto vía web, o web mobile, donde estudiantes del nivel medio o superior podrán realizar sus prácticas de laboratorio de física en forma no presencial desde su smartphone.

▲ Diego Christian Caputo: [dccaputo@hotmail.com](mailto:dccaputo@hotmail.com)  
 📍 Facultad de Ingeniería (UdeMM)  
 📍 Ciudad Autónoma de Buenos Aires



**2019-0104**

**Tratamiento de revalorización de desechos de soja**

Proyecto que revaloriza la cascavilla de soja mediante la extracción, por métodos simples y fácilmente escalables, de moléculas de interés biotecnológico contenidas en ella. Además, disminuye la cantidad de residuos y la contaminación ambiental.

▲ Nadia Woiwovich Valetti: [woiwovichvaletti@probya-conicet.gov.ar](mailto:woiwovichvaletti@probya-conicet.gov.ar)  
 📍 Instituto de Procesos Biotecnológicos y Químicos (CONICET-UNR)  
 📍 Santa Fe

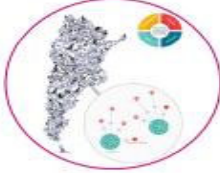
**2019-0267****E-BioRed - redes nanoestructuradas para bioconducción**

Desarrollo de membranas nanoestructuradas conductoras de la electricidad, fabricadas con polímeros biodegradables y biocompatibles con diferentes nanoadiciones conductoras para estimular el desarrollo de tejidos y cultivos celulares.

👤 Leandro Nicolás Monsalve: [monsalve@int.gov.ar](mailto:monsalve@int.gov.ar)

🏠 INTI - CONICET

📍 Buenos Aires

**2019-0309****Accesibilidad y usos de la bicicleta en zonas rurales**

Proyecto de comunicación interzonal en zonas rurales de la Argentina a través de la obtención, uso y mantenimiento de bicicletas en desuso o abandono. Las escuelas rurales articulan como núcleo de conexión.

👤 Guillermo Napolitano: [guillenapolitano@gmail.com](mailto:guillenapolitano@gmail.com)

🏠 Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (UBA)

📍 Ciudad Autónoma de Buenos Aires

**2019-0329****Fideos funcionales con harina de algas patagónicas**

Producto realizado a partir de *Porphyra columbina*, alga comestible del litoral marítimo argentino. Entre las algas comestibles es una de las de mayor aporte nutricional por su elevado contenido de proteínas, fibras, minerales y compuestos bioactivos.

👤 María Angélica Fajardo: [bioq\\_mangelica@gmail.com](mailto:bioq_mangelica@gmail.com)

🏠 Instituto de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud (UNPSJB)

📍 Chubut

**2019-0331****Biomateriales para producción de caucho sintético**

Utilización de aceite y cáscara de soja en reemplazo de materias primas derivadas del petróleo para la producción de caucho sintético y derivados, principalmente neumáticos. Se busca disminuir el impacto medioambiental de esta industria.

👤 Pablo Ernesto Salvadori: [psalvatori@outlook.com.ar](mailto:psalvatori@outlook.com.ar)

🏠 Instituto de Procesos Biotecnológicos y Químicos (CONICET)

📍 Santa Fe

82 INNOVAR 2019

**2019-0354****Jugo de zanahorias de descarte pasteurizado**

Producto que brinda una solución integral para el descarte de zanahorias, que redunde en beneficios para la nutrición humana, preservando las características naturales de la materia prima. De bajo costo y alto valor agregado.

👤 Livia Negri: [lnnegri@yahoo.com.ar](mailto:lnnegri@yahoo.com.ar)

🏠 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

📍 Buenos Aires

**2019-0402****Suero.floc**

Desarrollo económico y accesible destinado a PYMEs lácteas que, debido a su capacidad de procesamiento de leche, no pueden recuperar las proteínas de suero. El proceso permite agregarle valor al suero lácteo, subproducto de la elaboración quesera.

👤 Valeria Boeris: [valeriaboeris@hotmail.com](mailto:valeriaboeris@hotmail.com)

🏠 Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas (UNR-CONICET)

📍 Santa Fe

**2019-0410****Tecnología abre fácil en latas de conservas**

Implementación de la tecnología abre fácil y optimización del control de cierre de latas de conservas alimenticias utilizando herramientas de control artificial con el objetivo de minimizar mermas de producto y mejorar la productividad de la línea.

👤 María Carolina Reid: [supesopa@unq.edu.ar](mailto:supesopa@unq.edu.ar)

🏠 Universidad Nacional de Quilmes

📍 Buenos Aires

**2019-0413****Película biodegradable para alimentos**

Diseño y desarrollo de una película biodegradable con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Brinda a los alimentos estabilidad durante todo su período de vida útil y reemplaza materiales tóxicos o no degradables.

👤 Adriana Ana Lia Ordóñez: [anadriordonez@yahoo.com.ar](mailto:anadriordonez@yahoo.com.ar)

🏠 Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia (UNT)

📍 Tucumán





Tesis doctoral

Elaboración de zumos pasteurizados mediante  
tratamiento térmico convencional y calentamiento  
óhmico a partir de zanahoria de descartes

Livia María Negri Rodríguez

2021

