



**UTN.BA** FACULTAD  
REGIONAL  
BUENOS AIRES

TESIS DE MAESTRÍA  
**TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

**“Formulación de un snack  
a partir de rodajas de remolacha  
de bajo contenido lipídico  
fortificado con hierro”**

**Autora:** Lic. Jenny R. Vera Caspary

**Directora de Tesis:** Dra. Patricia Della Rocca

Buenos Aires – junio 2023

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*

*So ein Tag, so wunderschön wie Heute,  
So ein Tag, der dürfte nie vergehen (...)  
Und wer weiß, wann wir uns wiedersehen.*

*Ernst Neger*

*A mi madre...*

## **AGRADECIMIENTOS:**

Para la realización de esta tesis me he basado en el conocimiento profesional y apoyo de muchas personas, a las que de corazón hago llegar mi agradecimiento.

A la Dra. Patricia Della Rocca por dirigir mi tesis, por su confianza, su profesionalismo, el tiempo compartido y sus acertados consejos.

Al Ing. Mg. Maximiliano Argumedo por acompañarme con su amabilidad y asesoramiento continuo en el uso del laboratorio de la facultad.

A la Ing. Vanesa Zerpa por su contribución en las determinaciones de lípidos.

A la Dra. Mercedes Pianetti (INTI) por facilitarme el uso del equipamiento para las microfotografías y enriquecer el trabajo con sus aportes.

A la Dra. Gabriela Inés de Noya (INTA - Castelar) por brindar su amplia experiencia en materia de reología y el uso del equipamiento de su laboratorio.

Al Dr. Gabriel Sozzi por toda la información bibliográfica proporcionada.

Todos ellos resolvieron con diligencia las dudas e inconvenientes surgidos en el transcurrir de la realización de mi tesis.

Agradezco también a la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado y al Departamento de Ingeniería Química de la FRBA de la Universidad Tecnológica Nacional por la infraestructura y equipamientos necesarios que hicieron posible que esta tesis pueda llevarse a cabo.

Un especial agradecimiento a mi padre por ser mi corrector y lector más crítico y por todo su apoyo durante mis estudios. A mis hijas Juana, Micaela y Martina, porque no fueron tiempos fáciles y tuvimos que cultivar juntas la paciencia. Gracias a Yadi por decretar los miércoles de tesis, por sus observaciones, su acompañamiento amoroso y empuje constante para que no afloje. Y por último a todas y todos los que colaboraron y me alentaron durante todo este tiempo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABLAS .....	11
LISTA DE ABREVIATURAS .....	12
RESUMEN .....	15
ABSTRACT .....	16
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. Consumo de hortalizas en Argentina .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.1. Producción nacional.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Remolacha.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.1. Generalidades .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2. Variedades.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.3. Cultivo .....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.4. Cosecha y poscosecha.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.5. Composición Química .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3. Hierro (Fe) .....</b>	<b>30</b>
<b>1.3.1. Absorción de Fe y anemia.....</b>	<b>32</b>
<b>1.4. Enfermedades no transmisibles (ENT).....</b>	<b>38</b>
<b>1.4.1. Lípidos y dislipemias .....</b>	<b>41</b>
<b>1.4.1.1. Lípidos en alimentos.....</b>	<b>42</b>
<b>1.4.2. Sodio e hipertensión .....</b>	<b>43</b>
<b>1.4.2.1. Sodio en alimentos.....</b>	<b>45</b>
<b>1.5. Tecnologías de conservación convencionales y emergentes.....</b>	<b>47</b>
<b>1.5.1. Deshidratación osmótica (DO) .....</b>	<b>49</b>
<b>1.5.2. Fritura .....</b>	<b>51</b>
<b>1.5.2.1. Deterioro de aceites y formación de compuestos polares.....</b>	<b>54</b>
<b>1.5.2.2. Factores que afectan la absorción de aceite .....</b>	<b>55</b>
<b>1.5.2.3. Películas y recubrimientos comestibles .....</b>	<b>57</b>
<b>1.5.2.3.1. Carboximetilcelulosa (CMC).....</b>	<b>58</b>
<b>1.5.3. Secado combinado .....</b>	<b>60</b>
<b>1.5.3.1. Microondas y secado convectivo .....</b>	<b>60</b>
<b>1.6. Textura .....</b>	<b>64</b>
<b>1.7. Snack saludable .....</b>	<b>65</b>

<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	67
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	69
<b>3.1. Hipótesis</b> .....	69
<b>3.2. Hipótesis</b> .....	69
<b>3.3. Hipótesis</b> .....	69
<b>4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS</b> .....	71
<b>4.1. Objetivo General:</b> .....	71
<b>4.2. Objetivos Específicos:</b> .....	71
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	73
<b>5. 1. Materiales</b> .....	73
<b>5.1.1. Materia Prima</b> .....	73
<b>5. 2. Métodos</b> .....	73
<b>5.2.1. Preparación de las muestras</b> .....	73
<b>5.2.2. Deshidratación osmótica</b> .....	74
<b>5.2.2.1. Búsqueda de las concentraciones adecuadas en la solución hipertónica</b> .....	74
<b>5.2.2.2. Ensayos de DO / Impregnación</b> .....	75
<b>5.2.2.3. Determinación de humedad</b> .....	76
<b>5.2.3. Fritura</b> .....	77
<b>5.2.3.1. Búsqueda de temperatura y tiempo de fritura</b> .....	77
<b>5.2.3.2. Recubrimiento con CMC</b> .....	78
<b>5.2.3.3. Determinación de lípidos por Soxhlet</b> .....	78
<b>5.2.3.4. Condiciones finales de trabajo en la fritura</b> .....	80
<b>5.2.4. Secado combinado (microondas y convección con aire caliente)</b> .....	80
<b>5.2.4.1. Búsqueda de potencia y tiempo en el secado combinado</b> .....	80
<b>5.2.5. Modelos matemáticos</b> .....	81
<b>5.2.5.1. Modelado del proceso de DO</b> .....	81
<b>5.2.5.2. Modelado del proceso de fritura y secado combinado</b> .....	83
<b>5.2.5.3. Bondad del ajuste de los modelos</b> .....	84
<b>5.2.6. Microscopía Electrónica de Barrido (<i>Scanning Electron Microscopy</i> - SEM)</b> .....	84
<b>5.2.7. Determinación de concentraciones de Fe y Na del snack</b> .....	85
<b>5.2.8. Caracterización de Textura</b> .....	85
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	89
<b>6.1. Proceso de deshidratación osmótica</b> .....	89
<b>6.1.1. Curvas de humedad en el proceso de DO. Ajustes de modelos</b> .....	90
<b>6.1.2. Estimación del coeficiente de difusividad del agua</b> .....	95

<b>6.2. Proceso de fritura</b> .....	96
<b>6.2.1. Parámetros de temperatura y tiempo</b> .....	96
<b>6.2.2. Resultado de compuestos polares totales en el aceite</b> .....	98
<b>6.2.3. Contenido de lípidos en el proceso de fritura con y sin DO / CMC</b> .....	99
<b>6.2.4. Curvas de humedad en el proceso de fritura</b> .....	102
<b>6.2.5. Estimación del coeficiente de difusividad del agua</b> .....	104
<b>6.3. Proceso de secado combinado final</b> .....	105
<b>6.3.1. Curvas de humedad en el proceso de secado combinado</b> .....	105
<b>6.3.2. Estimación del coeficiente de difusividad del agua</b> .....	107
<b>6.4. Resultados de SEM y EDS</b> .....	108
<b>6.4.1. Microscopía electrónica de barrido</b> .....	108
<b>6.4.2. Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X</b> .....	111
<b>6.5. Resultados de ensayo de textura</b> .....	115
<b>6.5.1. Textura del producto final sometido a diferentes tipos de secado</b> .....	115
<b>6.6. Condiciones finales de operaciones y diagrama de flujo</b> .....	117
<b>6.7. Composición del snack de remolacha (SR)</b> .....	119
<b>6.8. Comparación de la formulación obtenida con snacks comerciales</b> .....	120
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	125
<b>8. CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO FUTURO</b> .....	129
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	131
<b>10. PUBLICACIONES Y PRESENTACIONES A LAS QUE DIO LUGAR LA TESIS</b> .....	147
<b>11. ANEXOS</b> .....	149
<b>11.1. CURVAS DE HUMEDAD</b> .....	149
<b>11.2. DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS POR SOXHLET</b> .....	151
<b>11.3. TEXTURA POR TEXTURÓMETRO TA-XT CON CELDA KRAMER</b> .....	153
<b>11.4. CALCULADORA DE SELLOS DE PRODUCTOS NSBR, RBC Y NUESTRA FORMULACIÓN</b> .....	155

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Frecuencia de consumo de hortalizas y frutas frescas en poblaciones de 2 a más años	19
<b>Figura 2.</b> Superficie total cultivada por grupo de cultivo del total del país (período 2017-2018)	20
<b>Figura 3.</b> Superficie cultivada en la explotación de hortalizas por provincia por hectárea (período 2017-2018)	22
<b>Figura 4.</b> Remolacha hortícola	23
<b>Figura 5.</b> Área de producción de cultivo de remolacha de mesa	25
<b>Figura 6.</b> Estructura de las betalaínas	29
<b>Figura 7.</b> Distribución del hierro en el organismo	31
<b>Figura 8.</b> Estructura del hemo	34
<b>Figura 9.</b> Prevalencia de anemia en niñas y niños de 6 meses a 6 años	37
<b>Figura 10.</b> Estructura de los lípidos comunes	41
<b>Figura 11.</b> Representación de la transferencia de materia durante la DO	50
<b>Figura 12.</b> Esquema de la transferencia de masa y calor durante el proceso de fritura por inmersión	53
<b>Figura 13.</b> Fritura de un bastón de papa en aceite a 180 °C	54
<b>Figura 14.</b> Esquema de degradación del aceite durante una fritura	55
<b>Figura 15.</b> Factores que influyen en la absorción de aceite en el producto	57
<b>Figura 16.</b> Clasificación de películas y recubrimientos comestibles	58
<b>Figura 17.</b> Estructura del CMC	59
<b>Figura 18.</b> Espectro electromagnético	61
<b>Figura 19.</b> Mecanismos de absorción de energía de microondas	62
<b>Figura 20.</b> Poder de absorción de las microondas en función del factor de pérdida dieléctrica	63
<b>Figura 21.</b> Tendencia del mercado en snacks	66
<b>Figura 22.</b> Corte de láminas con mandolina (a) y pesada de la muestra (b)	74
<b>Figura 23.</b> Agitador orbital con sistema (remolacha/solución) en su interior	75



<b>Figura 24.</b> Equipos utilizados para la fritura (a) y medición de TPM (b)	77
<b>Figura 25.</b> Tratamiento previo a la fritura por inmersión	78
<b>Figura 26.</b> Método de Soxhlet para extracción de lípidos	79
<b>Figura 27.</b> Secado combinado	80
<b>Figura 28.</b> Muestras para SEM	85
<b>Figura 29.</b> Texturómetro TA-XT plus	86
<b>Figura 30.</b> Curva típica de las mediciones de compresión uniaxial	87
<b>Figura 31.</b> Humedad en base húmeda en función del tiempo de DO de las rodajas de remolacha	91
<b>Figura 32.</b> Humedad en base seca en función del tiempo de DO de las rodajas de remolachas	91
<b>Figura 33.</b> Ajuste del modelo de Page a los datos experimentales de Hr	93
<b>Figura 34.</b> Ajuste del modelo de Henderson - Pabis a los datos experimentales de Hr	94
<b>Figura 35.</b> Ajuste del modelo de Peleg a los datos experimentales de Hr	94
<b>Figura 36.</b> Ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales de Hr	95
<b>Figura 37.</b> Fritura a diferentes temperaturas y tiempos	97
<b>Figura 38.</b> Porcentaje de aceite absorbido de las rodajas de remolacha con diferentes pretratamientos	101
<b>Figura 39.</b> Humedad en base húmeda en función del tiempo en el proceso de fritura	103
<b>Figura 40.</b> Humedad en base seca en función del tiempo en el proceso de fritura	103
<b>Figura 41.</b> Ajuste de los datos experimentales de humedad en las rodajas de remolacha durante el proceso de fritura a 180 °C con el modelo de Crank	104
<b>Figura 42.</b> Humedad en base húmeda en función del tiempo en el proceso de secado combinado	106
<b>Figura 43.</b> Humedad en base seca en función del tiempo en el proceso de secado combinado	106
<b>Figura 44.</b> Ajuste de los datos experimentales de humedad durante el proceso de secado combinado con el modelo de Crank	107
<b>Figura 45.</b> Microscopía electrónica de barrido de remolacha fresca	108
<b>Figura 46.</b> Microscopía electrónica de barrido de remolacha con 1 hora de DO	109
<b>Figura 47.</b> Microscopía electrónica de barrido de remolacha con 6 horas de DO	110

<b>Figura 48.</b> Microscopía electrónica de barrido de remolacha posterior a DO, fritura y secado combinado	111
<b>Figura 49.</b> Composición obtenida por SEM-EDS. Muestras de remolacha lejos de la superficie (LS) posterior a DO	112
<b>Figura 50.</b> Composición obtenida por SEM-EDS. Muestras de remolacha con DO, fritura y secado combinado en microondas	113
<b>Figura 51.</b> Dureza del producto final sometido a dos secados diferentes	116
<b>Figura 53.</b> Diagrama de flujo de la obtención de snack de remolacha	118
<b>Figura 54.</b> Contenido de Sodio en snacks	122
<b>Figura 55.</b> Contenido de materia grasa en snacks	122

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Condiciones de almacenamiento en poscosecha de la remolacha	27
<b>Tabla 2.</b> Composición química de la remolacha	28
<b>Tabla 3.</b> Inhibidores y facilitadores de la absorción de Fe no hemínico	33
<b>Tabla 4.</b> IDR (mg/día) de hierro	35
<b>Tabla 5.</b> Valores normales de Hb y hematocrito durante la infancia y adolescencia	36
<b>Tabla 6.</b> Contenido aproximado de sodio en algunos alimentos	46
<b>Tabla 7.</b> Parámetros del texturómetro	87
<b>Tabla 8.</b> Condiciones finales del proceso de DO / I de láminas de remolacha	89
<b>Tabla 9.</b> Ecuaciones de los modelos y sus respectivos parámetros	92
<b>Tabla 10.</b> Valores de componentes polares totales para diferentes temperaturas de Fritura	99
<b>Tabla 11.</b> Contenido de lípidos en diferentes pretratamientos durante fritura profunda a 180 °C durante 3 minutos	100
<b>Tabla 12.</b> Valores de dureza y cohesividad	116
<b>Tabla 13.</b> Composición final del snack de remolacha	119
<b>Tabla 14.</b> Contenido de grasas totales y sodio en snacks comerciales	121

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ADH: Anemia por deficiencia de hierro

AG: Ácidos grasos

AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados

AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados

AGS: Ácidos grasos saturados

AGT: Ácidos grasos trans

CAA: Código Alimentario Argentino

CMC: Carboximetilcelulosa

D<sub>ew</sub>: Coeficiente de difusividad

DMT1: Transportador de metales divalente

DO: Deshidratación osmótica

EDS: Energy dispersive spectroscopy

ENFR: Encuesta Nacional de factores de riesgo

ENNyS: Encuesta nacional de nutrición y salud

ENT: Enfermedades no transmisibles

FAO: Food and Agriculture Organization

FD: Fibra dietaria

Fe: Hierro

FDA: Food and Drug Administration

FPN: Ferroportina

GAPA: Guías alimentarias para la población argentina

GR: Glóbulos rojos

Hb: Hemoglobina

HDL: High density lipoprotein (Lipoproteína de alta densidad)

HTA: Hipertensión arterial

I: Impregnación

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IDR: Ingesta diaria recomendada

LDL: Low density lipoprotein (Lipoproteína de baja densidad)

LEC: Líquido extracelular

LIC: Líquido intracelular

MCBA: Mercado central de Buenos Aires

MDS: Ministerio de Desarrollo Social

MSAL: Ministerio de Salud

Na: Sodio

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

OPS: Organización Panamericana de Salud

PA: Presión arterial

PC: Películas comestibles

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

RC: Recubrimientos comestibles

RMSE: Error cuadrático medio

ROS: Especies reactivas del oxígeno

SEM: Scanning Electron Microscopy

SG: Sólidos solubles

SINAVIMO: Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas

SO: solución osmótica

SRE: Sistema reticuloendotelial

TAG: Triacilglicéridos

TF: Transferrina

TPA: Análisis de perfil de textura

TPM: Compuestos polares totales

TR: Tasa respiratoria

VD: Valor diario

VR: Reducción de volumen

W: Watts

WL: pérdida de agua

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*

## RESUMEN

Con la intención de contribuir a la ampliación de la oferta de productos de tipo refrigerio con un perfil más saludable que los snacks tradicionales actualmente disponibles en el mercado, se formuló un snack frito de remolacha fortificado con hierro (Fe), con un contenido de lípidos y sodio menor a los comercializados. A partir de varios ensayos realizados en las diferentes etapas del proceso, las condiciones establecidas para alcanzar un snack con las características mencionadas anteriormente fueron: deshidratación osmótica e impregnación con Fe (DO/I) durante 30 minutos, recubrimiento de las rodajas de remolacha con carboximetilcelulosa (CMC) por inmersión, fritura durante 3 minutos a 180 °C y secado combinado (microondas más convección por aire caliente) por 5 min.

Los procesos de DO y fritura se modelaron con algunos modelos de la literatura y se determinaron los coeficientes de difusividad efectiva del agua al aplicar el modelo de Crank para cada uno de ellos.

La formulación obtenida fue comparada desde el punto de vista nutricional con snacks comerciales. El 90 % de los snacks del mercado analizados superan los valores de sodio comparado con el formulado, el cual además presentó un 55 % menos de grasas totales que el promedio de los relevados. El snack contiene un 22 % del valor diario de hierro por porción (25 g).

### *Palabras claves:*

Snack de remolacha, remolachas fortificadas con hierro, deshidratación osmótica, fritura y secado combinado, recubrimiento con CMC.

## **ABSTRACT**

In an effort to contributing to expand the offer of snack-type products with a healthier profile than conventional snacks available on the market, an Iron (Fe) fortified fried beet snack with lower lipid and sodium content than the marketed was formulated. From several tests carried out in the different stages of the process, the conditions established to achieve a snack with the mentioned characteristics were: osmotic dehydration and impregnation with Fe (DO/I), coating of beetroot slices with carboxymethylcellulose (CMC) by immersion to reduce oil absorption, deep-frying for 3 minutes at 180 °C and combined drying (microwave plus hot air convection) for 5 min.

The OD and frying processes were designed based on models from the literature, and the effective diffusion coefficients of water were determined by applying the Crank model for each of them.

The formulation obtained was compared with commercial snacks from the nutritional point of view. 90 % of the marketed snacks analyzed exceeded the sodium values when compared to the formulation, and also contained 55 % less total fat than the average of the surveyed snacks. The snacks contain 22 % of the daily iron value per serving (25 g).

### *Keywords*

Beet snack, iron fortified beets, osmotic dehydration, combination of frying and drying, CMC coating.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los snacks son productos ultraprocesados entre los que se incluyen las papas fritas en paquete y muchos otros tipos de productos grasos, golosinas, refrigerios o bocadillos procesados dulces o salados. Según la clasificación NOVA son poco saludables, debido a que aportan grandes cantidades de nutrientes considerados críticos para la aparición de enfermedades no transmisibles (ENT) como sobrepeso, obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes entre otras (Organización Panamericana de la Salud, 2015).

Los snacks fritos son muy consumidos por la población en general debido a sus características organolépticas agradables, a pesar de no ser recomendables en general por su alto contenido calórico, lipídico y de sodio. Según Nielsen (como se citó en Arias & Enea Spilimbergo, 2020) su consumo reemplaza alguna de las comidas principales y se lo destaca como un comportamiento no planificado que sacia el hambre entre comidas o que es consumido por antojo.

En el mercado local los encontramos mayoritariamente a base de papa, aunque existen de otros vegetales como batata y mandioca. En la segunda encuesta nacional de nutrición y salud realizada en el período 2018-2019, el 15,1 % de la población refirió haber consumido productos de copetín (papas fritas, palitos de maíz, etc.) dos veces por semana o más. Se observó mayor consumo en niños y niñas de 2 a 12 años donde se triplica el valor comparado con el consumo en adultos. Este peor patrón alimentario podría obedecer a un marketing dirigido como también a entornos escolares obesogénicos (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a).

A lo largo de la historia de la humanidad los alimentos han sido procesados. El procesamiento puede definirse como el conjunto de métodos necesarios para obtener alimentos con atributos sensoriales deseables, o preservarlos para el consumo posterior mediante la prolongación de su vida útil. El hecho de que los alimentos hayan sido procesados, no supone necesariamente que sean más o menos saludables. La aplicación de diferentes métodos de transformación resulta indispensable para el cumplimiento de criterios microbiológicos y nutricionales (Organización Panamericana de la Salud, 2015).

Desde la segunda mitad del siglo veinte la industria alimentaria ha utilizado y sigue empleando tecnologías convencionales a través de procesos térmicos tales como el secado, deshidratación, escaldado y la evaporación, entre otros. La combinación de dichas tecnologías con otras emergentes (calentamiento óhmico, microondas, ultrasonido y pulsos de campo eléctrico, etc.)

permitiría mejorar la calidad del producto final desde el punto de vista de preservación de nutrientes termolábiles y caracteres organolépticos.

Actualmente la industria alimentaria, ante la creciente demanda de la sociedad y del marco regulatorio tiene la oportunidad de ampliar la oferta de alimentos procesados y ultraprocesados, con características más saludables que los disponibles en el mercado. Es así como se hace necesario innovar e integrar tecnologías tradicionales y emergentes para tal fin. De esta manera se emprendió el desafío de formular un snack de remolacha frito fortificado con hierro, bajo en sodio y con menor absorción de aceite (que la mayoría de los comercializados actualmente).

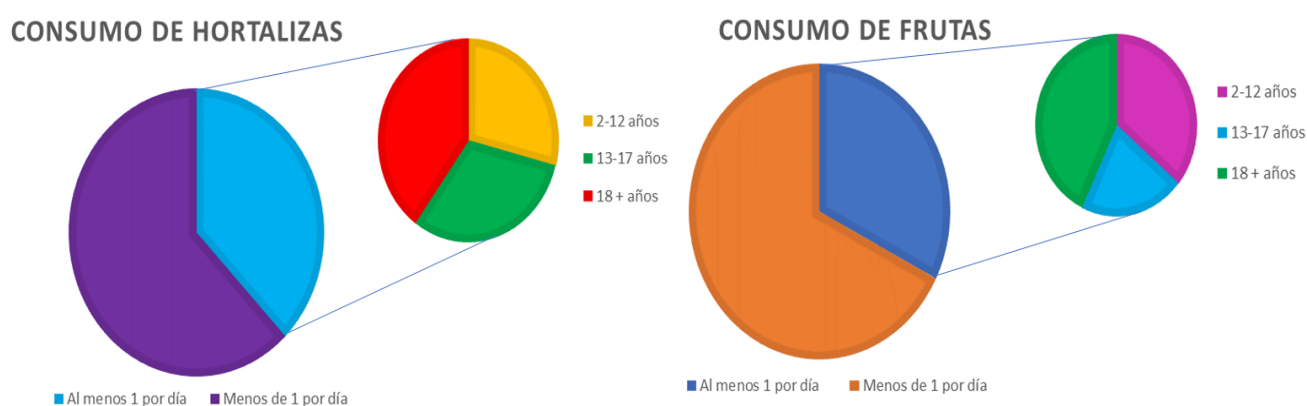
### **1.1. Consumo de hortalizas en Argentina**

El consumo de frutas y verduras dentro de la dieta diaria tiene importancia por los beneficios nutricionales que aporta debido a que son alimentos de bajo valor energético, altos en componentes nutritivos y bioactivos fundamentales para mantener un buen estado de salud. Entre estas sustancias se destacan las vitaminas y los minerales como también compuestos fenólicos y fibras. Varios estudios avalan su incorporación diaria a través de la dieta para la prevención de enfermedades no transmisibles (ENT) como la obesidad, diabetes tipo 2 y patologías cardiovasculares, además de diversos tipos de cánceres y enfermedades degenerativas (Gamboa-Santos et al., 2016).

Argentina cuenta con Guías Alimentarias para la Población Argentina (GAPA) desde el año 2000 las cuales fueron revisadas y actualizadas en el año 2016. Las guías son una herramienta que orienta a la población hacia una correcta selección y consumo de alimentos. Constan de 10 mensajes y el mensaje 3 refiere la importancia del consumo de 5 porciones de frutas y verduras diarias que sean variadas en tipo y color (Ministerio de Salud, 2020). Este mensaje se alinea con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que sugiere consumir al menos 400 g de frutas y verduras, sugiriendo para llegar a dicha cantidad su incorporación en todas las comidas y su utilización como colaciones (World Health Organization, 2018).

En la segunda Encuesta Nacional de Nutrición y Salud (ENNyS), realizada en 2018-2019, en el indicador de “frecuencia de consumo de verduras (solas y/o en preparaciones) sin contar papa y batata”, los resultados mostraron que un 37.8 % de la población refirió haber consumido al menos una vez al día una verdura en los últimos tres meses. Si sumamos los resultados de la frecuencia de consumo de frutas frescas, sólo 3 de cada 10 individuos refirieron haber consumido al menos 1 en el día, cifras muy por debajo de las recomendaciones de las GAPA (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a).

Al comparar el consumo de hortalizas entre diferentes grupos etarios hubo mayor frecuencia en mayores de 18 años (40,8 %), a diferencia de las niñas, niños y adolescentes de 13-17 años y la población de 2 a 12 años, que tuvo una frecuencia de consumo de 32,4 % y 29,6 % respectivamente. El consumo por nivel educativo mostró mayor frecuencia de ingesta (40,4 %) entre quienes reportaron tener el secundario completo, respecto a quienes no (35,2 %). También se observaron diferencias entre los 2 quintiles más altos de ingreso (44 %) y el resto (34%) que refirieron consumir al menos 1 verdura al día (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a). La figura 1 refleja la frecuencia de consumo de frutas y hortalizas a diferentes edades.



**Figura 1.** Frecuencia de consumo de hortalizas y frutas frescas en población de 2 a más años. Fuente: elaboración propia con datos extraídos de Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a.

Estos datos reflejan que el consumo diario de alimentos saludables en general, es menor en poblaciones de menor ingreso y mayor vulnerabilidad. Esta tendencia se observó, no sólo con las frutas y las verduras, sino también con el resto de los grupos de alimentos recomendados por las GAPA.

En este sentido y teniendo en cuenta el aumento en las ENT principalmente en la población infantil, en el año 2019 el Ministerio de Salud (MSAL) y Desarrollo Social a través de la Resolución 996/2019 puso en marcha el Plan Nacional de Alimentación Saludable en la Infancia. Se buscó fortalecer la educación alimentaria y nutricional, promover la actividad física y potenciar las campañas de comunicación y concientización, entre otros (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019b).

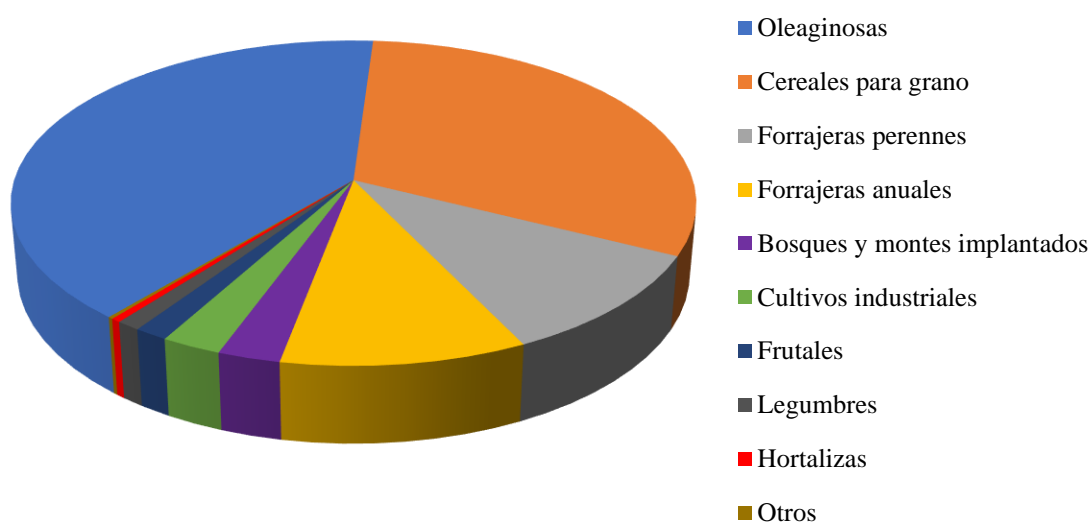
### 1.1.1. Producción nacional

La Argentina cuenta con alrededor de 36 millones de hectáreas de cultivos agrícolas dentro de la superficie continental que abarca 2,8 millones de kilómetros cuadrados. Dicha superficie se

encuentra principalmente cultivada con soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz. El 1,4 % del total es ocupado por la producción de legumbres y hortalizas (Idigoras, 2014).

En 2018 según el último Censo Nacional Agropecuario publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), la superficie total cultivada de hortalizas durante el período de julio del 2017 hasta el 30 de junio del 2018 fue de 139.585,6 hectáreas. En la figura 2 se puede apreciar la superficie cultivada total donde las hortalizas ocupan un volumen muy reducido (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2021). Dentro de estas hectáreas cultivadas el 90 % se consume en fresco y el restante se industrializa y exporta (Mitidieri, 2015). Dentro del 10 % se destacan las conservas seguidas de los congelados y deshidratados. (Castagnino et al., 2020a). Dentro de las hortalizas de exportación el 97 % del valor se concentra fundamentalmente en porotos, garbanzos, ajo y cebolla (Idigoras, 2014). En el año 2019 la exportación fue de 43,6 % en porotos, 26,1 % en papa, 5,7 % en garbanzos y 15 % en ajo (Castagnoni, y otros, 2020b).

### Superficie cultivada



**Figura 2.** Superficie total cultivada (período del 2017 al 2018). Fuente: datos extraídos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2021.

Anualmente se producen entre 8 a 10 millones de toneladas de hortalizas, un volumen importante por la alta producción por unidad de superficie cultivada. Es una actividad de gran valor social por incorporar cerca de 10 millones de jornales por año. Además, representa un elevado valor económico por unidad de peso, más allá de ser un volumen muy inferior comparado con la producción de cereales y oleaginosas (Idigoras, 2014). Si se compara con el sector agropecuario en cuanto a mano de obra demanda 30 veces más y genera 15 veces más inversión en maquinaria por unidad de superficie (D´Amico, 2017).

Las especies de mayor producción en la Argentina que representan alrededor del 85 %, son el ajo, cebolla, batata, frutilla, lechuga, papa, pimiento, poroto seco, tomate, zanahoria y zapallo. (Idígoras, 2014).

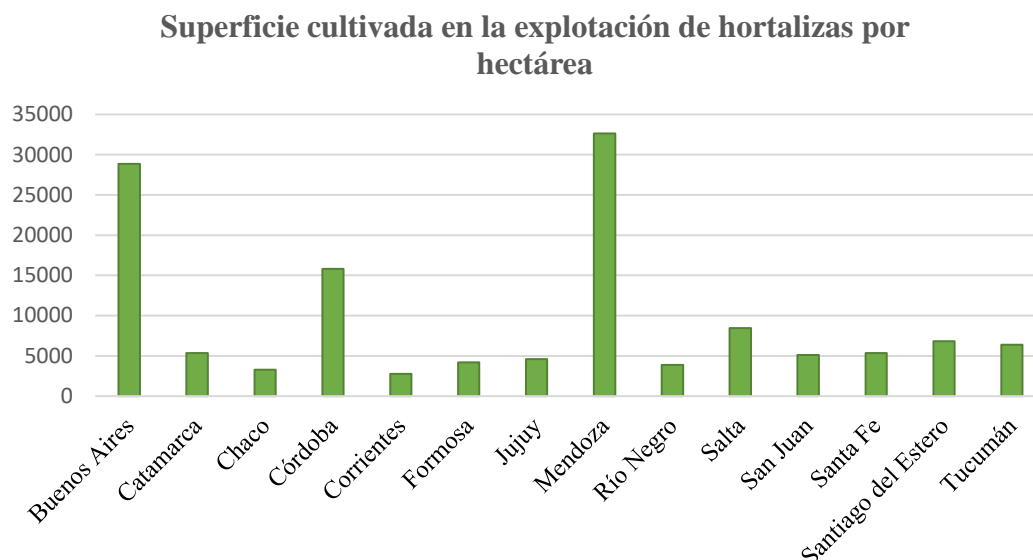
El sistema de producción hortícola en la Argentina se puede clasificar por la explotación respecto a modalidades de manejo, dimensiones de establecimientos, mecanización, tipos de cultivos, entre otros, en las siguientes categorías (Castagnino et al., 2020a):

- Cinturones hortícolas periurbanos
- Cultivos hortícolas protegidos
- Cultivos hortícolas extensivos
- Producción especializada
- Producción para industria
- Producción orgánica
- Producción de semillas hortícolas
- Producción para autoconsumo
- Producción agroecológica

Respecto a la producción orgánica, según Castagnino et al. (2020a), la provincia que se destaca en superficie cosechada es Mendoza con un 45 %, principalmente en ajo seguida por Buenos Aires (41 %), Salta (16 %), Córdoba (10 %) y Jujuy (7 %).

De la producción en la región Andina y Cuyo se destinan para elaboración de la II Gama principalmente enlatados de tomate, arveja, maíz dulce, como también para deshidratados. El sudeste de Buenos Aires, el noroeste argentino (especialmente Tucumán) y la región del Litoral con la provincia de Santa Fe sobresalen en productos de III Gama (supercongelados de frutilla y papa prefrita). Las categorías de IV Gama (hortalizas mínimamente procesadas y listas para usar) y V Gama (hortalizas cocidas mantenidas en cadena de frío) están empezando a tener mayor importancia en el mercado (Castagnino et al., 2020a).

La producción hortícola se extiende por todo el territorio nacional gracias a la diversidad de climas, concentrándose la mayor parte en la cercanía de las urbes. Dentro del total del volumen producido la mitad se concentra entre las provincias de Buenos Aires, Mendoza y Córdoba. La figura 3 muestra las provincias con mayor superficie cultivada.



**Figura 3.** Superficie cultivada en la explotación de hortalizas por provincia por hectárea (período 2017 al 2018). Fuente: datos extraídos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2021.

El sector hortícola argentino comercializa entre el 17 y el 20 % de la producción total para el Mercado Central de Buenos Aires (MCBA), uno de los principales mercados concentradores de hortalizas y frutas del país que funciona desde 1983 encontrándose entre los tres más grandes de América Latina. En el año 2018 ingresaron al mercado cerca de 1,4 toneladas de frutihortícolas representando las hortalizas un 61 %. El 80 % del volumen total comercializado ese año en el MCBA correspondió solo a siete hortalizas (papa, tomate, cebolla, zapallo, zanahoria, zapallito y pimiento). Del 20 % restante de las hortalizas comercializadas, en orden de importancia la remolacha se encontró en doceavo lugar (Castagnino et al., 2020b).

## 1.2. Remolacha

### 1.2.1. Generalidades

La remolacha (también conocida como betabel, betarraga, becerrada y beterrava) es la raíz engrosada de *Beta vulgaris* L, según el Código Alimentario Argentino (CAA) en el artículo 836 del capítulo XI (Código Alimentario Argentino, 2021a). Es una planta dicotiledónea perteneciente al orden Cariofilales (*Caryophyllales*), familia de las Amarantáceas (*Amaranthaceae*), subfamilia Quenopodioideas (*Chenopodioideae*), del género *Beta* y especie *B. vulgaris* L. La variedad *Conditiva* hace referencia a la remolacha hortícola (figura 4). Hay otras variedades como la *B. vulgaris* L variedad *cicla* que en lugar de tener las raíces tan desarrolladas

se caracteriza por desarrollar el nervio medio que corresponde a las pencas y se conoce como acelga (Latorre, 2011).



**Figura 4.** Remolacha hortícola. Fuente: extraído de SINAVIMO (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas), s. f.

La remolacha es un cultivo tradicional que se consume en muchas partes del mundo. Se puede consumir fresca (tanto raíces como hojas), procesada térmicamente o fermentada (en conserva al natural, en vinagre o agridulce). Es una hortaliza que aporta pocas calorías, fuente de fibras y azúcares simples, ácido fólico, potasio y compuestos fenólicos, con un contenido alto del pigmento betalaína (Latorre, 2011). Este pigmento es utilizado como colorante alimentario color rojo morado aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA de las siglas en inglés *Food and Drug Administration*) y por la Unión Europea designado con el número E-162 (Kapadia & Roa, 2012).

Con respecto a otros posibles usos no tradicionales de los grupos cultivares (hortícola y azucarera), sobresale su potencial en aplicaciones destinadas a la producción de biocombustibles, bioenvases, bioplásticos, así como en elaboración de productos funcionales y obtención de compuestos nutraceuticos (Rattin et al., 2022).

Aunque las hojas de la remolacha también se consideran comestibles no son el principal objeto de cultivo. La principal parte comestible de la remolacha es una parte de la raíz llamado “hipocótilo engrosado”. Por definición el hipocótilo o hipocótilo de una plántula es la parte del eje caulinar (tallo) que está debajo de los cotiledones. En el caso de la remolacha algunos elementos de la raíz y la sección del tallo más próxima a la raíz engrosan durante su desarrollo, como forma de almacenamiento de sustancias de reserva y de supervivencia invernal de la planta (Sozzi, G., comunicación personal, 6 de septiembre 2019).

Es una planta bianual originaria de la región del mediterráneo en zonas costeras del sur de Europa, Asia y norte de África. Procede de la especie botánica *Beta marítima* L. cuyo cultivo data del siglo II antes de Cristo dando lugar a dos hortalizas distintas, la acelga con follaje

abundante y la remolacha con raíz engrosada y carnosa. En la antigua Grecia y en Roma la remolacha silvestre era utilizada con fines medicinales y sus hojas consumidas como ensalada (Morales Payán, 1995). Tanto en Alemania como en Francia en el siglo XVI empezó a haber mayor interés en el cultivo de esta hortícola para consumo de su raíz. En la actualidad es cultivada en casi todo el mundo debido a que se adapta a la mayoría de los climas, resiste el calor y tolera heladas, aunque resultan más favorables los climas templados y húmedos (Japón Quinteros, 1985).

### 1.2.2. Variedades

Dentro de la clasificación de las remolachas existen tres variedades (también denominados como grupos cultivares): la azucarera (*Beta vulgaris altissima*), la forrajera (*B. v. crassa*) y la remolacha hortícola (*B. v. Conditiva*) o de mesa (Rattin et al., 2022).

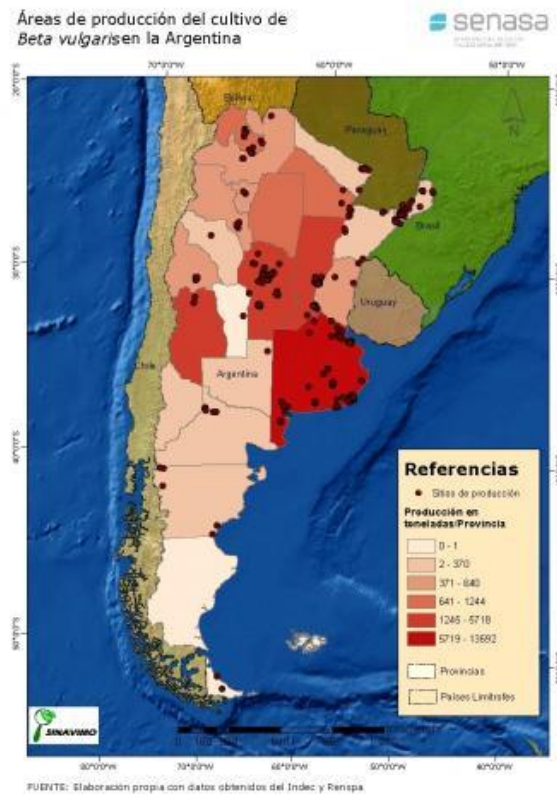
Dentro de las remolachas de mesa las variedades comerciales pueden clasificarse según su forma en: globulares, globulares achatadas y alargadas. El color rojo violáceo dado por el pigmento betalaína caracteriza a la mayoría de los cultivares, aunque también hay otras variedades donde el color es más amarillento y otras blancas por la concentración del pigmento betaxantina.

Las de mayor cultivo en el país según datos obtenidos del SINAVIMO (s.f.) son la *Early Wonder*, *Asgrow Wonder*, *Detroit Dark Red*, *Detroit*, *Detroit* Selección INTA San Pedro, *Green Top bunching* y Remolacha del país.

### 1.2.3. Cultivo

Es una planta bianual de unos 60 cm a 1 m de alto, con raíz engrosada y tallo único que se ramifica en la parte superior con hojas pecioladas medio ovaladas de unos 10 a 20 cm de largo (Rzedowski & Rzedowski, 2005). Es un cultivo que requiere de un suelo suelto de consistencia media que no sea húmedo, con un pH entre 7 y 7,5 y medianamente profundo para su mejor rendimiento. La temperatura óptima de germinación es entre los 15 y 18 °C, tarda 15 días en nacer, aunque tolera temperaturas bajas (mínima de 5 °C) y altas (máxima de 30 °C). La mejor calidad de remolachas se obtiene en épocas frescas. Según SINAVIMO (s.f.) las principales zonas de cultivo del país se encuentran en la provincia de Buenos Aires, Santa Fe, Mendoza y Santiago del Estero (figura 5).





**Figura 5.** Área de producción de cultivo de remolacha de mesa. *Fuente: Copiado SINAVIMO, s.f.*

Durante el primer año de cultivo la planta genera una roseta de hojas. Simultáneamente en ese primer año se produce la hipertrofia de la parte superior de la raíz junto con algunos elementos del tallo (caulinares), dando lugar a un “engrosamiento hipocotíleo” (engrosamiento del hipocótilo) cuya forma puede ser alargada, redondeada, aplastada, generalmente de color rojizo, aunque también puede ser blanco o amarillo. Durante el segundo año de edad de la planta o del cultivo –periodo de maduración y de reproducción sexual de la planta–, emite un tallo floral que aloja una inflorescencia cuyas flores luego de la polinización darán lugar a las semillas (Sozzi, G., comunicación personal, 6 de septiembre 2019).

#### 1.2.4. Cosecha y poscosecha

La remolacha es una especie hortícola que a diferencia de otras especies no es altamente percedera y su manejo puede ser muy problemático. El indicador de la cosecha es el tamaño deseado para la comercialización de la raíz engrosada. El tiempo transcurrido desde la siembra a la cosecha depende tanto del clima como del suelo y las técnicas de cultivo. Si se retrasa mucho

la cosecha la raíz puede modificar su textura, volviéndose más áspera y pudiendo generarse rajaduras disminuyendo su calidad (Morales Payán, 1995).

Luego de la cosecha el periodo de conservación es de 10 a 14 días en condiciones de humedad relativa de mínimo 90 % y a 0 °C. Durante su almacenamiento pueden sufrir daños por frío excesivo, por lo cual la temperatura de conservación no debe ser inferior a 0 °C. Según Morales Payán (1995) “se ha observado que de -1,1 y -1,7 °C se forman lesiones acuosas con áreas blancuzcas, llegando a tornarse negros los tejidos conductores de la raíz”.

Como sucede con otros “órganos de supervivencia” u “órganos de reserva” como la papa (que es un tubérculo o tallo subterráneo) y la zanahoria (que es una raíz engrosada), la remolacha tiene un período de dormición luego de la cosecha y hasta que reanuda el crecimiento para iniciar el segundo año de vida de la planta. Si reanuda el crecimiento en el periodo de la poscosecha (con la consiguiente brotación), el valor del producto desmejora rápidamente. Por eso, en poscosecha se busca prolongar el tiempo de dormición (Sozzi, G., comunicación personal, 6 de septiembre 2019).

En general, la brotación suele incrementarse a partir de los 4-5 °C, por lo cual la temperatura de conservación debe ser inferior a 4 °C, aunque sin alcanzar la temperatura de congelamiento (Van den Berg, 1981).

Las remolachas comercializadas con hojas tienen un tiempo de duración mucho menor que las comercializadas sin hojas. Esto se debe a la perecibilidad de las hojas de la planta que es mucho mayor que la del órgano engrosado en sí. Con lo cual varía también la temperatura de congelamiento ya que las hojas se congelan a temperaturas más altas (medio grado más) (Cantwell, 2002).

La tasa respiratoria (TR) está fuertemente influenciada por la temperatura y en las raíces almacenadas generalmente declina al disminuir la temperatura de la pila hasta que las raíces se congelan y la respiración se detiene. En la remolacha azucarera se observaron fluctuaciones de temperatura cerca de la congelación de las raíces (de -2 a -5 °C) reportándose aumentos transitorios en la TR cuando la temperatura de las raíces sube o baja de -1 a 0 °C (Fugate & Campbell, 2009).

La tabla 1 señala las condiciones principales de almacenamiento en poscosecha para las remolachas, comercializadas con y sin hojas.

**Tabla 1.** Condiciones de almacenamiento en poscosecha de la remolacha.

	Remolacha, comercializada sin hojas (Beet, topped)	Remolacha, comercializada con hojas (Beet, bunched)
<b>T° de almacenamiento</b>	0 °C	0 °C
<b>Humedad relativa</b>	98-100 %	98-100 %
<b>T° más alta de congelamiento</b>	-0.9 °C	-0.4 °C
<b>Producción de etileno</b>	Muy baja (<0.1 µL/kg-h a20 °C)	Muy baja (<0.1 µL/kg-h a20 °C)
<b>Susceptibilidad al etileno</b>	Baja	Baja
<b>Periodo estimado de almacenamiento</b>	4 meses	10-14 días

Fuente: Adaptado de Cantwell (2002).

### 1.2.5. Composición Química

La remolacha hortícola se caracteriza por su alto contenido en agua (85,6 %) y en glúcidos con un contenido de 8,4 g cada 100 g de alimento (tabla 2). Los glúcidos contenidos son mayoritariamente simples, con más del 90 % de su contenido en sacarosa que le aporta el sabor dulce característico al vegetal. Dentro de los glúcidos encontramos también al trisacárido rafinosa (unidad D-galactopiranosilo unida a sacarosa) y un tetrasacárido denominado estaquiosa (2 unidades D-galactopiranosilo unidas a sacarosa). Dichos oligosacáridos forman parte de la fibra dietaria (FD) (BeMiller & Whistler, 2000). Las fibras son sustancias que al ser ingeridas no son degradadas en el intestino delgado por falta de enzimas específicas, por lo que continúan hacia el intestino grueso donde algunas son fermentadas por la microbiota aumentando su concentración y diversidad. Otras actúan como laxante lo que acelera el tránsito intestinal y aporta volumen a las heces. La ingesta de fibra se asocia con la prevención de sobrepeso y obesidad, diabetes tipo 2, constipación y enfermedades gastrointestinales (Bustos & Medina, 2020). El CAA incluye como FD a polisacáridos no almidón, pectinas, almidón resistente, inulina, oligofruktosa y galactooligosacáridos, entre otros (Código Alimentario Argentino, 2021b). Las GAPA recomiendan una ingesta diaria de 25 g/día en personas adultas, sugiriendo incorporar diariamente frutas y hortalizas, legumbres y cereales enteros para aumentar su consumo (Ministerio de Salud, 2020). La remolacha aporta alrededor de 2,5 g% de fibra (Senser

& Scherz, 1991). Dentro del contenido de micronutrientes la remolacha es fuente de ácido fólico y ascórbico, en 100 g de remolacha encontramos 0,95 mg y 10 mg respectivamente. Dicha cantidad representa el 24 % de la ingesta diaria recomendada (IDR) de ácido fólico para mujeres (no embarazadas ni en etapa de lactancia) y varones mayores a 19 años y el 22 % de la IDR de vitamina C para misma población (Pita Martín de Portela, 2015). Con respecto al sodio su contenido comparado con otros vegetales es relativamente alto, de 51 mg cada 100 g de remolacha fresca. Por otra parte, la cantidad de hierro es relativamente baja, representa menos de 1 mg %.

**Tabla 2.** Composición química de la remolacha.

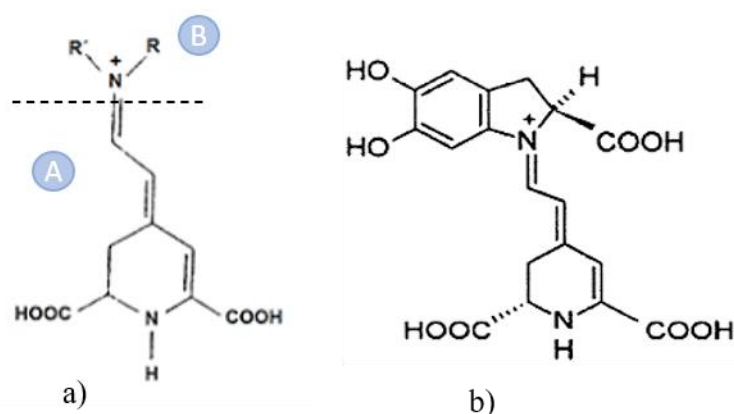
<b>REMOLACHA (<i>Beta vulgaris</i>)</b>	
<b>Contenido energético</b>	<b>kJ: 226</b>
<b>Por 100g de porción comestible</b>	<b>kcal: 54</b>
<b>Componentes principales de 100g de porción comestible</b>	
Agua ..... 85,6 g	Hidratos de carbono ..... 8,4 g
Proteínas ..... 1,9 g	Cenizas ..... 0,9 g
Grasas Totales ..... 0,1 g	Fibra ..... 2,5 g
<b>Composición detallada de 100g de Proción comestible</b>	
<i>Minerales</i>	<i>Vitaminas</i>
Sodio ..... 51 mg	Tiamina ..... 65 µg
Potasio ..... 399 mg	Riboflavina ..... 53 µg
Calcio ..... 13 mg	Niacina ..... 700 µg
Fósforo ..... 46 mg	Ácido fólico ..... 95 µg
Magnesio ..... 0,1 mg	Ácido Ascórbico ..... 9,4 mg
Hierro ..... 0,9 mg	

Fuentes: Adaptada de Universidad Nacional de Luján (2010) y Senser, & Scherz (1991)

El color característico de la *Beta vulgaris* L variedad *Conditiva* es aportado por unos pigmentos denominados betalaínas, que se acumulan principalmente en vacuolas en la epidermis y subepidermis de las flores, frutas y hojas que las forman (Guerrero Legarreta et al., 2006). Se sintetizan a partir del aminoácido tirosina, son solubles en agua y contienen nitrógeno en su estructura (Latorre, 2011). Según Guerrero Legarreta et al. (2006) se encuentran en un número muy limitado de vegetales, específicamente en las siguientes familias: *Aizoaceae*, *Amaranthaceae*, *Basellanaceae*, *Cactaceae*, *Chenopodiaceae*, *Didiereaceae*, *Holophytaceae*,

*Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae* y *Portulacaceae*. Dentro de las hortalizas de consumo frecuente que contienen estos pigmentos están la remolacha y el amaranto.

La fórmula general de las betalaínas (figura 6a) representa la condensación de una amina primaria o secundaria con el ácido betalámico. Se dividen en dos grandes grupos de compuestos: las betaxantinas de color más amarillento anaranjado y las betacianinas que aportan un color entre rojo púrpura y violeta. En la remolacha las betacianinas representan alrededor del 90 % del pigmento (Coultate, 2013). La figura 6b muestra la betanidina, estructura básica de las betacianinas.



**Figura 6.** Estructura de las betalaínas, **a)** Fórmula general de betalaínas. (**A:** ácido betalámico presente en todas las betalaínas, **B:** grupo amino, dependiendo de la identidad de los residuos R1 y R2, representará las betacianinas o betaxantinas). **b)** Betanidina, estructura básica de las betacianinas. Fuente: adaptado de Delgado Vargas et al., 2000.

La estabilidad de las betalaínas está influenciada por factores internos como el contenido de humedad, el pH y la concentración de pigmento, y por factores externos como la luz, la temperatura y el oxígeno (Ravichandran et al., 2013). Las betacianinas son más susceptibles a la degradación por peroxidasas que las betaxantinas. La sensibilidad de las betalaínas a dichos factores limita su aplicación como colorante alimentario natural. Puede ser utilizado en alimentos con una vida útil corta, producidos por un tratamiento térmico mínimo y envasados en estado seco bajo niveles reducidos de luz, oxígeno y humedad (Delgado Vargas et al., 2000). Durante los métodos de extracción del pigmento factores como el bajo contenido acuoso, pH entre 4 y 6 y la presencia de antioxidantes (cómo el ácido ascórbico), aumentan la estabilidad de los mismos (Kapadia & Roa, 2012).

Las betalaínas son moléculas bioactivas con una fuerte actividad antioxidante que estimulan el sistema inmune, previenen enfermedades cardiovasculares, trastornos neurodegenerativos y cáncer.

Se ha demostrado que las betalaínas (principalmente betanina) podrían reducir el riesgo de algunos cánceres, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, daño hepático y renal.

Hay varias investigaciones que han destacado la bioactividad de la remolacha como antioxidante, antiinflamatorio, hepatoprotector, regulador de la presión arterial y de la glucemia entre otros; el valor de su aplicación se limita a colorantes naturales y bebidas funcionales a base de esta hortaliza. Algunos estudios han manifestado que la capacidad de captación de radicales libres de la betanina es casi el doble que la de algunas antocianinas a un pH > 4. La capacidad de eliminación de radicales libres y la alta actividad antioxidante de la betanina están relacionadas con la presencia de grupos hidroxifenólicos en su estructura (Chen et al., 2021).

### **1.3. Hierro (Fe)**

En la presente investigación se buscó incrementar la concentración de hierro (Fe) de la remolacha a través de un proceso de deshidratación osmótica / impregnación con sulfato ferroso para obtener un snack fortificado con dicho mineral y aportar en disminuir su deficiencia. En esta sección se abordarán aspectos generales que incluyen entre otros las funciones y su metabolismo en el organismo, composición en alimentos, ingesta y deficiencia del mismo.

El hierro es un metal de transición y pertenece al grupo 8 en la tabla periódica. Es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre después del aluminio y representa un 5 % de sus componentes (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019).

Al ser un metal de transición exhibe varios estados de oxidación, entre los más comunes el hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y el férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019). El estado férrico se ve favorecido en soluciones acuosas a pH entre neutro y alcalino. En tanto que por encima de un pH de 4 el  $\text{Fe}^{3+}$  es fácilmente quelado por otros compuestos formando complejos insolubles. A pH ácido el equilibrio se inclina hacia las formas ferrosas (Jickells et al., 2005).

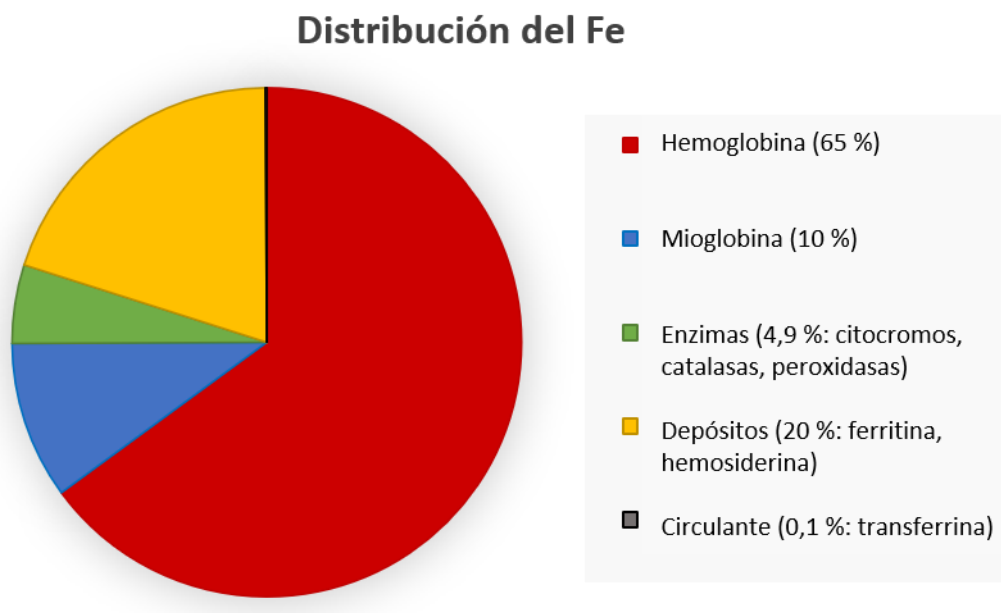
En el ser humano el Fe es un micronutriente esencial necesario para el crecimiento y desarrollo. Su principal función es transportar el oxígeno de los pulmones al resto de los tejidos a través de la hemoglobina (Hb). Asimismo, lo podemos encontrar participando en casi todos los procesos de óxido-reducción en el organismo, formando parte de enzimas del ciclo del ácido cítrico, en la cadena respiratoria dentro de los citocromos como transportador de electrones y en catalasas y peroxidasas manteniendo la integridad de las células (Forrellat Barrios et al., 2000).

Al estar involucrado en varias reacciones enzimáticas de óxido-reducción puede reaccionar con las especies reactivas del oxígeno (por sus siglas en inglés, ROS) lo que provoca peroxidación de diversas moléculas (Forrellat Barrios, 2016). En bajas concentraciones las ROS cumplen un papel importante en la señalización celular y la defensa contra agentes infecciosos, pero su aumento puede promover el daño irreversible de lípidos, ácidos nucleicos y proteínas celulares,

conduciendo a diversas patologías como enfermedades neurodegenerativas y cáncer (Carvajal Carvajal, 2019). Por tal motivo el hierro es muy regulado por varias moléculas involucradas tanto en su captación y almacenamiento como en su exportación de los hepatocitos (Rochette et al., 2015).

La cantidad total de hierro en el adulto promedio es de 2,3 g en mujeres y 3,8 g en hombres y varía según tamaño corporal y cantidad almacenada (Pita Martín de Portela, 2015). Dentro del organismo y en la circulación siempre se encuentra ligado a proteínas distribuyéndose en tres compartimientos: el de almacenamiento representado principalmente por la ferritina; el que forma parte de las hemoproteínas y el circulante asociado al transporte del hierro representado por la transferrina (Anderson & Shah, 2013).

En individuos con un óptimo estado nutricional la mayor concentración (65 %) forma parte del grupo prostético de la Hb, proteína conjugada esencial de los glóbulos rojos (GR) (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019). Un 20 % se localiza en el hígado, bazo, riñón y médula ósea formando parte de los depósitos, como ferritina y hemosiderina. El resto (15 %) se halla en la mioglobina y en otras proteínas compuestas con centros Fe/S presentes en varias enzimas, encontrándose sólo entre 0,1 y 0,2 % circulando unido a la transferrina (TF), como se observa en la figura 7 (Forrellat Barrios et al., 2000).



**Figura 7.** Distribución del hierro en el organismo. *Fuente: Adaptado de Forrellat Barrios et al. (2000).*

El porcentaje de absorción de este mineral es muy bajo, comparado con el hierro circulante y depende de la cantidad y del tipo ingerido, pero también de las necesidades endógenas, reflejadas en sus depósitos corporales y la actividad eritropoyética (Forrellat Barrios et al., 2000). Los macrófagos del sistema reticuloendotelial (SRE) en bazo, hígado y médula ósea, tienen la tarea de reciclar el Fe de los eritrocitos senescentes (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019). De los 25 mg de Fe que necesita la médula ósea, 23 mg es brindado del SRE y el resto proviene de la absorción intestinal (Forrellat Barrios et al., 2000).

### **1.3.1. Absorción de Fe y anemia**

Del hierro consumido a partir de los alimentos se absorbe, en condiciones normales, alrededor del 10 % (López & Suárez, 2010). Al carecer de un mecanismo regulatorio de su excreción, la absorción es un proceso muy controlado para mantener la homeostasis. Cerca de 1 a 2 mg de Fe es absorbido, esto equivale a las pérdidas diarias por descamación de piel y mucosas principalmente (Forrellat Barrios, 2016).

El hierro en los alimentos se puede encontrar en dos formas, como hierro hemínico (orgánico) formando parte de la Hb y mioglobina de las proteínas de distintos tipos de carnes y como hierro no hemínico en alimentos como huevo, legumbres y vegetales principalmente de hojas (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019). Lazarowski (2011) alude que las carnes rojas tienen un contenido de Fe hemínico del 56 %, en las carnes blancas como los pescados su contenido es menor. Ambos tipos de hierro difieren en su biodisponibilidad, que se define como la eficacia con la cual el hierro consumido a través de los alimentos es absorbido por el tracto gastrointestinal, ya que dependen de la interacción de diferentes componentes de la dieta, que pueden inhibir o facilitar su ingreso al organismo (López & Suárez, 2010).

Según Pita Martín de Portela (2015) en dietas con ingestas despreciables de carnes, pescados y vitamina C (principal facilitador de la absorción del Fe no hemínico) y con predominio de cereales, legumbres, raíces y/o tubérculos, el hierro tiene baja biodisponibilidad (cerca de un 5 %). Dietas de biodisponibilidad intermedia (10 %) son aquellas a base de cereales, raíces y/o tubérculos, con cantidades reducidas de carnes y ácido ascórbico. Cuando hay mayor consumo de carnes, pescados y vitamina C la biodisponibilidad aumenta hasta un 15 %, si no hay incorporación en la dieta de factores inhibitorios de su absorción.

El hierro no hemínico se encuentra en los alimentos en su estado férrico y para su absorción a través del enterocito debe ser reducido a ferroso. Al encontrarse en su forma inorgánica, está expuesto a diferentes sustancias que pueden inhibir o facilitar su absorción (ver tabla 5). La



acidez del estómago facilita su reducción lo que favorece la solubilidad y absorción del mismo. La incorporación de ácidos orgánicos como el cítrico y ascórbico, presentes en frutas y hortalizas, también contribuyen al pasaje del hierro férrico a ferroso. El ácido ascórbico, además de actuar como reductor forma un compuesto equimolecular con el hierro, lo que mejora su solubilidad y absorción. López & Suárez (2010) mencionan que incorporando 25 mg de vitamina C en un plato fuente de Fe<sup>3+</sup>, se duplica la absorción de dicho mineral.

Los fitatos (ácido fítico) pueden disminuir la absorción de Fe no hemínico entre 51 a 82 % (Sharma, 2003). También los fosfatos, polifenoles y oxalatos, forman complejos insolubles con el hierro e interfieren en su absorción intestinal. El calcio y otros minerales divalente también inhiben la absorción por competir por el transportador (González Urrutia, 2005).

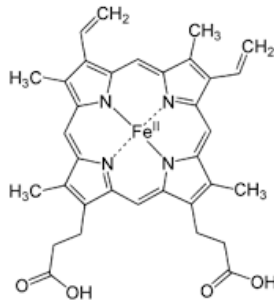
**Tabla 3.** Inhibidores y facilitadores de la absorción de Fe no hemínico.

FACTORES FACILITADORES	FACTORES INHIBIDORES
<b>Ácido ascórbico</b>	<b>Fitatos y oxalatos</b> (presentes principalmente en granos y legumbres)
<b>Ácidos orgánicos (málico, cítrico, tartárico)</b>	<b>Polifenoles</b> (como los taninos presentes en té, café, vino, legumbres, vegetales y cereales)
<b>“Factor cárnico” (contenido de aminoácidos como la histidina y cisteína)</b>	<b>Metales divalentes</b> (calcio, cinc, cobre)
<b>Vitamina A</b>	<b>Algunas proteínas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beta conglucina (proteína de la soja)</li> <li>• Ovotransferrina (proteína clara de huevo)</li> <li>• Fosfovitina (proteína yema de huevo)</li> <li>• Caseína (proteína de la leche)</li> </ul>

*Fuente: Forrelat Barrios (2016), Gaitán C. et al. (2006), Urdampilleta-Otegui et al. (2010).*

Debido a su cercanía al estómago, en el duodeno y en el yeyuno proximal ocurre la mayor absorción del mineral (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019). En borde en cepillo el hierro inorgánico primero es reducido por la enzima citocromo c reductasa duodenal (DcytB) para ser absorbido a través del transportador DMT1 (Anderson & Shah, 2013). EL DMT1 es una proteína de membrana acoplada a protones (H<sup>+</sup>) que transporta diversos metales divalentes, como el Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, además del Fe<sup>2+</sup> (Yiannikourides & Latunde-Dada, 2019).

El hierro hemínico se encuentra dentro del grupo hemo (figura 8) protegido de la interacción con otros nutrientes, con una mayor biodisponibilidad entre el 20 y 30 %, comparada con el Fe no hemínico (López & Suárez, 2010). Por lo tanto, los principales inhibidores del hierro inorgánico, como los fitatos y tanatos, no interfieren en la absorción de la mioglobina de las carnes. Sin embargo, a pesar de que la asimilación de ferritina y hemosiderina presente en las carnes se ve afectada por dichos inhibidores, su absorción es eficiente por encontrarse en las carnes y vísceras por su alto contenido de ciertos aminoácidos que favorecen su absorción (Lazarowski, 2011).



**Figura 8.** Estructura del hemo. Fuente: extraído de Yiannikouride & Latunde-Dada, 2019.

La mayor concentración del Fe que es liberado por los eritrocitos senescentes, es reutilizado por la médula ósea para síntesis de Hb. Por tal motivo, los requerimientos dietéticos cubren las pérdidas fisiológicas (por descamación, intestinales, menstruación) de crecimiento y embarazo. En la tabla 4 se muestra la ingesta diaria recomendada (IDR) según el porcentaje de biodisponibilidad y dividido por grupo etario.

Los grupos de mayor requerimiento son bebés, niñas y niños en edad preescolar (hasta 5 años de edad), adolescentes en etapa de crecimiento, mujeres jóvenes que menstrúan, mujeres en el segundo y tercer trimestre del embarazo y mujeres en posparto (Camaschella, 2019).

**Tabla 4.** IDR (mg/día) de hierro.

GRUPO Edad (años)	BIODISPONIBILIDAD DEL HIERRO DE LA DIETA		
	5 % (mg/día)	10 % (mg/día)	15 % (mg/día)
<b>0-0,5</b>	Se cubren las necesidades con lactancia materna		
<b>0,5-1,0*</b>	[18,6]	[9,3]	[6,2]
<b>1-3</b>	11,6	5,8	3,9
<b>4-6</b>	12,6	6,3	4,2
<b>7-10</b>	47,8	8,9	5,9
<b>VARONES</b>			
<b>11-14</b>	29,2	14,6	9,7
<b>15-17</b>	37,6	18,8	12,5
<b>&gt;18</b>	27,4	13,7	9,1
<b>MUJERES</b>			
	<b>Sin menstruación</b>		
<b>11-14</b>	28	14	9,3
	<b>Con menstruación</b>		
<b>11-14</b>	65,4	32,7	21,8
<b>15-17</b>	62	31	20,7
<b>&gt;18</b>	58,8	29,4	19,6
<b>Posmenopausia</b>	22,6	11,3	7,5
<b>Embarazo</b>	Suplementación con hierro		
<b>Lactancia</b>	30	15	10

\* El símbolo [ ] es debido a que la biodisponibilidad del hierro durante este período es muy variable.

*Fuente: Adaptada de Pita Martín de Portela, 2015.*

Si dichos requerimientos no son cubiertos, la falta de hierro puede causar anemia. La anemia se define como una disminución de la concentración de los valores de Hb en sangre por debajo del límite inferior establecido para edad y sexo (tabla 5). Es un problema de salud pública que tiene

consecuencias adversas para la salud y afecta principalmente a países de bajos recursos, aunque también a aquellos con ingresos medios y altos. En 2011, según estimaciones de la OMS alrededor de 2 mil millones de personas sufrieron anemia, de las cuales 500 millones eran mujeres en edad fértil (39 % embarazadas entre 15 y 49 años de edad). Del total, 273 millones fueron niñas y niños y un 50 % representó a menores de 5 años (World Health Organization, 2015).

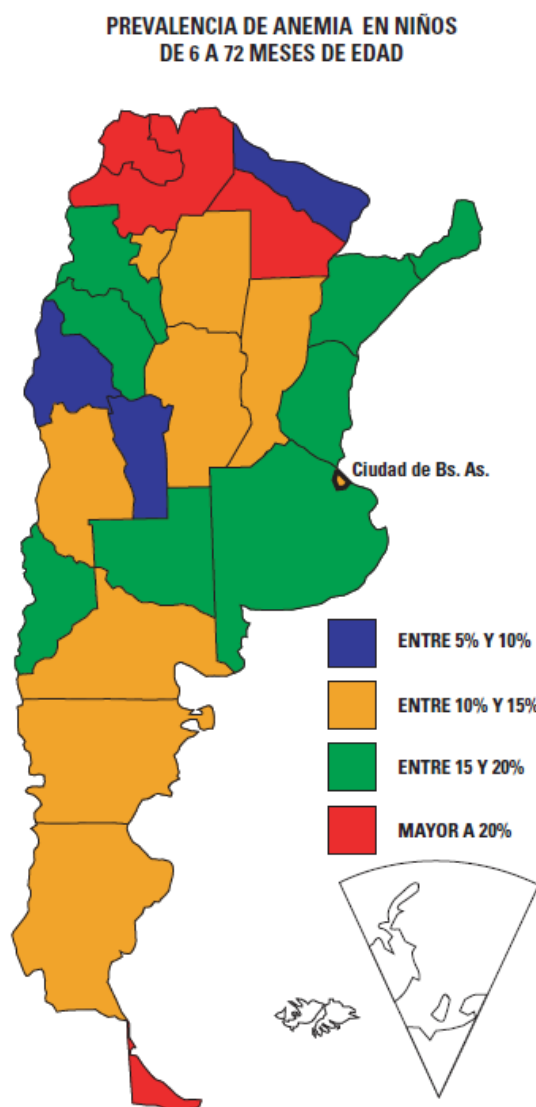
**Tabla 5.** Valores normales de Hb y hematocrito durante la infancia y adolescencia.

Edad	Hb (g/dL)	Hematocrito (%)
<b>De 6 a 24 meses</b>	12,5 (11,0)	37 (33)
<b>De 2 a 4 años</b>	12,5 (11,0)	38 (34)
<b>De 5 a 7 años</b>	13,0 (11,5)	39 (35)
<b>De 8 a 11 años</b>	13,5 (12,0)	40 (36)
<b>De 12 a 14 años</b>		
- <b>Mujer</b>	13,5 (12,0)	41 (36)
- <b>Varón</b>	14,0 (12,5)	43 (37)
<b>De 15 a 17 años</b>		
- <b>Mujer</b>	14,0 (12,0)	41 (36)
- <b>Varón</b>	15,0 (13,0)	46 (38)
<b>Adulto</b>		
- <b>Mujer</b>	14,0 (12,0)	42 (37)
- <b>Varón</b>	16,0 (14,0)	47 (40)

Los valores entre paréntesis expresan el límite inferior normal (-2 DE, desvío estándar)

*Fuente: Extraído de Comité Nacional de Hematología, Oncología y Medicina Transfusional y Comité Nacional de Nutrición, 2017.*

En la Argentina, según datos de la ENNyS del año 2007, el 16 % de niñas y niños de 6 meses a 5 años de edad fueron diagnosticados con anemia, de los cuales el 34 % son menores de 2 años. En regiones de bajas condiciones socioeconómicas, como en el Noreste del país, la prevalencia en menores de 2 años llega hasta casi un 46 % (Ministerio de Salud, 2007). La figura 9 muestra la prevalencia de anemia en niñas y niños de hasta 6 años de edad en las diferentes provincias de la Argentina.



**Figura 9.** Prevalencia de anemia en niñas y niños de 6 meses a 6 años. *Fuente: Sustraído de Ministerio de Salud, 2007.*

La concentración de Hb por sí sola no establece la causa de la anemia. Hay diversos parámetros de laboratorio como el hemograma, recuento de reticulocitos (eritrocitos en desarrollo), perfil férrico entre otros, para determinar el tipo de anemia y su origen (World Health Organization, 2015). Las causas de la anemia pueden ser diversas, por ejemplo: por disfunción medular en la producción de eritrocitos (ante la carencia de algún nutriente o por eritropoyesis ineficaz), por hemorragias o por hemólisis (destrucción de los GR). Aproximadamente el 50 % de las anemias están asociadas con la deficiencia de hierro (World Health Organization, 2017).

La anemia por deficiencia de hierro (ADH) afecta múltiples órganos y algunos de sus síntomas son manifestaciones de cansancio generalizado, cefalea, disminución de la capacidad de

concentración, náuseas, mareos y dolor muscular (Comité Nacional de Hematología, Oncología y Medicina Transfusional y Comité Nacional de Nutrición, 2017). La pica (ingestión de sustancias no nutritivas como tiza, hielo, barro) es otro síntoma visible comúnmente en infantes y mujeres. En niñas y niños la falta de hierro se asocia con resultados deficientes en el desarrollo cognitivo y motor. La disfunción cognitiva perdura a pesar de la terapia, por tanto, es primordial diagnosticar y tratar la ADH lo más tempranamente posible (Forrellat Barrios, 2017). Durante el embarazo puede conducir a mortalidad materna y perinatal, como a partos prematuros y bajo peso al nacer (World Health Organization, 2017).

Habida cuenta de las consecuencias que produce la deficiencia de hierro y la prevalencia mundial actual, la anemia es un problema global que amerita ser tratado con prioridad. Las estrategias de intervención incluyen el tratamiento a través de suplementación farmacológica, el adecuado aporte de alimentos fuente de hierro evitando factores que inhiban su absorción y la fortificación de alimentos de consumo masivo (Durán, 2007).

En nuestro país fueron eficaces algunas de las medidas de salud pública que se tomaron para disminuir la prevalencia de la deficiencia de hierro y la anemia, tales como la recomendación de pinzamiento tardío de cordón umbilical en los recién nacidos para aumentar las reservas de hierro, el acceso gratuito a la suplementación con sulfato ferroso durante el embarazo y en niños menores de 5 años a través del programa REMEDIAR (creado en 2002 en acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo).

Otra estrategia para lograr reducir la ADH, se basa en el enriquecimiento de alimentos de gran consumo en la población. Un ejemplo es el enriquecimiento de la harina de trigo con hierro y otras vitaminas, que según la World Health Organization (2015) es obligatorio en alrededor de 80 países. En Argentina, la ley 25.630 promulgada en 2002 funda normas de prevención de las anemias y malformaciones del tubo neural, como la anencefalia y la espina bífida. Dicha ley establece que toda harina de trigo destinada a venta al público y a elaboración de panificados deberá estar adicionada con 30 mg de hierro (como sulfato ferroso) por kg. Además, deberá adicionarse ácido fólico, tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina (vitamina B3) en las proporciones establecidas (Congreso de la Nación Argentina, 2002).

#### **1.4. Enfermedades no transmisibles (ENT)**

Las enfermedades no transmisibles representan un problema mundial, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en América son la principal causa de muerte y discapacidad, representando el 81 % de las muertes anuales

(Organización Panamericana de la Salud, 2021a). Los más afectados son los países de menores ingresos por su escenario de fragilidad económica y social. Casi la mitad de las muertes por ENT se producen en las etapas más productivas de la vida, entre los 30 y 69 años de edad (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a).

Según el informe definitivo de la cuarta encuesta nacional de factores de riesgo realizada por los ministerios de Salud y de Desarrollo Social en la Argentina las ENT representan el 73,4 % de las muertes. En el 2015 las enfermedades del corazón (39,2 %) fueron la principal causa de muerte, seguidas por los tumores (25,6 %) (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019c).

El término de ENT hace referencia a un grupo de enfermedades que no son causadas por una infección o inflamación aguda, sino que tienden a traer consecuencias para la salud con tratamientos e intervenciones a largo plazo. El sobrepeso y la obesidad, acompañados por una excesiva presencia de tejido adiposo especialmente abdominal, son la principal causa. Uno de los factores determinantes que explican la mortalidad y morbilidad por ENT en el mundo es la obesidad en edades adultas y se calcula que en nuestro país es causa de 4 millones de muertes al año. En Argentina aproximadamente el 68 % de la población adulta presenta un exceso de peso, de los cuales la mitad tiene obesidad. En la población de 5 a 17 años el aumento de peso es del 41,1 % y en la población menor de 5 años es del 13,6 % (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a). Los principales tipos de ENT son las enfermedades cardio y cerebrovasculares, respiratorias, algunos cánceres y la diabetes tipo 2. Éstas se asocian a factores de riesgo modificables, como ingesta nociva de alcohol; consumo de tabaco y exposición al humo de tabaco ajeno; alimentación inadecuada a través de ingesta de bebidas y ultraprocesados con exceso de grasas, azúcares y sodio; y la inactividad física. Los alimentos ultraprocesados son formulaciones industriales elaboradas a partir de sustancias derivadas de los alimentos, que en su mayoría no contienen o contienen una porción muy baja de alimento entero. Otros factores de riesgos modificables asociados a un aumento de mortalidad cardiovascular son la hipertensión arterial e hipercolesterolemia (Panigadi et al., 2021).

La presión arterial elevada, hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia, el sobrepeso y la hiperglucemia están muy relacionados con una mala alimentación, como el consumo de azúcares simples, grasas saturadas, grasas trans y sodio (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).

En los últimos años, a nivel global hubo modificaciones significativas en el patrón de consumo alimentario, donde se observa un aumento del consumo de ultraprocesados a más de la mitad en relación a los alimentos frescos y sin procesar o mínimamente procesados. Estos cambios obedecen a diferentes factores sociales, económicos y demográficos que determinan los hábitos alimentarios de la población, tales como: los modelos de producción de los alimentos, su

disponibilidad, asequibilidad, formas de comercialización y marketing que generan entornos obesogénicos (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a).

En Argentina, los patrones alimentarios han empeorado en las últimas décadas duplicándose el consumo de sodio y de azúcar con respecto al máximo recomendado y reduciéndose el consumo de frutas y verduras. El consumo de bebidas azucaradas es de los más altos del mundo, lo cual lleva a que el sobrepeso y la obesidad representen un grave problema de salud pública en el país (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019a).

La pandemia mundial de COVID-19 de estos últimos dos años dejó más vulnerables a los pacientes con ENT por la emergencia sanitaria en varios países. Hubo reducción de atención en hospitales y los servicios ambulatorios, lo que profundizó aún más las diferencias entre los sectores vulnerables y los de mayor ingreso. Aumentó el desempleo y disminuyó el ingreso monetario a través del trabajo no formal por el aislamiento social obligatorio implementado en varios países. Este decremento económico y social, junto con el aumento en los costos de alimentos, derivó en la elección de alimentos más baratos y menos nutritivos, aumentó el consumo de azúcares simples y grasas saturadas. Por otro lado, la inseguridad alimentaria se incrementó en países de América, donde el acceso a alimentos saludables se vio obstaculizado, principalmente en niñas y niños que dependen de la alimentación escolar. Otro punto importante que afectó el tratamiento de los pacientes con ENT fue la inactividad física, que aumentó debido al aislamiento social efectuado (Organización Panamericana de la Salud, 2021a).

La OPS recomienda dentro de las acciones prioritarias desarrollar políticas públicas para fortalecer la atención primaria de salud, empoderar e involucrar a las poblaciones para mejorar su bienestar y gestionar las reformas del sistema de salud para lograr una atención integrada (Organización Panamericana de la Salud, 2021a).

Dentro de las medidas a implementar para la prevención de las ENT, además de fortalecer los cambios individuales a través de acciones educativas y de concientización, son necesarias políticas públicas. Éstas deberían regular los entornos y los productos alimenticios, a fin de proteger el derecho a alimentos saludables y sanos, principalmente en población infantil con la adopción de hábitos saludables. En este sentido, el Plan Nacional de Alimentación Saludable en la Infancia se focaliza entre otras cosas, en facilitar el acceso al mercado a pequeños y medianos productores de la agricultura familiar, generando espacios de diálogo entre estos y gobiernos locales. Así como, en promover el desarrollo local con sistemas alimentarios sostenibles para una mayor disponibilidad y asequibilidad de frutas y hortalizas frescas (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019b).

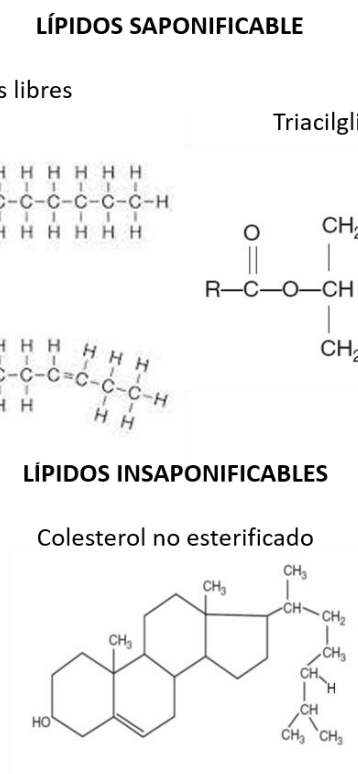


### 1.4.1. Lípidos y dislipemias

En este apartado se presentarán de manera general conceptos sobre los lípidos, su clasificación, aplicaciones en la industria de alimentos y vinculación con las ENT.

Se ha documentado ampliamente la asociación existente entre el consumo elevado de lípidos, principalmente con AGS y el incremento de sobrepeso, obesidad y dislipemias. En consecuencia, uno de los objetivos de esta investigación consistió en obtener un snack con porcentajes de grasa menores a los snacks comerciales a través de la utilización de revestimientos comestibles que incidan en la reducción de la absorción de aceite durante la fritura.

No existe una definición exacta de lípidos por la variedad de moléculas que lo componen. Consisten en un grupo de sustancias muy heterogéneas que tienen como característica en común ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos, como éter o cloroformo. Se clasifican según sus propiedades físicas y su estructura. Los triacilglicéridos (TAG) son los lípidos más abundantes en la naturaleza -formados por tres ácidos grasos (AG) unidos a un glicerol- y los encontramos en mayor concentración en los alimentos. Otro lípido que se encuentra en altas concentraciones en alimentos de origen animal es el colesterol (O'Keefe, 2002). En la figura 10 se pueden observar las estructuras de los lípidos más comunes.



**Figura 10.** Estructura de los lípidos más comunes. *Fuente: elaboración propia.*

El consumo de alimentos altos en colesterol y en TAG, con cantidades elevadas de ácidos grasos saturados (AGS) y trans, se relaciona con sobrepeso, obesidad y dislipemias. Los AGS se encuentran principalmente en alimentos como la carne, manteca, leche y derivados lácteos. Su consumo excesivo es acumulado en el tejido adiposo como TAG lo que genera aumento de peso y puede derivar en obesidad, aumentar el colesterol total sanguíneo y llevar a la condición de hígado graso (Stein et al., 2022).

Los ácidos grasos trans (AGT) provienen primordialmente de la industria a través de la hidrogenación de aceites vegetales con el fin de obtener una grasa semisólida de mayor vida útil y fácilmente transportable, utilizada en margarinas y panificados entre otros. Si bien en la industria alimentaria ofrecen varias ventajas, el aumento de su consumo produce efectos adversos en la salud asociados con el incremento del riesgo de enfermedades cardiovasculares y muerte súbita de origen cardíaco. Dietas ricas en AGT producen disminución de la función mitocondrial, aumento de la síntesis endógena del colesterol, así como de las concentraciones plasmáticas de LDL el llamado “colesterol malo”. En contraposición, ocasiona la disminución de las concentraciones plasmáticas de HDL, el llamado “colesterol bueno”, entre otros (Tavella et al., 2016). En el 2010, el consumo de AGT en la Región de América fue de los más elevados del mundo con 2,9 % del aporte energético en Canadá y Estados Unidos, y 1,9 % en América Latina y el Caribe, (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

La dislipemia es la alteración en los niveles tanto de las lipoproteínas como de los lípidos en sangre, principalmente de TAG y colesterol. Los altos niveles en sangre de LDL y triglicéridos y bajas concentraciones de HDL son un poderoso predictor de enfermedades cardiovasculares. La hipercolesterolemia puede generar acumulación de colesterol en las arterias y producir aterosclerosis. El aumento de TAG puede llevar a la condición clínica de hígado graso o en algunos casos a la pancreatitis aguda.

#### **1.4.1.1. Lípidos en alimentos**

Los lípidos que encontramos en mayor concentración en los alimentos son los TAG y el colesterol. El colesterol se halla en alimentos de origen animal como la carne y productos cárnicos, la leche y productos lácteos, y el huevo, entre otros. Las grasas y aceites comestibles provienen tanto de tejidos animales, como de vegetales y se diferencian principalmente en el tipo de AG que los componen. Entre los principales alimentos fuentes de AGS se encuentran la grasa láctea, la carne vacuna, cordero, cerdo, piel de pollo, aceite de coco, palma y cacao. Los AG insaturados se clasifican en monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI). Alimentos fuente de AGMI son el aceite de oliva, las aceitunas, palta, frutas secas y dentro del reino animal

principalmente en la yema de huevo. Los AGPI pueden subclasificarse en AG de la familia omega 3 (ejemplos de alimentos fuentes son pescados, lino, chía, aceite de canola y soja) y de la familia omega 6 (cuyos alimentos fuentes son principalmente los aceites vegetales). Para mayor beneficio, la proporción de AG omega 6 debería ser aproximadamente dos a cuatro veces mayor que la de omega 3. (Ministerio de Salud, 2020).

Las grasas trans provienen naturalmente de rumiantes, encontrándose en su carne y grasa láctea en cantidades muy reducidas. La mayor concentración se encuentra en alimentos procesados y ultraprocesados, elaborados con aceites vegetales parcialmente hidrogenados o sus mezclas, los cuales son usados para freír, untar u hornear diferentes productos de panadería y pastelería, entre otros (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

Las recomendaciones de lípidos establecidas para la población argentina, se basaron en la Consulta Mixta de Expertos FAO/OMS sobre grasas y aceites en la nutrición humana realizada en Ginebra en el año 2008, con el objetivo de apoyar la salud y el bienestar nutricional y reducir el riesgo cardiovascular. La recomendación establecida de grasas totales corresponde al 30 % del valor calórico total por día (67 g/ día en una dieta de 2000 kcal), de los cuales la cantidad de AGS debe ser inferior al 10 %, el rango de AGPI oscila entre el 6 y el 11 %, y el consumo de AGT debería ser menor al 1 %. Por otro lado, la ingesta recomendada de colesterol es menor a 300 mg por día (Ministerio de Salud, 2020).

#### **1.4.2. Sodio e hipertensión**

De igual modo que se desarrollaron tópicos globales para lípidos por su vinculación con las ENT se abordarán consideraciones sobre el sodio, su importancia en la nutrición humana y sus aplicaciones en la industria. En la presente investigación se estableció como uno de los objetivos específicos, la elaboración de un snack con cantidades de sodio y lípidos más bajos que los comercializados actualmente.

El sodio (Na) es un metal alcalino ubicado en el grupo 1A de la tabla periódica. Es muy abundante en la naturaleza ocupando el sexto lugar entre todos los elementos de la corteza terrestre. Junto con el cloro es el elemento en solución más abundante en el mar. Lo encontramos como sales de sodio en minerales como la sal de roca y la halita (como cloruro de sodio), el bórax (como borato de sodio) el nitrato de Chile (como nitrato de sodio), entre otros. Es un elemento esencial para la materia viva. Los iones de Na, junto con iones de potasio se encuentran en los fluidos manteniendo el balance osmótico (Chang & College, 2002).

En el organismo humano, el líquido corporal consta de los compartimientos intra y extracelulares. El agua corporal total representa alrededor del 60 % del peso corporal. El líquido intracelular (LIC) representa el 40 % y el líquido extracelular (LEC) el 20 % (Oh & Uribarri, 2001). El Na es el catión más abundante del medio extracelular. Del total de sodio (alrededor de 100 g), el 70 % existe en forma libre y de este porcentaje 97 % se encuentra en el LEC y 3 % en el LIC. El 30 % restante está en forma fija, no intercambiable en el hueso, cartílago y tejido conectivo. El Na es responsable de más de 90 % de la osmolaridad del LEC y su concentración está íntimamente relacionada con el balance hídrico. Además, forma parte de diferentes secreciones digestivas y participa en la absorción activa de varios nutrientes a nivel intestinal (Pita Martín de Portela, 2015).

La concentración normal en suero de Na es 140 mEq/l. Los riñones son los órganos reguladores de su metabolismo. Normalmente el adulto ingiere 150 mEq de Na con la dieta diaria y el riñón excreta 140 mEq, el resto se excreta por piel, sudor y heces. La deficiencia de este mineral puede deberse a pérdidas por un aumento en el tránsito intestinal (diarreas), sudoración excesiva o alguna enfermedad renal. El exceso de Na en la dieta está relacionado con la aparición de hipertensión (HTA) y con una menor densidad ósea (Pita Martín de Portela, 2015).

La presión arterial (PA) es una medición de la fuerza ejercida contra las paredes de las arterias cuando el corazón bombea sangre por el cuerpo. Está determinada por la cantidad de sangre bombeada por el corazón y por el grado de resistencia al flujo en las arterias (Stedman, 1993). La HTA es multifactorial por estar influenciada por varios factores como la herencia, edad, obesidad, el cigarrillo, la ingesta de alcohol y el consumo excesivo de sodio. Se produce por el aumento sostenido de la PA y puede incrementar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, cerebrales y renales entre otras. Generalmente no presenta síntomas, aunque en algunos casos puede tener cefaleas, sangrado nasal, cambios en la visión, zumbidos en el oído, entre otros. Formas más graves incluyen fatiga, náuseas, vómitos, confusión, dolor de pecho y temblor muscular (Moposita-Flores, 2022).

Según la OPS a nivel mundial la HTA causó 10,8 millones de muertes en el año 2019. Se le atribuye más de la mitad de las muertes por enfermedades cardiovasculares y en América entre el 20 a 35 % de los adultos son hipertensos (Organización Panamericana de la Salud, 2021b). En nuestro país según los datos de la Encuesta Nacional de Factores de Riesgo (ENFR) del año 2013, la prevalencia de HTA alcanzó a un tercio de la población adulta de la Argentina. La prevalencia real puede haber sido subestimada por el método utilizado (auto reporte mediante una encuesta). Se estima que un tercio de los hipertensos desconoce serlo. De los diagnosticados, poco más de la mitad recibe tratamiento y solamente la mitad de estos se encuentra con su PA

controlada (Ministerio de Salud - INDEC, 2015). En la cuarta ENFR realizada en el año 2019, dentro de la metodología utilizada además del auto reporte vía encuesta se incorporó la medición de PA en el domicilio, donde se observó que estaba elevada en el 40,5 % de las personas evaluadas. De cada diez hipertensos auto reportados, seis estuvieron con la PA elevada durante el control y el 32 % de quienes no se reportaron con hipertensión presentaron presión alta al momento de tomar la medición (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2019c).

La HTA es prevenible por estar asociada a hábitos en el estilo de vida como la falta de actividad física, tabaquismo, consumo de alcohol e ingesta elevada de sodio. Al considerar la incidencia que tiene en el aumento de muertes por ENT en el mundo, la OMS ha incluido a la hipertensión como una prioridad de salud para la prevención de la mortalidad para el año 2025 (Moposita-Flores, 2022). Las medidas no farmacológicas son cada vez más importantes en el tratamiento integral de los pacientes hipertensos. Dentro de las metas globales para la disminución de la PA, se focalizó en la reducción del consumo de sodio, donde la OMS y OPS instan a los países de la región a que diseñen políticas alimentarias para reducir el 30 % del consumo medio en la población para el 2025 (Organización Panamericana de la Salud, 2021c).

#### **1.4.2.1. Sodio en alimentos**

La OMS recomienda un consumo para la población adulta de menos de 2 g diario, que equivale a menos de 5 g de sal por día. Los alimentos naturales como la carne, los cereales, las frutas y hortalizas contienen una baja concentración de sodio (a excepción de acelga, apio, remolacha entre otros). La principal fuente es la sal de mesa seguida de alimentos procesados, embutidos, quesos duros, enlatados, snacks, entre otros (Organización Panamericana de la Salud, 2018).

El contenido de sodio en los alimentos se presenta generalmente como mg de Na por 100 g de alimento (mg Na/100 g). A través de la industrialización por su uso como aditivo y conservante, los alimentos procesados contribuyen sustancialmente al aporte diario. Dentro de los aditivos utilizados por la industria encontramos al glutamato monosódico (exaltador de aromas), bicarbonato de sodio (neutralizante, leudante), carbonato de sodio (alcalinizante), nitrato de sodio (fijador de color), ciclamato de sodio (edulcorante), entre otros. Se estima que, del total de sodio en la alimentación, el 75 % proviene de alimentos procesados y ultraprocesados, alrededor de un 15 % de la sal de mesa añadida durante la cocción y el 10 % restante del contenido de sodio natural de los alimentos (Ministerio de Salud, 2020). La tabla 6 muestra el contenido aproximado en algunos alimentos.

En Argentina en el año 2013 se sancionó la ley 26905 con el objetivo de promover la reducción del consumo de sodio en la población. Para ello se separaron los alimentos en categorías, estableciendo valores máximos de contenido de sodio para cada una. Dentro del grupo de alimentos farináceos en el capítulo IX del CAA se estableció en la categoría de snacks o productos de copetín (artículo 760 tris) un máximo de 900 mg de sodio por cada 100 g de producto (Código Alimentario Argentino, 2022a).

Por otro lado, se encuentra vigente la ley 27642, reglamentada por el Poder Ejecutivo Nacional (PEN) mediante el decreto 151/2022, donde se establecen los valores máximos de los nutrientes críticos, entre los cuales se encuentra el Na. Si se supera el valor máximo el producto debe de presentar en su cara frontal un sello de advertencia (Poder Ejecutivo Nacional, 2022).

Actualmente las empresas alimentarias se enfrentan con el desafío de cumplir con los valores máximos establecidos por la nueva ley de etiquetado frontal, lo que incidirá en la necesidad de reformular productos y rediseñar operaciones unitarias que permitan estar en armonía con las disposiciones legales.

**Tabla 6.** Contenido aproximado de sodio en algunos alimentos.

CONTENIDO de Na (mg/ 100 g de alimento)	ALIMENTOS
<b>&gt; 1000</b>	Sal de mesa Quesos de consistencia dura tipo provolone, sardo, parmesano, roquefort. Carnes enlatadas, chacinados, embutidos, salazones, salchichas. Alimentos de copetín (papas fritas, snacks galletas, maní salado, aceitunas). Salsas y productos untables (salsa de soya, salsa mostaza, salsa kétchup, quesos untables).
<b>1000 – 500</b>	Queso tipo mar del plata, fontina. Productos de panadería (pan blanco y de salvado, galletitas de agua, galletitas dulces). Hamburguesas, chorizos frescos, medallones de pollo Sopas, caldos.
<b>500 – 100</b>	Huevo, verduras y legumbres enlatadas, manteca, margarina, copos de cereal.
<b>&lt; 100</b>	Vegetales y frutas en promedio, arroz, avena, lentejas, garbanzos, leche, yogur.

Fuente: Elaboración propia

## **1.5. Tecnologías de conservación convencionales y emergentes**

Las tecnologías de conservación de los alimentos inician a principio del siglo XIX, cuando Nicolás Appert maestro confitero y pastelero francés, desarrolla un método que consistió en sellar herméticamente los alimentos en un frasco, para luego esterilizarlo y de esta manera lograr conservarlos por un tiempo. Los procedimientos se fueron mejorando hasta lograr las conservas esterilizadas térmicamente, como los enlatados que encontramos hoy en día en el mercado (Fernández-Molina et al., 2001).

El objetivo general de la tecnología orientada a la conservación de los alimentos es poder brindar al consumidor un producto seguro y de calidad. Los productos alimenticios como frutas y verduras, son mezclas complejas de glúcidos, proteínas, lípidos, fibras, vitaminas, sustancias aromáticas, pigmentos, antioxidantes y otros compuestos orgánicos. Las técnicas tradicionales de preservación de alimentos como los tratamientos térmicos intensos, salados, acidificación, desecación y conservación química; generan cambios químicos y físicos en el alimento, modificando propiedades organolépticas y nutricionales. Otras desventajas de los tratamientos convencionales son la utilización de procedimientos que consumen altos niveles de energía y tiempo, uso de grandes volúmenes de agua y el abuso de tratamientos con calor prolongado, entre otros (Latorre, 2011). Los procesos térmicos como blanqueado, pasteurización, esterilización, fritura, deshidratación y secado, son las prácticas más utilizadas en la industria alimentaria para garantizar la seguridad microbiológica. La exposición a altas temperaturas reduce la carga microbiana, pero da como resultado cambios no deseados en el producto, como modificaciones de su textura, pérdida de nutrientes, oxidación de lípidos y hasta formación de sustancias tóxicas, como aminos aromáticas heterocíclicas producidas durante frituras prolongadas (Jadhav et al., 2021).

Nuevos avances tecnológicos se dirigen a reemplazar dichas técnicas por nuevas metodologías que se adapten a la demanda cada vez más marcada del consumidor de alimentos seguros, mínimamente procesados, libres de conservantes, nutritivos y fáciles de preparar. Las características que debería tener un buen método de conservación de alimento, según Morata Barrado (2010), implica incrementar la seguridad y durabilidad del producto, presentar la mínima modificación de las propiedades organolépticas y nutricionales, no dejar residuos, ser barato y de fácil utilización. Además, hay una tendencia por querer preservar el medio ambiente en términos de eficiencia energética, reducción del uso de agua, disminución de la emisión de gases al ambiente y del uso de sustancias químicas, entre otros.

El aumento de la demanda de los consumidores actuales de alimentos frescos, con mayor vida útil y buena calidad tanto organoléptica como nutricional, llevó a tecnologías emergentes las cuales pueden agruparse en tratamiento no térmicos y tratamientos de calentamiento no convencionales (Jadhav et al., 2021).

Dentro de los tratamientos de calentamiento no convencionales se encuentran:

- Calentamiento óhmico
- Calentamiento dieléctrico que incluye la radiofrecuencia
- Calentamiento por microondas

La energía de calentamiento en estas tecnologías se basa en un fenómeno denominado calentamiento volumétrico, donde el aumento de temperatura se genera dentro del alimento, produciendo un calentamiento rápido y uniforme, reduciendo los tiempos de cocción (Venkatesh & Raghavan, 2004).

Dentro de los tratamientos no térmicos se destacan:

- Ultrasonido
- Procesamiento con alta presión
- Pulso de campo eléctrico
- Campo magnético oscilante
- Tratamiento con luz UV y radiaciones ionizantes (rayos gamma, rayos X)

Nuevas tecnologías de gran interés que tienen la capacidad de inactivar microorganismos y preservar las características del alimento fresco, evitando pérdidas de componentes termolábiles por no producir aumento de temperatura durante el proceso (Pereira & Vicente, 2010).

En esta investigación se utilizaron tecnologías tanto convencionales (deshidratación osmótica y fritura) como emergentes (secado combinado por microondas). Las tecnologías convencionales se caracterizan por el control antimicrobiano e inhiben reacciones enzimáticas de deterioro, pero los tiempos y temperaturas, pueden generar cambios indeseables en los caracteres organolépticos y alterar la estabilidad de algunos nutrientes, como la pérdida de vitaminas y minerales. En contraposición las tecnologías emergentes no solo pueden incidir en la seguridad microbiológica del producto, sino que también pueden reducir los efectos negativos sobre los macro y micronutrientes. Con el uso de la combinación de tales tecnologías se busca generar un efecto sinérgico para mejorar la calidad del producto.



### **1.5.1. Deshidratación osmótica (DO)**

La DO es un método antiguo de tratamiento no térmico utilizado en la industria alimentaria principalmente en frutas y hortalizas, para reducir su contenido de agua y prolongar su vida útil. Es un proceso simple, económico, que requiere la aplicación de otros procesos posteriores debido a que no alcanza el descenso de actividad acuosa ( $a_w$ ) necesario para detener el deterioro microbiano (Niranjan et al., 2018). La composición química y las características organolépticas de las frutas y verduras osmodeshidratadas dan como resultado productos de alta calidad, que posteriormente pueden ser tratados por congelación o secado clásico en una corriente de aire adecuadamente calentada, obteniendo ahorros de energía en el secado (Spiazzi & Mascheroni, 1997).

Es una técnica que remueve parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos cuando son introducidos enteros o en trozos en una solución hipertónica por un tiempo y a una temperatura determinada. El gradiente de concentración entre la solución y el alimento inmerso en ella actúa como una fuerza impulsora al remover el agua del producto. Los agentes osmóticos utilizados en general son azúcares como la sacarosa, fructosa, glucosa, jarabe de almidón de maíz y maltodextrinas, y sales como el cloruro de sodio (Azura et al., 2002). La utilización de sacarosa como soluto previene el pardeamiento enzimático inhibiendo a la enzima polifenoloxidasas, responsable de la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas coloreadas que generan el cambio de color superficial no deseado en algunas frutihortícolas (Ponting et al., 1966, citado en Contreras & Smyrl, 1981).

Además de reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60% en base húmeda) permite incrementar el contenido de sólido soluble (SG), ya que se establece una doble transferencia de materia donde el alimento sufre una pérdida de agua (WL), ganancia de SG y reducción de volumen (VR) (Spiazzi & Mascheroni, 2001). El proceso de DO se caracteriza por presentar una etapa dinámica y otra más en equilibrio. La velocidad de transferencia de materia durante la etapa dinámica va disminuyendo hasta llegar a un equilibrio, que es donde la velocidad neta de transporte de materia se anula. Durante este proceso la impregnación del alimento con diferentes solutos y la lixiviación de componentes del alimento se producen por difusión, mientras que la pérdida de agua sucede tanto por difusión como por flujo capilar. (Della Roca y Mascheroni, 2011).

Según Torregiani (1993) la pérdida de agua ocurre principalmente durante las primeras 2 horas y la máxima ganancia de sólidos en 30 min. La velocidad de los intercambios de masa aumenta

con la temperatura, pero por encima de los 45 °C comienza a producirse un pardeamiento enzimático y un deterioro del sabor.

Una vez que el alimento entra en contacto con la solución osmótica (SO) se establecen dos flujos de materia simultáneos y en contracorriente, donde desde el alimento pasa a la solución agua que puede arrastrar algunos componentes disueltos del alimento, y en sentido opuesto, solutos que provienen de la SO se impregnan al alimento, ambos debido a los gradientes de agua y solutos a través de la membrana celular (Della Rocca & Mascheroni, 2011). Este fenómeno se ve reflejado en la figura 11.



**Figura 11.** Representación de la transferencia de materia durante la DO. Fuente: elaboración propia.

La WL, SG y VR dependen de las condiciones operativas utilizadas durante la DO como son la temperatura, relación másica de solución-producto y la agitación, como también del tipo de soluto y la concentración de la solución, y del tipo de tejido celular y el pretratamiento realizado en el producto (Spiazzi & Mascheroni, 2001). La característica de la materia prima varía entre las frutas y verduras y se relaciona mayoritariamente con la compacidad tisular, composición de la pared celular, contenido inicial de sólidos insolubles y solubles, espacios intercelulares y presencia de gas, relación entre las diferentes fracciones pécticas, nivel de gelificación de las mismas, y la actividad enzimática (Torreggiani, 1993, Spiazzi & Mascheroni, 1997).

Della Rocca et al. (2008) describen los principales factores que influyen en el proceso de DO:

- Tipo de agente osmótico: su elección depende del costo, compatibilidad sensorial con el producto y preservación adicional que pudiera conferirle el soluto al producto final.
- Concentración de la SO: a mayor concentración mayor pérdida de agua, aunque muy altas concentraciones pueden dificultar el pasaje de agua por la formación de una capa de soluto sobre la superficie del alimento que actúa como barrera.
- Temperatura de la solución: la pérdida de agua se ve más afectada por la temperatura que la ganancia de soluto.

- pH de la solución: mayor acidez genera cambios en la textura de frutas y hortalizas facilitando la pérdida de agua.
- Agitación de la SO: en general se ve favorecida con la agitación por la homogeneización lograda de la concentración del soluto y la temperatura durante el proceso, aunque en algunos casos puede generar daño del producto.
- Tamaño y geometría del producto: dependiendo de la superficie de contacto expuesta a la solución varía la transferencia de masa.
- Relación masa de solución / masa del producto: un incremento en la relación masa de solución y masa del producto genera un aumento en la WL y SG. A una relación mayor de 4:1 la pérdida de peso no es apreciable.
- Propiedades fisicoquímicas del alimento.

Las ventajas potenciales de la utilización de la DO según Della Rocca et al. (2008) son la mejora de la calidad en términos de color, flavor y textura, la eficiencia energética comparado con secado por aire y al vacío y la no necesidad del uso de tratamiento con químicos adicionales. También es ventaja la estabilidad del alimento durante el almacenamiento ya que es más estable un producto pretratado por osmodeshidratación (Della Rocca et al., 2008). Otra ventaja interesante del proceso es la posibilidad de impregnar el alimento con diferentes nutrientes como vitaminas y minerales, que mejoran su composición química y fortifican dicho producto (Sanjinez-Argandoña et al., 2010; Roche et al., 2015; Fernández et al., 2016; Bosco et al., 2018).

La impregnación de matrices vegetales puede realizarse tanto a presión atmosférica como bajo vacío. En la primera la transferencia de los solutos se produce desde la solución hacia el vegetal debido al gradiente de potencial químico entre el medio y el tejido celular. Es un mecanismo difusivo en donde la estructura celular de la planta actúa como una membrana semipermeable. En el segundo caso, el aire es extraído de los poros (espacios intercelulares) y la solución de impregnación penetra, cuando la presión atmosférica es restablecida, por capilaridad en los poros de la matriz vegetal (Fernández, 2018).

En nuestro caso la impregnación con hierro para fortificar las rodajas de remolacha se realizaron agregando a la SO sulfato ferroso.

### **1.5.2. Fritura**

El proceso de fritura es considerado uno de los métodos más antiguos en la cocción de alimentos ya que se practica desde los años 1600 a. c. Se emplea tanto para tratar térmicamente a los alimentos como para impartirles sabores y texturas que les son únicos. Industrialmente este

proceso se utiliza en la producción de alimentos tipo snacks. Al entrar en contacto el alimento con el aceite caliente se origina una transferencia rápida de calor produciéndose una deshidratación parcial localizada en la parte externa del producto, la que se transforma progresivamente en una corteza crocante mientras que el interior permanece húmedo pero cocido. Durante el proceso de fritura se genera un gran número de transformaciones químicas y físicas. Se modifica tanto la microestructura del producto como las características organolépticas tales como textura, color y aroma que se presentan como consecuencia de la reacción de Maillard. También se logra conservar el alimento tanto por la destrucción térmica de los microorganismos como por los efectos generados en el alimento al reducir la actividad de agua en su superficie (Achir et al., 2008; Juárez & Sammán, 2007, Bouchon et al., 2003, Bouchon & Aguilera, 2001).

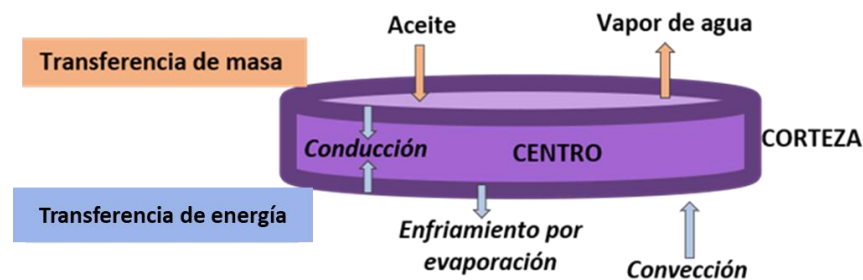
Según Bello Gutiérrez (1998) hay dos maneras básicas para la realización de una fritura:

- a) Fritura superficial o salteado: se emplea una pequeña cantidad de aceite o grasa en un recipiente poco profundo y se expone al alimento por un periodo corto de tiempo.
- b) Fritura profunda: se utiliza un recipiente hondo donde el alimento es sumergido completamente en la materia grasa previamente calentada.

La fritura profunda se puede definir como un proceso de cocción del alimento por medio de su inmersión en aceite o grasa comestible a temperaturas sobre el punto de ebullición del agua, las cuales rondan entre 160 y 180 °C dependiendo del alimento a freír. Estas condiciones en donde la materia grasa actúa como trasmisor de calor, llevan a un calentamiento rápido y uniforme del alimento produciendo cambios en sus propiedades físicas, químicas, organolépticas y nutricionales. El alimento es deshidratado, parte del aceite ingresa al producto reemplazando los espacios liberados por agua aportando sabor, color y aroma característico (Montes O. et al., 2016).

En la fritura tienen lugar simultáneamente mecanismos de transferencia de calor y de masa (figura 12). Al introducir el alimento en la materia grasa a altas temperaturas la transferencia de calor es realizada por convección desde el aceite/grasa caliente hacia la superficie del alimento y por conducción al centro del mismo. La mayor parte del agua contenida en la superficie escapa en forma de vapor durante la fritura y un pequeño porcentaje de aceite ingresa al mismo (Aguilera, 2002). La temperatura del medio de la fritura disminuye al adicionar el alimento y hay un enfriamiento del aceite también por el agua que escapa de la pieza en estado de vapor. La transferencia de masa se da en contracorriente con egreso de agua en forma de vapor del alimento e ingreso de aceite. El contenido de humedad disminuye mientras que el contenido de aceite en el producto aumenta. Durante la fritura se forman dos regiones en el producto: la capa

exterior o corteza se caracteriza por una temperatura superior al punto de ebullición del agua y por un bajo contenido de humedad y la región central que es el interior del producto, retiene más humedad y se halla a menor temperatura (Alvis et al., 2009).



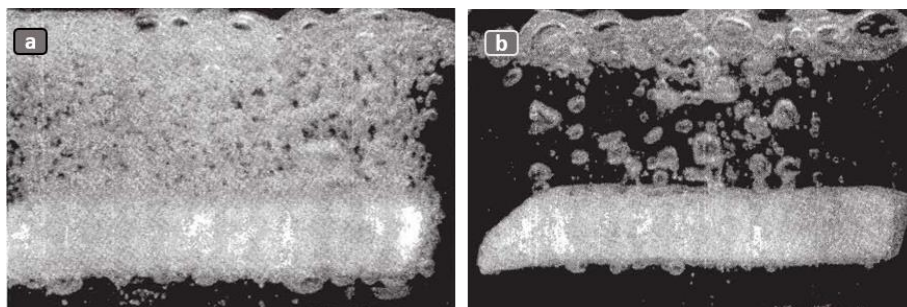
**Figura 12.** Esquema de la transferencia de masas y calor durante el proceso de fritura por inmersión.  
Fuente: adaptado de Aguilera 2002.

En el proceso de fritura las propiedades térmicas y fisicoquímicas del alimento y del aceite, la geometría del alimento y la temperatura del aceite son algunas de las variables que inciden en la transferencia de masa y calor, que finalmente determinan las características de los productos fritos (Pedreschi & Moyano, 2005).

La fritura puede ser dividida en 4 etapas (Montes O. et al., 2016):

1. Calentamiento inicial: la transferencia de calor es por convección natural, la superficie del alimento es calentado a una temperatura equivalente a la ebullición del agua sin evaporación de agua. Tiene una duración de unos 10 segundos.
2. Calentamiento de la superficie: el agua de la superficie comienza a evaporar y genera turbulencia en el aceite que rodea al mismo. La transferencia de calor pasa de natural a convección forzada. El vapor de agua impide el ingreso del aceite al alimento, comienza a formarse la corteza en la superficie del alimento.
3. Etapa de velocidad decreciente o tasa de caída: la temperatura del interior del alimento llega a 100 °C, ocurre la mayor deshidratación acompañada con la disminución de la transferencia de vapor en la superficie y en el alimento suceden varios cambios fisicoquímicos como la gelatinización y dextrinización del almidón, desnaturalización y coagulación de las proteínas, reacción de Maillard y el engrosamiento de la corteza. Es la etapa más larga.
4. Punto final de burbujeo: hay una marcada disminución en la pérdida de humedad y reducción del burbujeo en la superficie del alimento.

La figura 13 representa diferentes etapas durante la fritura de una papa bastón, las etapas 2 y 3 de mayor producción de burbuja (figura 13a) y la etapa final del cese de burbujeo (figura 13b).

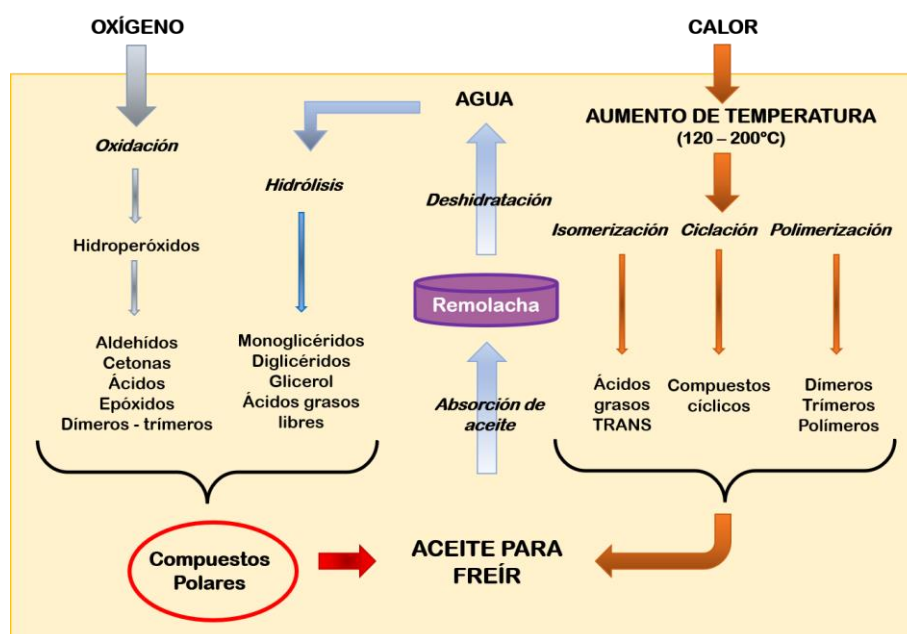


**Figura 13.** Fritura de un bastón de papa en aceite a 180°C. Se observa la expulsión de vapor de agua del alimento hacia el aceite. a) etapas 2 y 3, b) etapa final. Fuente: extraído de Aguilera, 2002.

#### 1.5.2.1. Deterioro de aceites y formación de compuestos polares

La fritura, más allá de ser muy aceptada por las características organolépticas que le proporciona al producto, produce un deterioro en el aceite/grasa utilizada. Durante el proceso aumenta su viscosidad, disminuye la tensión superficial y se oxidan los lípidos, se producen compuestos tóxicos como monómeros y polímeros de ácidos grasos cíclicos, que pueden pasar al alimento y ser ingeridos (Tirado et al., 2012). Al exponer la materia grasa utilizada a altas temperaturas, al oxígeno y a la humedad del alimento, se modifican los TAG que experimentan diferentes reacciones como oxidación, polimerización, isomerización, ciclación e hidrólisis. Lo cual afecta la calidad del aceite y genera sabores extraños y compuestos indeseados (Juárez & Sammán, 2007). La hidrólisis se produce por la humedad del alimento, lo que implica la rotura del enlace éster con la consiguiente liberación de ácidos grasos, monoacilgliceroles, diacilgliceroles y glicerol. Los TAG que poseen ácidos grasos de cadena corta son más susceptibles a la hidrólisis. Por contacto con el aire y la exposición a altas temperaturas se produce oxidación y alteraciones térmicas en los ácidos grasos insaturados, que forman reacciones en cadena de radicales libres e hidroperóxidos. Estos se descomponen en compuestos de bajo peso molecular como alcoholes, aldehídos, hidrocarburos, ácidos y cetonas. Algunas de las sustancias formadas son compuestos de carbonilos potencialmente tóxicos que pueden ser absorbidos por el producto (Ziaifarf et al., 2008). En la figura 14 se puede observar un esquema de la degradación del aceite durante la fritura. Varios de estos compuestos se polimerizan y son los responsables del espesamiento del aceite. La mayoría de los compuestos de alteración formados son más polares que su TAG original no modificado. Por ello se conocen con el término en inglés de Total Polar Materials (TPM) o contenido total de compuestos polares y su cantidad total puede determinarse mediante

cromatografía de adsorción o por equipos capacitivos (Dobarganes & Márquez-Ruiz, 2015). El valor da información acerca de la formación de ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, así como una variedad de productos de oxidación (aldehídos o cetonas). Cuando los valores de TPM son altos la calidad de la fritura disminuye. Los alimentos que se fríen en aceites con alto TPM forman rápidamente una costra oscura y al mismo tiempo absorben gran cantidad de aceite, ya que el agua escapa más velozmente en forma de vapor secándose el producto y volviéndose más poroso. Al acelerarse la pérdida de agua desaparece la cubierta protectora de vapor y aumenta el contacto del aceite con la superficie del alimento. Como resultado penetra más grasa al interior de la fritura, pero también la superficie está expuesta a una temperatura más alta lo que lleva a un dorado más intenso (Juárez & Sammán, 2007).



**Figura 14.** Esquema de degradación del aceite durante una fritura. Fuente: modificado de Ziiaifar et al., 2008.

En Argentina según el artículo 552 bis del CAA en el capítulo VII, actualizado en 2021, se consideran no aptas para su uso grasas y aceites de fritura que presenten alteraciones o deficiencias en las características organolépticas de olor y sabor y/o las grasas y aceites que presenten TPM igual o superior al 25 % (Código Alimentario Argentino, 2021c).

### 1.5.2.2. Factores que afectan la absorción de aceite

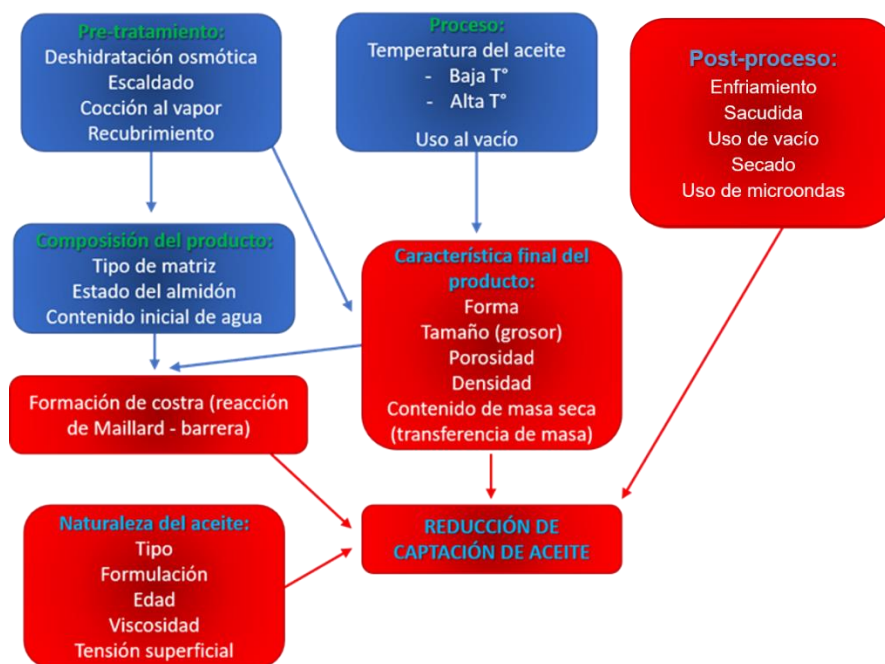
Según Montes O. et al. (2016) existen diversos factores que pueden afectar el proceso de absorción de aceite, entre los que se destacan la temperatura, tiempo, características del alimento,

agentes humectantes y tratamientos realizados antes y después de la fritura. Respecto a la temperatura cuanto más caliente se encuentre el aceite menor será la absorción en el alimento. El máximo valor es de 180 °C dado que por encima de este se produce su descomposición. Existe una correlación entre tiempo y temperatura donde a mayor exposición al aceite se eleva la absorción del mismo en el producto frito, pero al aumentar la temperatura se reduce el tiempo y en consecuencia la absorción. Por otro lado, a mayor calentamiento del aceite menor estabilidad, lo que supone mayor presencia de compuestos tóxicos. Las características del alimento (matriz estructural, forma y porosidad, composición química en relación al contenido de lípidos y humedad) afectan los procesos de pérdida de agua y absorción de aceite (Dobarganes et al., 2000).

Los agentes humectantes se relacionan con el deterioro del aceite ya que la composición se modifica durante el proceso de fritura. Se generan compuestos polares que reducen la tensión superficial (entre aceite y agua) y aumentan la absorción de aceite (Brannan et al., 2014). El tipo de aceite/grasa a utilizar también influye en la absorción. Los aceites de alto contenido de ácido oleico presentan mayor estabilidad en su estructura química al someterlos a altas temperaturas, es el caso del aceite de oliva y aceites modificados genéticamente como el de girasol y cártamo "alto oleico" (Tirado et al., 2012). Asimismo el incremento del área de contacto del alimento con el aceite, tendrá una mayor incidencia en la absorción durante la fritura.

Algunos de los pre y postratamientos utilizados para reducir la absorción de aceite son la deshidratación osmótica, tecnologías innovadoras como el campo de pulso eléctrico y radiación infrarroja, recubrimientos superficiales de las matrices tratadas, procesamiento de fritura por vacío asistida por microondas o mediante convección de aire (Air-Fryer) y diferentes secados posteriores a la fritura (Figura 15). Rodríguez et al. (2013) estudió la aplicación de deshidratación osmótica previo a la fritura en snacks de banano. Las muestras presentaron menor absorción de grasa y contenido de humedad que aquellas que no tenían el pretratamiento.





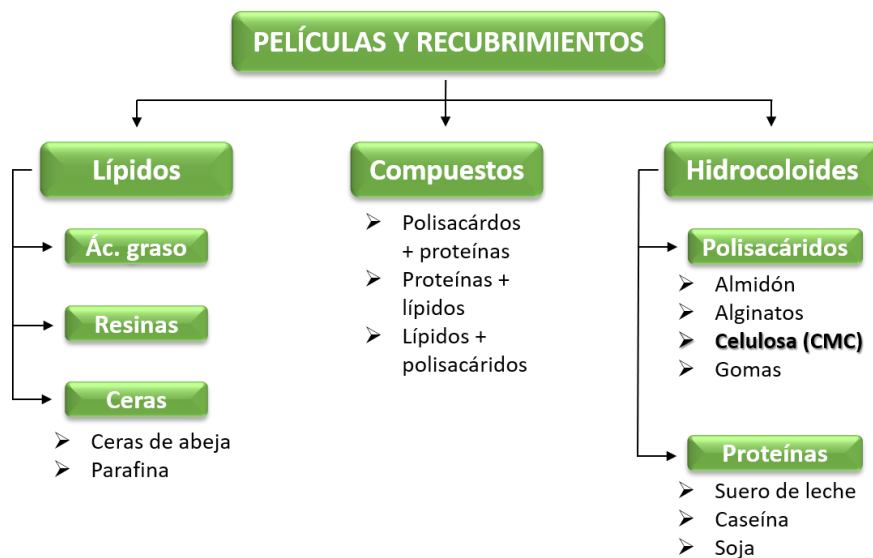
**Figura 15.** Factores que influyen en la absorción de aceite en el producto. *Fuente: modificado de Marchesino et al., 2020.*

### 1.5.2.3. Películas y recubrimientos comestibles

El uso de películas comestibles sobre productos alimenticios con el objetivo de aumentar el tiempo de almacenamiento y mejorar su aspecto es una técnica realizada hace siglos. Como ejemplo se puede mencionar el empleo de cera para retrasar la deshidratación de los cítricos en China en los siglos XII y XIII. En la actualidad el uso de películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) se ha extendido a varios alimentos como productos cárnicos, frutas y hortalizas, entre otros.

Los términos RC y PC se utilizan indistintamente para referirse a la aplicación de matrices transparentes y comestibles sobre las superficies de los alimentos con el fin de retardar la deshidratación, modificar el intercambio de gases y disminuir la pérdida de sustancias aromáticas. También son utilizados en alimentos fritos para reducir la absorción de la materia grasa. Las PC son matrices preformadas obtenidas por moldeo y aplicadas sobre la superficie de un alimento luego de ser producidas. En cambio, un RC es una matriz fina y continua que se dispone sobre la superficie del alimento mediante aspersión o inmersión del mismo en la solución formulada. El espesor de las PC es generalmente mayor al de los RC (Solano-Doblado et al., 2018).

Las características y funciones dependen de la materia prima utilizada. Los biopolímeros más empleados son de naturaleza glucosídica, lipídica, proteica o mezcla de ellos. Se pueden clasificar en tres categorías diferentes, como lo muestra la figura 16.



**Figura 16.** Clasificación de películas y recubrimientos comestibles. Fuente: modificado de Kapetanakou et al. 2014.

En los productos fritos el uso de hidrocoloides como revestimiento reduce la absorción de aceite durante su cocción. Según Salehi (2020) la modificación de la superficie del producto ha demostrado ser el procedimiento más efectivo para reducir la absorción de aceites en las frituras, al ser principalmente un fenómeno de superficie. El uso de RC a base de proteínas y carbohidratos en los productos fritos da como resultado una mejor capacidad de retención de humedad, lo que eventualmente conduce a productos con menor contenido de grasa. Según el sustrato utilizado para el recubrimiento puede reducirse la absorción de grasa entre un 20 % y un 55 % comparado con frituras sin revestimiento (Salehi, 2020).

### 1.5.2.3.1. Carboximetilcelulosa (CMC)

La carboximetilcelulosa es un aditivo alimentario que se encuentra bajo la numeración E466. En el CAA en su artículo 1398 del capítulo XVIII, actualizado en 2021, se describe a la sal sódica del carboximetil éster de la celulosa como un polvo soluble en agua que se presenta en forma de finos granos o fibras finas de aspecto blanco o amarillento, casi incoloro e insípido (Código Alimentario Argentino. 2021d).



### **1.5.3. Secado combinado**

Durante la elaboración del snack de remolacha se utilizaron varios procesos de secado (con pretratamiento de DO) que abarcaron la utilización de microondas junto con secado convectivo, lo cual contribuyó a disminuir el tiempo de exposición al tratamiento térmico.

Uno de los métodos más antiguos de preservación de alimentos es el secado. Durante el proceso mejora la conservación microbiológica y se retardan varias reacciones indeseables, debido a la eliminación de agua en el alimento. Además la deshidratación disminuye el peso del alimento, reduce costos de envasado, almacenamiento y transporte (Ibarz & Barboza-Cánovas, 2005).

Se lo puede definir como una operación de transferencia tanto de calor, como de materia, ya que al aplicar calor se evapora el agua del alimento hacia una corriente gaseosa no saturada, que disminuye la humedad del mismo. A nivel industrial, el secado convencional o secado por aire caliente es el método más utilizado para deshidratar alimentos. Las temperaturas utilizadas varían en general de 60-80 °C y se requieren tiempos prolongados para alcanzar el contenido de humedad deseado (Wais, 2011).

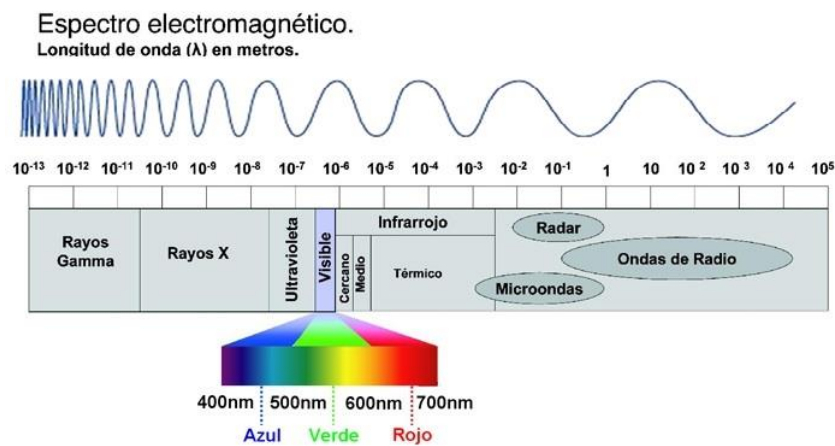
El secado implica una serie de cambios (físicos, químicos y sensoriales) en el alimento que van a depender tanto de su composición, como del método utilizado, la temperatura y el tiempo de exposición al mismo. Las modificaciones sufridas como variación de color, sabor, textura, entre otros, están muy relacionadas con la calidad del producto. Con el fin de mejorar su calidad en cuanto a características nutritivas, sensoriales y también con el objetivo de reducir el consumo energético, es indispensable diseñar procesos que generen el mínimo detrimento al alimento. (Bosco, 2021).

La utilización de secado combinado permite la optimización de los procesos para reducir los tiempos de exposición al tratamiento térmico, lo cual implica una gran ventaja tecnológica que se traducirá en mayor velocidad de secado y en una conservación de las características organolépticas de los productos (Della Rocca & Mascheroni, 2011).

#### **1.5.3.1. Microondas y secado convectivo**

La radiación es energía que viaja en forma de ondas de alta velocidad. En el espectro electromagnético las microondas se encuentran ubicadas entre la radiación infrarroja y las ondas radioeléctricas (figura 18). Son ondas de baja frecuencia y baja energía que corresponden a

longitudes de onda entre 0,1 y 1m en el aire con frecuencias entre 300 y 3000 MHz (Arballo, 2013).

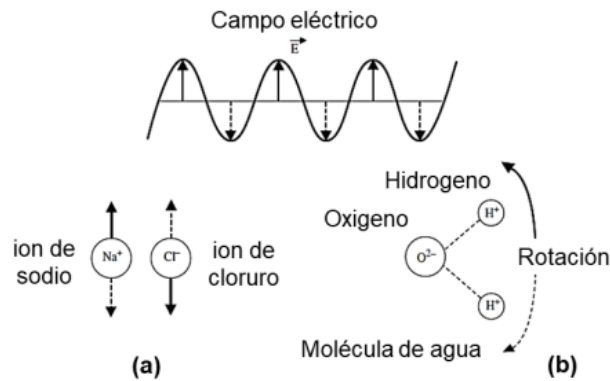


**Figura 18.** Espectro electromagnético. Fuente: Imagen extraída de Arroyo, 2013.

Las microondas son radiaciones no ionizantes que no tienen suficiente energía para separar los enlaces atómicos pero que pueden causar daños físicos según la distancia, frecuencia, potencia empleada y el tiempo de exposición. Actualmente la industria del procesamiento utiliza solo frecuencias limitadas debido a la interacción entre las microondas y los dispositivos de telecomunicaciones. Generalmente los hornos de microondas industriales y domésticos utilizan las frecuencias de 0,915 y 2,45 GHz (Guo et al., 2017; Reyes Chaparro, 2022).

La radiación microondas es una forma de energía que se manifiesta en calor cuando interactúa con el alimento. Al ser las radiaciones en parte reflejadas, en parte transmitidas y en parte absorbidas la fracción que genera calor es la absorbida por los alimentos. Los campos eléctricos interactúan con el agua contenido en el alimento (rotación dipolar) y con los iones de sales (interacción iónica), para generar calor en forma volumétrica en su interior (Ryynänen, 1995). Al ser la molécula de agua un dipolo colocadas en un campo eléctrico alterno experimenta una fuerza de rotación que intenta orientarla en la dirección del campo. Cuando las moléculas intentan orientarse en la dirección del campo chocan al azar con sus vecinas. Cuando el campo invierte su dirección intentan alinearse con la dirección invertida y ocurren más colisiones. Esto provoca agitación térmica y calentamiento por fricción que producen gradientes de temperatura no uniforme. Asimismo se produce la interacción iónica (conducción iónica): la sal, un compuesto común en los alimentos, se compone de iones de sodio (positivos) y cloruro (negativos) en forma disociada. El campo eléctrico en la cavidad acelera partículas en una dirección y aquellas con carga opuesta en otra dirección. Las partículas aceleradas chocan entre

sí e imparten energía cinética. Como resultado de la agitación aumenta la temperatura de la partícula. Las más agitadas interactúan con sus vecinas y les transfieren agitación o calor. Este calor luego se transfiere a las otras partes del material por conducción térmica (Reyes Chaparro, 2022) (figura 19).

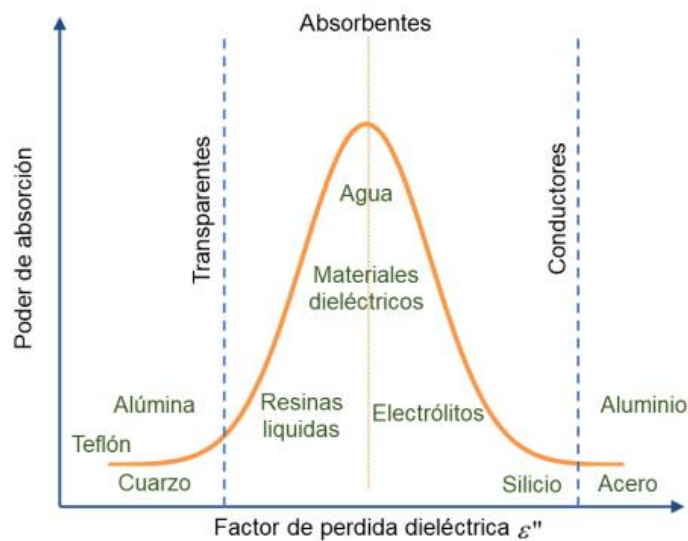


**Figura 19.** Mecanismos de absorción de energía de microondas: (a) interacción iónica, (b) rotación dipolar. Fuente: imagen adaptada de Sahin & Sumnu, 2006.

Las propiedades que determinan la interacción del alimento con las microondas son la constante dieléctrica y el factor de pérdida dieléctrica. La constante dieléctrica se relaciona con la capacidad del material de almacenar energía electromagnética y el factor de pérdida dieléctrica tiene en cuenta la disipación de energía de la microondas que es convertida en calor (Della Rocca, 2010).

El calentamiento por microondas está directamente relacionado con el factor de pérdida dieléctrica. El material dieléctrico de acuerdo a su interacción con el campo electromagnético (figura 20) se puede clasificar como:

- Transparentes: son materiales que permiten a las microondas transmitirse en su interior sin interactuar en absoluto, debido a su poca o ninguna atenuación (polarización dieléctrica).
- Conductores: son materiales que proporcionan a las microondas la capacidad de poder reflejarse en su superficie y no disiparse en forma de calor, en consecuencia la profundidad de penetración es nula.
- Absorbentes: son materiales que facilitan transformar eficazmente la energía electromagnética en calor.



**Figura 20.** Poder de absorción de las microondas en función del factor de pérdida dieléctrica. *Fuente: Reyes Chaparro, 2022.*

Algunas de las ventajas de calentamiento por microondas sobre el convectivo son:

- elevada velocidad de calentamiento
- profundidad de penetración de la fuente de calor generando mayor eficiencia en la difusión de calor y materia
- no genera pérdidas por calentamiento del medio circulante
- provoca cambios significativos en el alimento en corto tiempo
- mejora la calidad del producto obtenido

En la industria alimentaria se encuentra restringido por su elevado costo. No obstante, es utilizado para alimentos que requieren secado corto como: secado de papas chips y descongelación rápida de congelados, entre otros (Ibarz & Barboza-Cánovas, 2005).

El costo de secado puede reducirse cuando se usa el secado por microondas junto con otro método de menor costo. En el microondas el alimento es calentado directamente por las ondas electromagnéticas ya que el aire del interior de horno absorbe muy poca energía. La utilización de hornos microondas combinados que trabajan en simultáneo con convección de aire (calentado por una resistencia) reducen tiempos de secado y costos (Della Rocca, 2010).

## **1.6. Textura**

Las propiedades sensoriales, como la textura, son atributos de los alimentos que son detectados mediante nuestros sentidos. Algunas de las propiedades se perciben por medio de uno de ellos, mientras que otras se detectan por la combinación de los mismos. La textura por ejemplo es percibida por el tacto a través de la masticación que transmite información desde receptores sensoriales hacia secciones específicas del cerebro, integrándose con otras informaciones recibidas y otras ya almacenadas en la memoria dando una impresión general de su textura. El oído y la vista también participan en este complejo proceso (Lewis, 1993). Según Anzaldúa-Morales (1994) “la textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación”.

Dicha propiedad mecánica se relaciona con la composición química del alimento determinada principalmente por su contenido en agua y lípidos y por algunas proteínas e hidratos de carbono, como también por el contenido de gases (aire, dióxido de carbono) (Fellow, 1994). Asimismo, depende de sus propiedades físicas y químicas percibidas por los sentidos. Con la deformación del alimento la textura comienza a evidenciarse y se perciben las características texturales. Las cuales se pueden clasificar en (Anzaldúa-Morales, 1994):

- Atributos mecánicos como la dureza, cohesividad y fracturabilidad, entre otros.
- Atributos geométricos que están relacionados con el tamaño y la forma o la orientación de las partículas como arenosa, gruesa, cristalina y ahuecada, entre otros.
- Atributos de composición que indican la presencia de algún componente en el alimento, como la humedad, untuosidad, harinosidad, entre otros.

Algunos autores consideran que el uso de paneles sensoriales es la forma idónea de caracterizar las propiedades texturales de un alimento, tal como afirma Lewis (1993) “la textura solamente puede ser medida mediante técnicas sensoriales que implican el uso de jurados catadores”.

Se dispone de diferentes herramientas instrumentales para su medición, clasificándose en tres categorías:

- Métodos fundamentales que constan de métodos para medir varias propiedades físicas bien definidas y relacionarlas con características texturales definidas. El comportamiento mecánico del alimento puede describirse matemáticamente y relacionarse con características sensoriales.



- Métodos empíricos los cuales miden propiedades de los alimentos no bien definidos y que no pueden expresarse fácilmente en unidades fundamentales.
- Métodos imitativos los cuales simulan los grados de deformación y fuerza al cual está sometido el alimento al ser introducido en la boca.

La ciencia reológica, relativamente nueva para el desarrollo de productos alimenticios y su aceptabilidad, contribuye en la calidad de los mismos. No sólo desde el punto de vista de su composición nutricional, sino también por atributos hedonistas que se traducen en la creciente demanda del mercado de productos con propiedades sensoriales que cumplan con las expectativas de los/las consumidores/as.

### **1.7. Snack saludable**

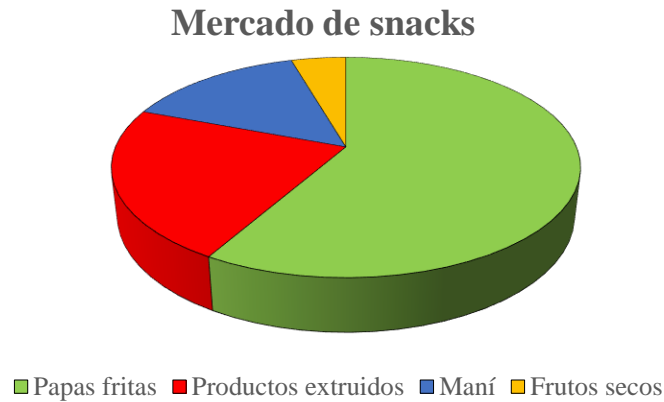
La palabra snack se utiliza genéricamente para nombrar alimentos que suelen consumirse fuera del horario habitual de las comidas básicas diarias. En general son asociados con productos ligeros de consumo rápido. Pueden tener finalidades varias, como satisfacer un deseo o capricho, reemplazar una comida principal, participar de reuniones sociales o saciar una necesidad alimenticia entre las comidas. Se pueden clasificar en snacks dulces o salados, o según su aporte calórico y nutricional pueden catalogarse en saludables o no (Salazar Lizarazo, 2019).

En Argentina el Código Alimentario Argentino (2022a) en el artículo 760 tris define a los snacks como:

Con la denominación de productos para copetín (snacks) o para aperitivos se entiende a los elaborados a base de papas, cereales, harinas o almidones (derivados de cereales, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas), con o sin la adición de sal, especias, frutas secas, saborizados o no, con o sin el agregado de otros ingredientes permitidos, horneados o fritos (...). Estos productos tendrán como máximo 900 mg de sodio /100 g de producto.

El proceso para la elaboración de snacks es muy variado, los más comercializados son los fritos, seguido de los extrusionados y horneados. Según Arias & Enea Spilimbergo (2020) el mercado de los snacks está liderado por las papas fritas seguido por productos extruidos varios (como palitos de maíz inflado y palitos salados, entre otros), el maní y por último los frutos secos (figura 21). Dentro de la industria alimentaria el snack es considerado muy rentable y Latinoamérica es una región con gran potencial de crecimiento. Cada vez hay más incorporación

de variedad de estos productos, con una marcada tendencia en la innovación y diseño de snacks más saludables.



**Figura 21.** Tendencia del mercado en snacks. Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de Arias & Enea Spilimbergo, 2020.

Se puede afirmar que se trata de productos muy elegidos por la población general los cuales en su mayoría presentan alto contenido en lípidos y sal agregada. El consumo elevado tanto de sodio como de grasas principalmente saturadas aumentan los riesgos de enfermedades cardiovasculares. Es así que con el propósito de formular un producto que vaya en dirección contraria de la mayoría de snacks disponibles actualmente en el mercado (exhiben perfiles nutricionales no equilibrados), se avanzó en la formulación de un snack que tuviera como materia prima un vegetal nutritivo y de poco consumo entre la población y que contribuyera a la ampliación de la oferta de snacks saludables. Se trabajó en esta investigación en un snack a partir de rodajas de remolacha fortificadas con hierro de menor contenido lipídico y sodio que los snacks comerciales.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La principal causa de mortalidad a nivel mundial son las enfermedades no transmisibles, las cuales según la Organización Panamericana de la Salud (2021b), causaron aproximadamente un 70 % de las muertes registradas en el año 2016. En la región de las Américas las enfermedades cardiovasculares representan casi un 35 % de las muertes. Hay estimaciones de muerte prematura (individuos menores de 70 años) causada por estas enfermedades de cerca de 1,9 millones de personas cada año en las Américas. Los principales factores de riesgo son el sobrepeso, obesidad, hipertensión, hiperglucemia, hiperlipemias y el sedentarismo, entre otros (Organización Panamericana de la Salud, 2021c). Estas condiciones se encuentran íntimamente asociadas con mayor morbimortalidad ante la emergencia sanitaria de COVID-19.

Los hábitos de vida actuales tales como elevado estrés, sedentarismo, dietas desequilibradas, consumo de alimentos ultraprocesados entre los cuales se encuentran la mayoría de los snacks (caracterizados por contener altas concentraciones de sodio, grasas -principalmente saturadas y trans-, azúcares simples y calorías) favorecen la incidencia de dichos padecimientos (Ballone, 2022). Los patrones dietéticos desequilibrados repercuten en la salud y el bienestar de los niños y las niñas en edad escolar, reduciendo cada vez más la edad de aparición de los factores de riesgo. Según datos obtenidos de la tercera encuesta mundial de salud escolar 2018 se observa una fuerte tendencia en Argentina de aumento de sobrepeso y obesidad en estudiantes. En el año 2007 el porcentaje de estudiantes con sobrepeso era de 24,5 %, en el 2012 de 28,6 %, llegando a 33,1 % en el 2018. Respecto a la obesidad también fue acrecentándose de 4,4 % en el año 2007 hasta 7,8 % en el 2018 (Ministerio de Salud, 2018).

Por otra parte, la deficiencia de hierro es la causa más frecuente de anemia con una incidencia 2,5 veces mayor en países en vías de desarrollo que en los desarrollados. Según la OMS casi el 25 % de la población mundial es afectada por esta condición (Sociedad Argentina de Hematología, 2021). En Argentina según datos de la ENNyS del año 2007 el 16 % de niñas y niños menores de 5 años fueron diagnosticados con anemia (Ministerio de Salud, 2007). Se trata en consecuencia de un problema de salud pública que ha sido abordado desde el estado con estrategias como la fortificación de harinas y productos panificados mediante la implementación de la ley 25.630 (Congreso de la Nación Argentina, 2002).

Como medida macro en lo que respecta a la importancia de advertir a los y las consumidoras sobre los excesos de ingredientes críticos (azúcares, sodio, grasas, calorías) en los productos, prevenir la malnutrición y reducción de las ENT, se publicó en 2018 el Manual de

Recomendaciones sobre Etiquetado Frontal de Alimentos y se promulgó la ley 27.642 (Congreso de la Nación Argentina, 2021). Se resguarda así el derecho de estar informado en forma simple y comprensible del contenido de los alimentos procesados y poder tomar decisiones activas que redunden en la protección de la salud

Finalmente, es primordial hacer foco en el rol que cumple la industria alimentaria y en los desafíos económicos, culturales y tecnológicos que enfrenta para ofertar productos que estén en línea con las nuevas tendencias vinculadas al derecho a una alimentación adecuada. La presente investigación buscó avanzar en esta dirección al abordar mediante la combinación de tecnologías convencionales y emergentes la formulación de un snack fortificado con hierro, con menor contenido de lípidos y sodio que los snacks comerciales. Cabe destacar que la matriz seleccionada consistió en un vegetal que exhibe un bajo consumo nacional per cápita como es la remolacha. De esta manera se contribuiría también a diversificar el tipo de materias primas utilizadas en este grupo de productos.

### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis**

Es posible elaborar un snack a base de remolacha fortificado con hierro, a través de un proceso de impregnación del producto con el mineral.

#### **3.2. Hipótesis**

El recubrimiento con una solución de Carboximetilcelulosa de las rodajas de remolacha disminuye la absorción de aceite durante la fritura.

#### **3.3. Hipótesis**

El producto final presenta un contenido de sodio inferior al límite establecido por el CAA en el artículo 760 tris del capítulo IX. Sus niveles de lípidos y de sodio, son menores que los valores promedio presentes en productos de copetín comerciales.

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*

## **4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

### **4.1. Objetivo General:**

Obtener un snack saludable de remolacha fortificado con hierro, de bajo contenido en lípidos y sodio.

### **4.2. Objetivos Específicos:**

1) Determinar las condiciones de operación durante la deshidratación osmótica y las concentraciones de solutos hipertónicos (sacarosa y cloruro de sodio) y de sulfato ferroso en la solución deshidratante, para obtener un producto con concentraciones de sodio adecuadas y fortificado con hierro según establece el CAA en el artículo 760 tris y 1363 respectivamente (Código Alimentario Argentino, 2022a; Código Alimentario Argentino, 2021b).

2) Evaluar el contenido de humedad durante los diferentes procesos de deshidratación osmótica, fritura y secado combinado (microondas y convección de aire caliente) en distintos tiempos, para obtener un producto con una humedad y textura características de un snack.

3) Comparar el contenido de grasas totales de las muestras obtenidas con diferentes tratamientos previo a la fritura (con y sin DO, sin CMC, con CMC a diferentes concentraciones y agregado de plastificante).

4) Modelar matemáticamente el proceso de deshidratación osmótica con modelos de la literatura como modelos de Page, Henderson - Pabis, Peleg y Crank. Asimismo, calcular el coeficiente de difusión efectiva del agua en los procesos de DO, fritura y secado combinado mediante la aplicación del último modelo y comparar este valor con otros trabajos de investigación similares para ambos procesos.

5) Analizar el contenido de sodio y lípidos obtenido en el producto final y compararlo con snacks del mercado actuales.



## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5. 1. Materiales

#### 5.1.1. Materia Prima

Remolacha (*Beta vulgaris* L variedad *Conditiva*): se utilizaron remolachas hortícolas rojas compradas en comercios minoristas de verduras de CABA, buscando tamaños similares para lograr láminas homogéneas.

Agua destilada.

Azúcar (sacarosa): se empleó azúcar blanca comercial, marca Ledesma.

Sal (cloruro de sodio, NaCl): se utilizó sal fina comercial, marca Dos Anclas.

Sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ): marca Carlo Erba Reagents (Dasitgroup). Se eligió por su bajo costo y por su elevada solubilidad en agua, lo que lo hace más biodisponible.

Ácido ascórbico: marca Biopack, grado farmacéutico y alimenticio (USP) (United States Pharmacopea).

Carboximetilcelulosa sódica: Aditivo alimenticio en polvo. Se utilizó la marca de MG Química.

Glicerina líquida vegetal: marca Breaking Lab

Aceite: se empleó aceite de girasol comercial de la marca Natura.

### 5. 2. Métodos

#### 5.2.1. Preparación de las muestras

Se procedió al lavado y cortado de las remolachas. El corte en láminas fue realizado con la ayuda de una mandolina (figura 22a), logrando así, rodajas lo más uniformes posibles. Se realizaron muestras con un grosor de 5 mm, 2,5 mm y 2 mm,

Para la pesada, tanto de las rodajas de remolacha como para los solutos utilizados para la solución se utilizó una balanza analítica (marca OHAUS Traveler, modelo TA1501, EEUU) con una precisión de 0,1 g y máxima pesada de 1500 g (figura 22b).



**Figura 22.** Corte de láminas con mandolina (a) y pesada de la muestra (b).

## **5.2.2. Deshidratación osmótica**

### **5.2.2.1. Búsqueda de las concentraciones adecuadas en la solución hipertónica**

En un principio se realizó la búsqueda de las concentraciones de soluto para la DO. Se prepararon varias soluciones hipertónicas combinando concentraciones diferentes de sacarosa, cloruro de sodio, sulfato ferroso y ácido ascórbico en agua destilada, con el objetivo de lograr una pérdida de peso y humedad considerable. Además de ello, generar la impregnación de Fe adecuada sin aumentar significativamente las concentraciones de sodio del producto.

Primero se buscó las cantidades a utilizar del soluto deshidratante variando combinaciones entre sacarosa y NaCl, donde se mantuvo una concentración final de la solución de 40 % m/m (40 %, 37,5 % y 35 % de sacarosa con 0 %, 2,5 % y 5 % de NaCl respectivamente). La elección de dicha concentración fue basada en diferentes estudios donde observaron que concentraciones de soluto (en este caso de sacarosa) mayores al 40 % aumentan la viscosidad de la solución, requiriendo mayor agitación y gasto energético, con menor transferencia de solutos (Della Rocca & Mascheroni, 2011). Algunos estudios (Teles et al., 2006, Ferrari & Hubinger, 2008) han observado que un exceso de sacarosa en la solución (por arriba de 55° Brix) puede actuar como una resistencia alrededor del producto disminuyendo la transferencia de masa de agua de la fruta hacia la solución.

La elección de sacarosa y cloruro de sodio como solutos de la solución se basa en su bajo costo y disponibilidad en el mercado. Su mezcla formando soluciones ternarias presenta un efecto sinérgico (Della Rocca et al., 2013). Se realizaron ensayos con sacarosa en mayor concentración, reemplazando una parte por NaCl, buscando obtener mayor deshidratación y mejor textura sin generar un aumento significativo de sodio en el producto.

Fundado en estudios anteriores (Roche et al., 2015 y Bosco et al., 2018) con respecto a la impregnación del mineral calcio en matrices vegetales, se empleó en los primeros ensayos una concentración de sulfato ferroso de 5 % m/m. La concentración se fue ajustando con el fin de cumplir con los criterios establecidos de un alimento fortificado según el artículo 1363 del CAA, en el capítulo XVII, actualizado en 2021 (Código Alimentario Argentino, 2021b).

A la solución hipertónica se le agregó ácido ascórbico con el fin de mantener un pH ácido. Las concentraciones empleadas se basaron en experiencias realizadas por Bosco et al. (2018).

### 5.2.2.2. Ensayos de DO / Impregnación

La muestra de láminas de remolacha fue sumergida en la solución hipertónica y colocada en un recipiente, cuya boca fue cubierta por papel film para evitar cualquier contaminación o pérdida de sustancias volátiles. Dicho recipiente fue introducido dentro de un agitador orbital (marca FERCA, modelo TT400, Argentina) con controlador de temperatura (figura 23). La relación masa solución/masa de remolacha empleada fue de 4:1. Se agitó a 120-130 rpm y a temperatura constante de 40 °C.



**Figura 23.** Agitador orbital con sistema (remolacha/solución) en su interior.

La temperatura utilizada durante el proceso de DO, la agitación y la relación masa de solución y masa de remolacha, se basaron en varios estudios consultados (Silva Paz et al., 2015; Roche et al., 2015; Bosco et al., 2018 y Della Rocca et al., 2013). Finalmente, se extrajeron muestras durante el proceso de deshidratación/impregnación, a diferentes tiempos, con el fin de evaluar la humedad y determinar la concentración de Fe.

### **5.2.2.3. Determinación de humedad**

Para la determinación de la humedad, se tomó una muestra de remolacha fresca y muestras osmodeshidratadas a intervalos de 30 minutos para la primera muestra y de 1 hora para las restantes hasta completar 6 horas. Cada muestra fue extraída del recipiente, enjuagada cuidadosamente con agua destilada para extraer la sacarosa que pudiera quedar adherida en la superficie y secada suavemente con papel absorbente. Posteriormente las rodajas de remolacha fueron pesadas en balanza analítica (marca Denver Instrument, modelo PI214, EEUU) con precisión de 0,1 mg, para analizar la variación de la pérdida de peso en función del tiempo de deshidratación osmótica.

Los ensayos fueron realizados por triplicado para cada tiempo y para el cálculo de las curvas de humedad fue tomado el valor promedio.

El contenido de la humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa, donde la temperatura inicial de la estufa fue de 70 °C durante 2 horas y luego se elevó a 104 °C por 72 horas (AOAC, 1996).

Las ecuaciones para determinar la Humedad en base húmeda (H(bh)) y en base seca (H(bs)) son las siguientes:

Humedad en base húmeda (H(bh)):

$$H_{(bh)(\%)} = \frac{(m_0 - m_f)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Humedad en base seca deriva de la relación entre la humedad en base seca y la humedad en base húmeda que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$H_{(bs)} = \frac{H_{bh}}{1 - H_{bh}} \quad (2)$$

Donde:

H (%): porcentaje de humedad.

m<sub>0</sub>: masa en g de muestra de remolacha inicial.

m<sub>f</sub>: masa en g de muestra de remolacha en el tiempo t.

### 5.2.3. Fritura

#### 5.2.3.1. Búsqueda de temperatura y tiempo de fritura

Posterior a la DO se lavaron suavemente las láminas para extraer el excedente de sacarosa de la superficie, se secaron con papel absorbente y se pesaron muestras de 100 a 150 g para ser sometidas a una fritura profunda, manteniendo una relación producto/aceite de 1:6 a 1:10 (Sauterna Hurtado, 2008).

Después de cada fritura se colocaron las rodajas sobre papel absorbente para retirar el aceite de la superficie, se pesaron y se tomaron muestras para la determinación de lípidos. Se realizó por triplicado.

Las rodajas fueron fritas en aceite de girasol en una relación masa aceite / masa remolacha de 6:1. Dentro de los aceites más empleados para la fritura se eligió el de girasol, por su bajo costo y estabilidad al someterlo a temperaturas elevadas, en comparación con otros (Shinde & Gupta, 2015). La cocción por fritura por inmersión fue realizada en una freidora automática (marca Moulinex, modelo UNO M, código: AF134D59, Argentina) con capacidad para 1kg de alimento y 1,8 litros de aceite con potencia de 1400 a 1600 W (figura 24a).



**Figura 24.** Equipos utilizados para la fritura (a) y medición de TPM (b).

Se realizaron frituras a temperaturas de 170 °C y 180 °C en tiempos de 2, 3, 4 y 5 minutos. Basados en los resultados encontrados en estudios realizados por Xie et al. (2021), Lumanlan et al. (2020) y Daraei Garmakhany et al. (2012), donde se deduce que la mayor absorción de aceite se produce durante el enfriamiento lento del producto, las muestras fueron colocadas por un

minuto a temperaturas bajo cero (-10°C) en freezer horizontal (marca Gafa, modelo M210AB, Argentina).

Con un medidor de aceite de frituras para gastronomía (marca TESTO 270, modelo 0563 2750, Alemania) se midieron los TPM en el aceite de girasol a temperatura ambiente, después de haber sido utilizado para la fritura a distintas temperaturas (figura 24b).

### 5.2.3.2. Recubrimiento con CMC

Previo a la inmersión en aceite las remolachas fueron recubiertas con carboximetilcelulosa mediante dos técnicas: aspersión e inmersión, con el fin de reducir la absorción de lípidos durante la fritura y evaluar la técnica más favorable para tal propósito. Dentro de las diferentes muestras realizadas también se utilizó, junto con CMC, glicerol al 0,5 % m/m por su característica plastificante (García-Figueroa et al., 2019).

La solución se realizó con agua destilada y CMC al 0,25 y al 0,5 % m/m. Se pesó el CMC en una balanza analítica (marca Denver Instrument, modelo PI214, EEUU) con precisión de 0,1 mg (figura 25a). Las rodajas tratadas por aspersión fueron dispuestas sobre una rejilla y rociadas de ambos lados (figura 25b). Las que fueron inmersas en la solución permanecieron durante 1 minuto (figura 25c). Luego del recubrimiento se colocaron en estufa a 50 °C durante 4 minutos.



**Figura 25.** Tratamiento previo a la fritura por inmersión, **a)** pesada del CMC, **b)** recubrimiento con CMC por aspersión, **c)** recubrimiento con CMC por inmersión.

### 5.2.3.3. Determinación de lípidos por Soxhlet

Uno de los métodos empleados para la determinación de lípidos en alimentos es el método Soxhlet que consiste en una extracción semicontinua con disolvente (AOAC, 1990). La muestra sólida pulverizada y dentro de un cartucho de material poroso es colocada en la cámara del extractor Soxhlet. El disolvente del matraz es calentado y al condensar pasa por la muestra

extrayendo los analitos solubles. Al alcanzar la parte superior del sifón lateral, el líquido asciende por el sifón retornando al matraz de ebullición. Este ciclo se repite varias veces y posteriormente el disolvente es evaporado. La grasa se mide por pérdida de peso de la muestra.

El análisis de lípidos se hizo por triplicado. Se tomó una muestra de remolacha frita (10 g que representan entre 3 y 4 rodajas) y se llevó a secar a estufa de convección con aire caliente hasta alcanzar peso constante. El disolvente utilizado fue éter de petróleo (35 - 60 °). La muestra se dejó durante 3 horas (figura 26).



a) Dispositivo de extracción soxhlet.

b) Muestra de remolacha triturada.

c) Evaporación de disolvente más analitos de muestra bajo la cámara.

d) Grasa extraída de la muestra.

**Figura 26.** Método de Soxhlet para extracción de lípidos.

El porcentaje en grasa  $G$  (%) se calcula según la siguiente expresión:

$$G (\%) = \frac{m_2 - m_1}{M} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$m_1$ : masa en g del cristizador vacío.

$m_2$ : masa en g del cristizador con grasa.

M: masa de la muestra en g.

#### **5.2.3.4. Condiciones finales de trabajo en la fritura**

Finalmente, las láminas de remolacha luego de la DO/I con Fe fueron recubiertas por inmersión durante 1 minuto con una solución de CMC al 0,5 % m/m. Se dejaron secar a estufa durante 4 minutos y luego fueron sometidas a fritura profunda con aceite de girasol a una relación aceite/alimento de 6:1, a 180 °C por 3 minutos. Al finalizar la fritura fueron secadas en papel absorbente y se expusieron a un shock térmico (-10 °C) en freezer de pozo durante 1 minuto.

#### **5.2.4. Secado combinado (microondas y convección con aire caliente)**

##### **5.2.4.1. Búsqueda de potencia y tiempo en el secado combinado**

Posterior a la fritura se realizó un secado combinado en microondas y convección con aire caliente, con el objetivo de llegar a una humedad menor al 20 % en las rodajas de remolacha, para alcanzar una textura crujiente.

Para ello se trabajó con un microondas (marca De'Longhi, modelo CH-34GCI, Italia) con potencia máxima de 1000 W, capacidad de 25 litros y una frecuencia de 2450 MHz (figura 27a). Este equipo permite trabajar de forma combinada con convección con aire caliente. Para la experiencia se pesaron muestras de 30 a 50 g de masa de remolacha, se colocaron de forma concéntrica en el plato del microondas a 2 potencias diferentes (500 y 600 W) y durante distintos tiempos (de 3 a 10 minutos) (figura 27b).



**Figura 27.** Secado combinado a) Equipo de microondas, b) disposición de remolachas en el secado combinado.



### 5.2.5. Modelos matemáticos

Se utilizaron diferentes modelos matemáticos como herramienta para la descripción del comportamiento de las rodajas de remolacha frente a los diferentes procesos a los que fueron sometidas: deshidratación osmótica/impregnación con minerales, fritura y secado combinado. El uso de los modelos permite representar la cinética de secado de las láminas, pudiendo predecir tiempos y así optimizar los procesos.

#### 5.2.5.1. Modelado del proceso de DO

La modelización de procesos es muy complicada cuando se trabaja con materiales biológicos debido a su heterogeneidad y complejidad.

- **Modelo de Peleg**

La pérdida de agua o de humedad en el producto se puede modelar mediante la ecuación propuesta por Peleg (1988):

$$\frac{t}{H_t - H_0} = k_1 t + k_2 \quad (4)$$

Donde:

t: tiempo de deshidratación osmótica.

$H_t$ : contenido de humedad a tiempo t.

$H_0$ : contenido de humedad inicial.

$k_1, k_2$ : parámetros del modelo.

- **Modelo de Page**

El modelo de Page (1949) se usa frecuentemente y se representa mediante la siguiente ecuación (Page, 1949, citado por Dasore et al., 2020):

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = e^{-kt^n} \quad (5)$$

Donde:

n y k: parámetros del modelo.

- **Modelo de Henderson y Pabis**

El modelo de Henderson & Pabis (1961) se formula por la expresión:

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = A e^{-kt}$$

(6)

Donde:

A y k: parámetros del modelo.

Estos modelos empíricos (Peleg, Page y Henderson - Pabis) derivan de una relación directa entre el contenido de humedad promedio y el tiempo de deshidratación. Son muy útiles en la industria para estimar los tiempos en diferentes condiciones de operación.

Para calcular el coeficiente de difusividad del agua ( $D_{ew}$ ) se aplicó un modelo fenomenológico basado en la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario, considerando las rodajas de remolacha como placas planas de longitud infinita. En estas experiencias se puede realizar esta consideración porque el diámetro de las rodajas es mucho mayor que su espesor.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -D_{ew} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$$

(7)

Las condiciones de frontera de la segunda ley de Fick son las siguientes:

$$\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 - D \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=L} = k_e (C|_{x=L} - C_\infty) \quad C|_{t=0} = C_i$$

(8)

Donde:

$C_\infty$ : concentración en el seno del fluido.

$C_i$ : concentración inicial.

Se utilizaron las siguientes suposiciones:

- las rodajas de remolacha se consideran placas infinitas
- las concentraciones iniciales de agua en la remolacha son uniformes
- el proceso es isotérmico (40 °C)
- el coeficiente de difusión aparente es constante ( $D \neq f(C)$ )

- otros mecanismos de transferencia son despreciados
- se considera que un film de solución de azúcar estaba adherido a la superficie de la remolacha como una capa límite (se asume que este film está a la concentración de equilibrio y que el proceso procede directamente por difusión)
- se desprecia el encogimiento

- **Modelo de Crank**

Crank resuelve la ecuación por el método de separación de variables para diferentes geometrías. La expresión resultante es el denominado modelo de Crank (1975), el cual fue aplicado a los datos experimentales optimizando la función de los mínimos cuadrados de los errores.

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp \left[ -D_{ew} (2n + 1)^2 \frac{\pi^2}{4 L^2} t \right] \quad (9)$$

Donde:

$D_{ew}$ : es el coeficiente de difusividad de agua en  $m^2/s$ .

$n$ : es el número de término de la serie.

$L$ : es el semiespesor de la rodaja,  $m$ .

$T$ : es el tiempo,  $s$ .

$H_0$  y  $H_t$ : son los contenidos de agua al inicio y en el instante de tiempo  $t$ , respectivamente.

$H_e$ : es la cantidad de agua en el equilibrio.

Experimentalmente, se puede considerar solo el primer término de la ecuación, cuando el número de Fourier,  $F_{oa} = D_{ew} t/a^2$  satisface  $F_{oa} \geq 0,1$ .

### 5.2.5.2. Modelado del proceso de fritura y secado combinado

Se consideró el modelo de Crank tanto para la fritura como para el secado combinado, que se aplica de forma similar al descrito para el proceso de deshidratación osmótica.

### 5.2.5.3. Bondad del ajuste de los modelos

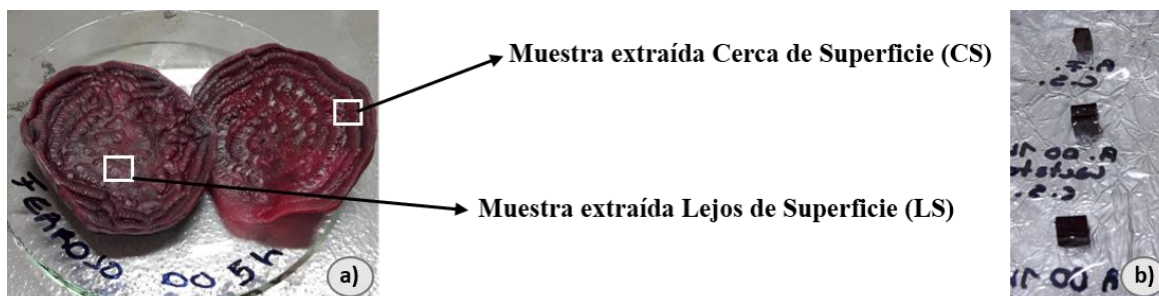
El análisis de la bondad de ajuste de los modelos considerados se realizó con el uso de EXCEL. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático medio (RMSE), fueron utilizados para evaluar la bondad de ajuste de los modelos. Los valores superiores de  $R^2$  y los valores inferiores de RMSE son los criterios principales para evaluar el mejor ajuste de los modelos empíricos. Estos parámetros se calcularon de la siguiente forma:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_o} (MR_i^{cal} - MR_i^{exp})^2}{\sum_{i=1}^{N_o} (MR_i^{exp} - MR_i^{cal})^2} \right) \quad (10)$$

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_o} (MR_i^{exp} - MR_i^{cal})^2}{N_o} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

### 5.2.6. Microscopía Electrónica de Barrido (*Scanning Electron Microscopy - SEM*)

Se tomaron microfotografías a las rodajas de remolacha durante los diferentes procesos, tanto frescas, como sometidas a diferentes tiempos de DO/I y luego de haber sido sometidas a fritura por inmersión y secado combinado. Se empleó un SEM (marca Phillips, modelo 505, EEUU) acoplado a EDS. En cada caso se tomaron dos muestras en forma de cubo de 5 mm, una extraída en la zona cercana a la superficie de la rodaja y otra alejada de la superficie (figura 28a y b). Cada muestra sobre papel metalizado se cubrió con una delgada película de plata (Au), en atmósfera de argón.



**Figura 28.** Muestras para SEM-EDS; a) superficie extraída para las muestras, b) extracción de muestras

### 5.2.7. Determinación de concentraciones de Fe y Na del snack

La composición final de sodio y hierro en el snack fue obtenida por el método ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma de Acoplamiento Inductivo), llevado a cabo por un laboratorio externo (sede central del Laboratorio “Dr. Rapela”). Este método se basa en la emisión de energía por parte de los átomos, una vez que la energía térmica de una llama ha convertido las moléculas a átomos, y a éstos elevados desde su estado fundamental a un estado excitado. Estos átomos emiten una radiación electromagnética al retornar a su estado fundamental. La longitud de onda emitida es característica de cada elemento. Hay una correlación lineal entre la emisión y la concentración del analito (Nielsen, 2007).

Por otra parte, la concentración de Fe impregnado lejos, cerca y en zona intermedia de las muestras en diferentes tiempos de deshidratación osmótica y en el producto final se determinó por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (*energy dispersive spectroscopy*, EDS). Método altamente específico, sensible y fácil de realizar muy empleado para la determinación de metales en una amplia variedad de matrices. Permite la detección de prácticamente todos los elementos de la tabla periódica en el orden de partes por millón – ppm. (Gallegos et al., 2012).

### 5.2.8. Caracterización de Textura

Se llevó a cabo una aproximación instrumental de la textura de las rodajas de remolacha mediante un análisis de perfil de textura (TPA por sus siglas en inglés). Se utilizó un analizador de textura TA-XT plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) (figura 29). Este instrumento simula la masticación sometiendo a la muestra a una doble compresión, mediante la cual se obtienen curvas de fuerza versus tiempo que permiten calcular (a través del software Texture Exponent 32) diferentes parámetros como fracturabilidad, dureza, cohesividad, adhesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad. Los resultados del TPA dependen de la

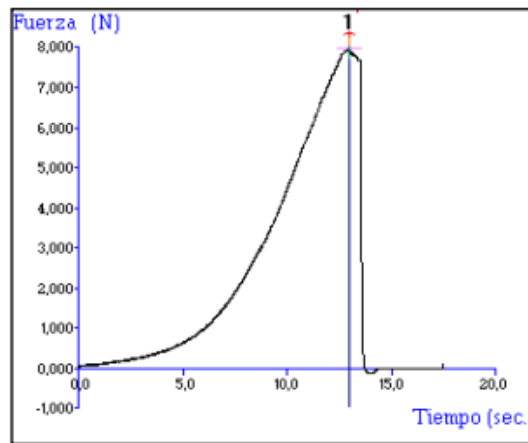
forma, la masa y el tamaño de la muestra. También de la sonda a utilizar para la compresión en función al tamaño de la muestra, del grado de compresión y de la velocidad de deformación (Denoya, 2015).



**Figura 29.** Texturómetro TA-XT plus.

En nuestro trabajo se compararon las texturas de rodajas de remolacha (posterior a DO/I y fritura) sometidas a dos tipos de secado: convección con aire caliente a 50 °C durante 25 minutos y secado combinado por microondas y convección por aire caliente a una potencia de 500 W durante 5 minutos. Las rodajas fueron pesadas previamente, luego se colocaron de a una sobre la pieza inferior. Se tomaron 7 rodajas de cada tipo de secado. La experiencia se repitió en cada caso.

Los parámetros considerados fueron dureza y cohesividad. La dureza es la fuerza máxima obtenida durante la primera compresión, que intenta imitar al primer mordisco. Representa la fuerza requerida para lograr comprimir un alimento entre los molares, o entre la lengua y el paladar (la figura 30 presenta una curva típica de las variables de fuerza y tiempo). Este parámetro es expresado en unidades de fuerza, generalmente Newton (González et al, 2015).



**Figura 30.** Curva típica de las mediciones de compresión uniaxial. *Fuente: extraído de Silva Paz et al., 2013.*

La cohesividad es la relación entre el área de fuerza positiva durante la primera y la segunda compresión. Mide cuánto puede ser deformado un material antes de su ruptura (representa la fuerza con la que están unidas las partículas) o la velocidad a la cual un material se desintegra bajo una acción mecánica. Es adimensional y un valor igual a 1 (uno) indica que la muestra se recupera completamente luego de la primera compresión (Denoya, 2015; González et al., 2015).

$$\text{Cohesividad} = \frac{\text{Área 2}}{\text{Área 1 del TPA}}$$

Los ensayos que se realizaron fueron de compresión - extrusión y corte en celda de Kramer con 10 cuchillas de 3 mm de espesor cada una. Las condiciones utilizadas se muestran en la tabla 7. La celda de ensayos consta de dos piezas, la inferior se trata de un depósito de dimensiones fijas y la superior con 10 hojas de corte que hacen juego con las ranuras de la base en la pieza inferior. Los resultados miden la dureza por la fuerza máxima registrada y el trabajo de corte por cizalladura.

**Tabla 7.** Parámetros del texturómetro.

Modo de ensayo	Compresión
<b>Prueba de velocidad</b>	1 mm/s
<b>Velocidad posensayo</b>	10 mm/s
<b>Distancia recorrida</b>	30 mm

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Proceso de deshidratación osmótica

Las condiciones finales de DO/I de las láminas de remolacha se presentan en la tabla 8. En el primer objetivo específico se planteó el desafío de determinar dichas condiciones para obtener un producto con concentraciones de sodio adecuadas y fortificado con hierro.

**Tabla 8.** Condiciones finales del proceso de DO/I.

PARÁMETROS	
Grosor de láminas (mm)	2
Concentración, tipo de soluto (m/m)	sacarosa 40 %
Concentración sulfato ferroso (m/m)	0,1 %
Concentración ácido ascórbico (m/m)	0,5 %
Relación m solución / m remolacha	4 / 1
Temperatura (°C)	40
Agitación (rpm)	120-130
Tiempo de DO (minutos)	30

Al agregar cloruro de sodio a la solución hipertónica en diferentes concentraciones, los valores de sodio superaron la cantidad máxima establecida por el CAA en productos de copetín, con resultados mayores a 1000 mg. Esto derivó a la utilización de sacarosa como único soluto con efecto osmótico. De este modo la concentración final de sodio en el producto fue equivalente aproximadamente a un 51% del valor máximo establecido por el artículo 760 tris (Código Alimentario Argentino, 2022a).

En concentraciones de sulfato ferroso al 5 % m/m (basado en los estudios de Bosco 2021; Roche et al. 2015; Fernández et al. 2016) la impregnación fue elevada y se evidenció por un cambio desfavorable del sabor de la muestra. Como consecuencia de lo expuesto, se redujo el sulfato ferroso a 1 % m/m, que arrojó valores aún elevados (mayores a la IDR diaria). Finalmente, con una concentración 10 veces inferior (0,1 % m/m) se logró fortificar las rodajas de remolacha, con

un valor del 22 % por porción de acuerdo a la ingesta diaria recomendada del anexo A referido por el artículo 3.4.4.2. de la resolución GMC 46/03 (Código Alimentario Argentino, 2022b). De esta manera se cumple con el primer objetivo específico, al alcanzar un valor de fortificación según lo establecido en el artículo 1363 de alimentos fortificados (Código Alimentario Argentino, 2021b). Es importante tomar en consideración que se carecen de estudios de estabilidad del hierro en condiciones de almacenamiento y evaluación de biodisponibilidad, sumado al hecho de que la matriz presenta de manera *in nature* algunos inhibidores del mineral. Por lo que se puede tomar en cuenta la posibilidad de la realización de más ensayos de ajuste de concentraciones del mineral en la solución de impregnación.

### **6.1.1. Curvas de humedad en el proceso de DO. Ajustes de modelos**

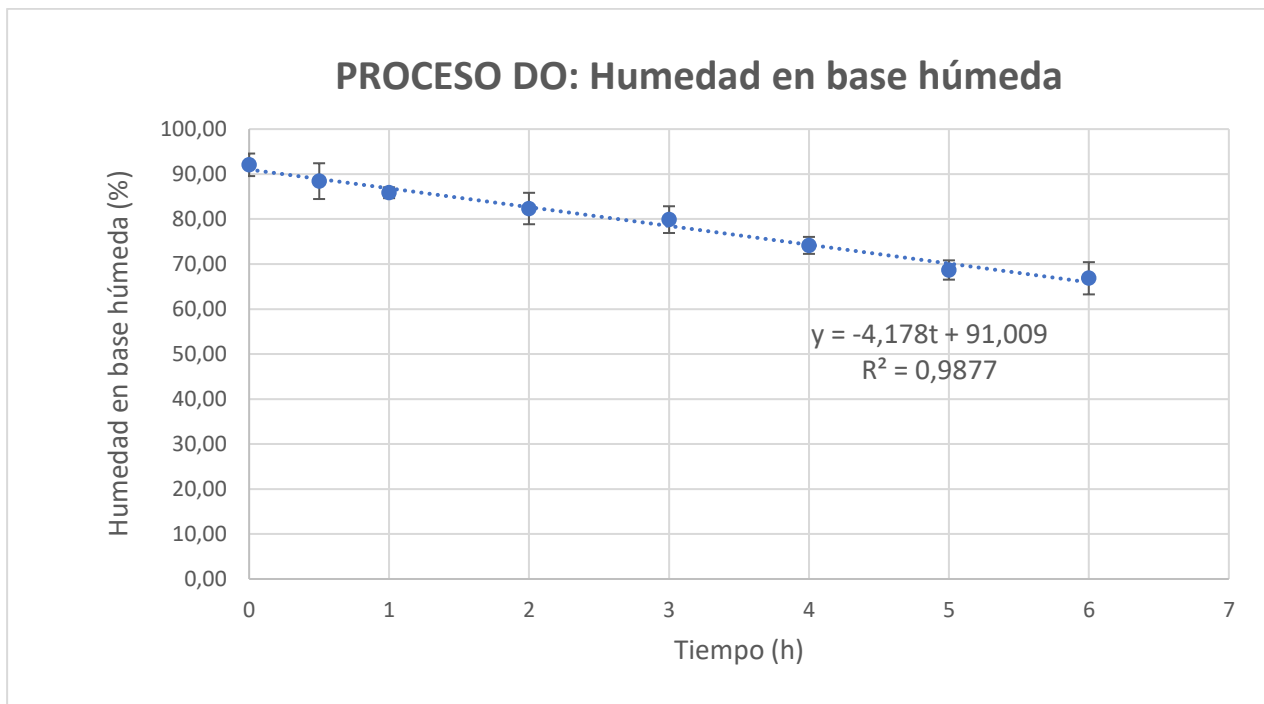
En la figura 31 se presentan los datos experimentales de humedad de la remolacha en función del tiempo durante el proceso de DO. Estos datos se calcularon en base húmeda (anexo 11.1.). Se correlacionaron los datos de humedad con el tiempo y se obtuvo la siguiente expresión:

$$H_{bh} = - 4,178 h + 91,009 \quad R^2 = 0,9877$$

Donde:

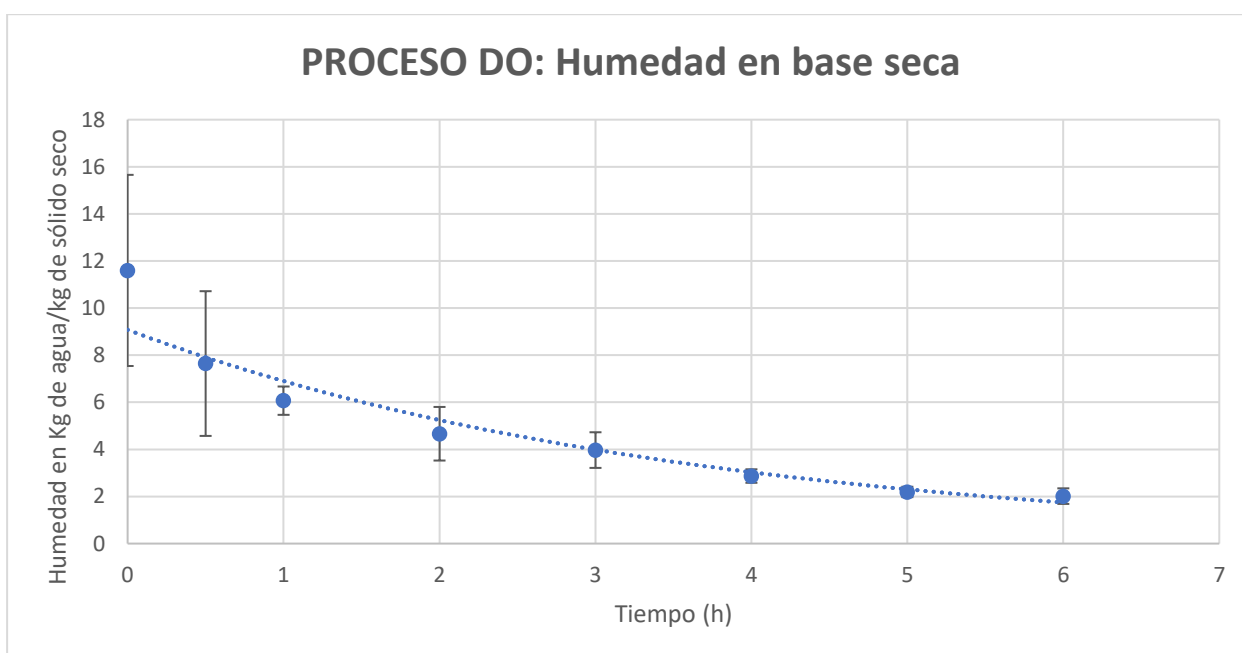
$H_{bh}$ : humedad en base húmeda.

h: tiempo en hora.



**Figura 31.** Humedad en base húmeda en función del tiempo de DO de las rodajas de remolacha.

Los datos experimentales expresados en base seca se muestran en la figura 32, donde siguen una curva de forma hiperbólica.



**Figura 32.** Humedad en base seca en función del tiempo de DO de las rodajas de remolacha.

La mayor variación en la humedad se presentó durante las primeras dos horas, donde se produjo una pérdida aproximada del 60 %. Luego el descenso de humedad fue más paulatino. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros investigadores (Della Rocca, 2010; Silva Paz et al., 2015; Ceroli, 2022).

Ceroli (2022), deshidrató osmóticamente papas variedad *Spunta* y concluyó que la pérdida de agua de las muestras sumergidas en solución de jarabe de glucosa, sorbitol y sacarosa al 25 y 45 % fue significativa ( $p < 0,05$ ) en las dos primeras horas de DO para las temperaturas ensayadas (40 °C, 50 °C y 60 °C).

Mediante la razón de humedad ( $H_r$ ) se estableció la relación entre la humedad en equilibrio ( $H_e$ ), humedad al inicio ( $H_0$ ) y humedad a un tiempo específico ( $H_t$ ) de la operación unitaria (unidades de humedad expresadas en Kg de agua/Kg de producto en base seca). A partir de la ecuación reportada por Geankoplis (1998) se estimó  $H_r$  con la siguiente expresión:

$$H_r = \frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} \quad (12)$$

Para determinar el modelo que describe satisfactoriamente la cinética de secado se emplearon los modelos propuestos por Page, Henderson - Pabis, Peleg y Crank (tabla 9) en relación a la  $H_r$ .

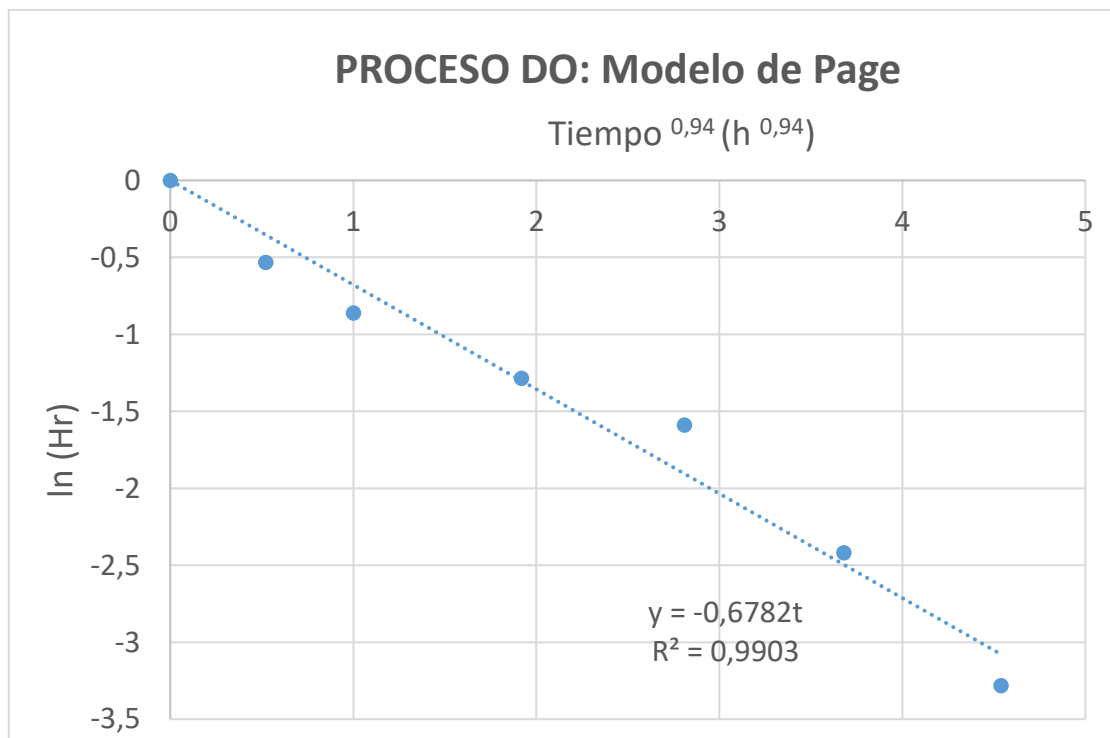
Asimismo, a través de los valores de  $H_r$  obtenidos se calculó el coeficiente de difusividad del agua ( $m^2/s$ ) con la aplicación de la ecuación de Crank.

**Tabla 9.** Ecuaciones de los modelos y sus respectivos parámetros.

Modelo	Ecuación y sus parámetros	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>Page</b>	$H_r = \exp(-0,6782 t^{0,94})$	0,9903	0,02322
<b>Henderson - Pabis</b>	$H_r = 0,9014 \exp(-0,5963 t)$	0,9752	0,04826
<b>Peleg</b>	$\frac{t}{H - H_0} = (-0,0899) t - 0,0974$	0,9939	0,01482
<b>Crank</b>	$H_r = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_{ew} \pi^2}{4 L^2} t$ $D_{ew} = 6,36 \cdot 10^{-11} m^2/s$	0,9878	0,3022

En la tabla 9 se puede apreciar que el modelo de Page, con un  $R^2$  de 0,9903 y un RMSE de 0,02322 y el modelo de Peleg ( $R^2$  de 0,9939 y RMSE de 0,01482) son los que mejor ajustan. En las figuras 33, 34, 35 y 36 se pueden apreciar las curvas de ajuste con los diferentes modelos considerados.

Otros autores como Boccalatte & Pagano (2009), también emplearon el modelo de Page para representar la cinética de deshidratación osmótica de manzanas bajo condiciones de operación diferentes a las consideradas en este trabajo. Dichos autores estudiaron la cinética de DO de dos variedades de manzanas (*Red Delicious* y *Granny Smith*) utilizando como soluto sacarosa y glucosa a diferentes concentraciones y temperaturas. Los datos experimentales obtenidos en ambas variedades con sacarosa al 40 % m/m a 40 °C se ajustaron al modelo de Page con un  $R^2$  de 0,9975 para manzanas *Granny Smith* y un  $R^2$  de 0,9994 en la variedad *Red Delicious*.



**Figura 33.** Ajuste del modelo de Page a los datos experimentales de Hr.

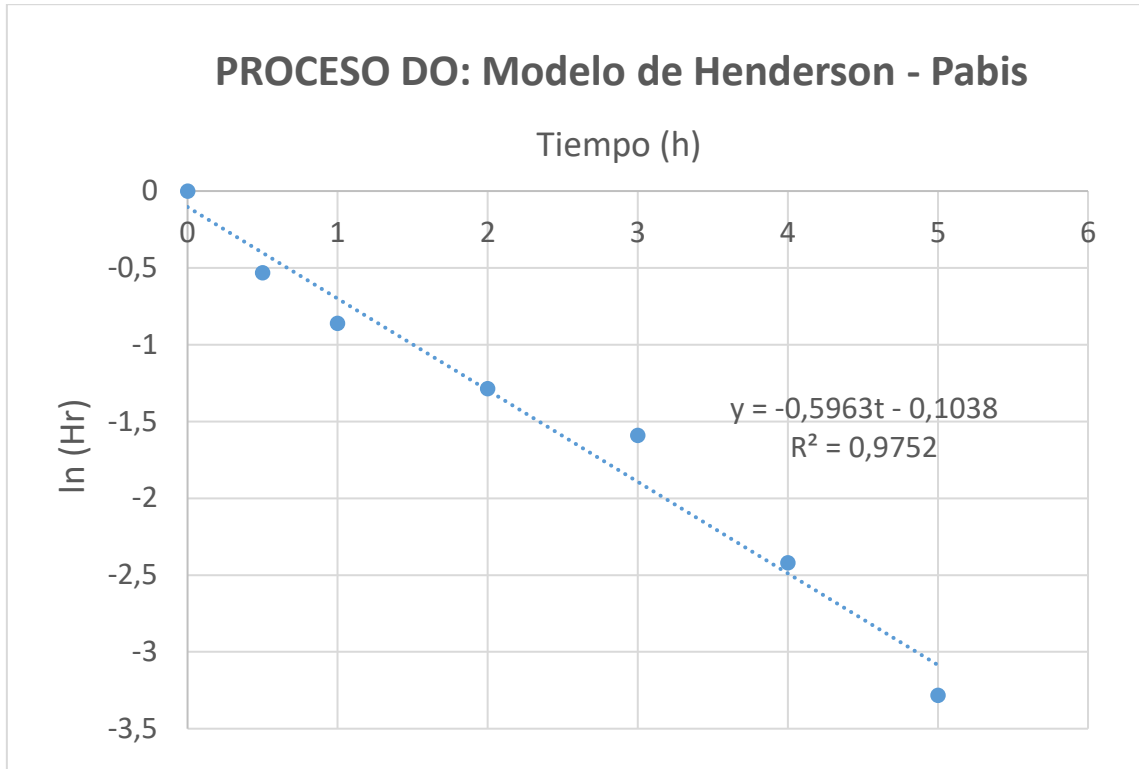


Figura 34. Ajuste del modelo de Henderson - Pabis a los datos experimentales de Hr.

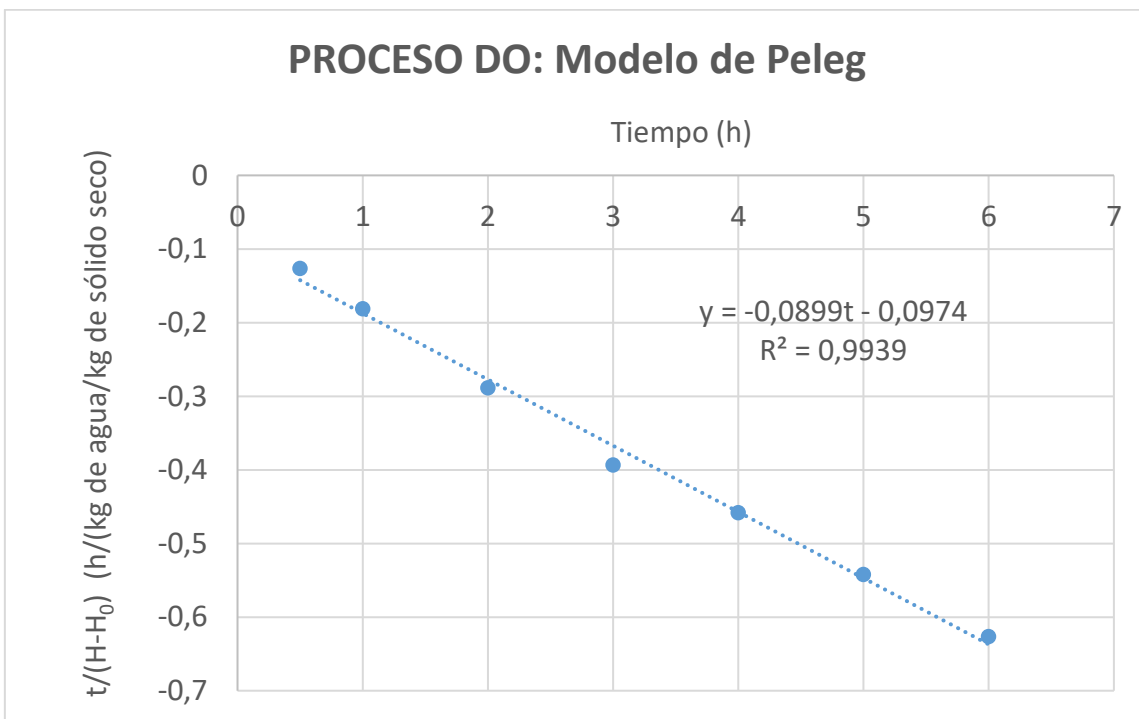
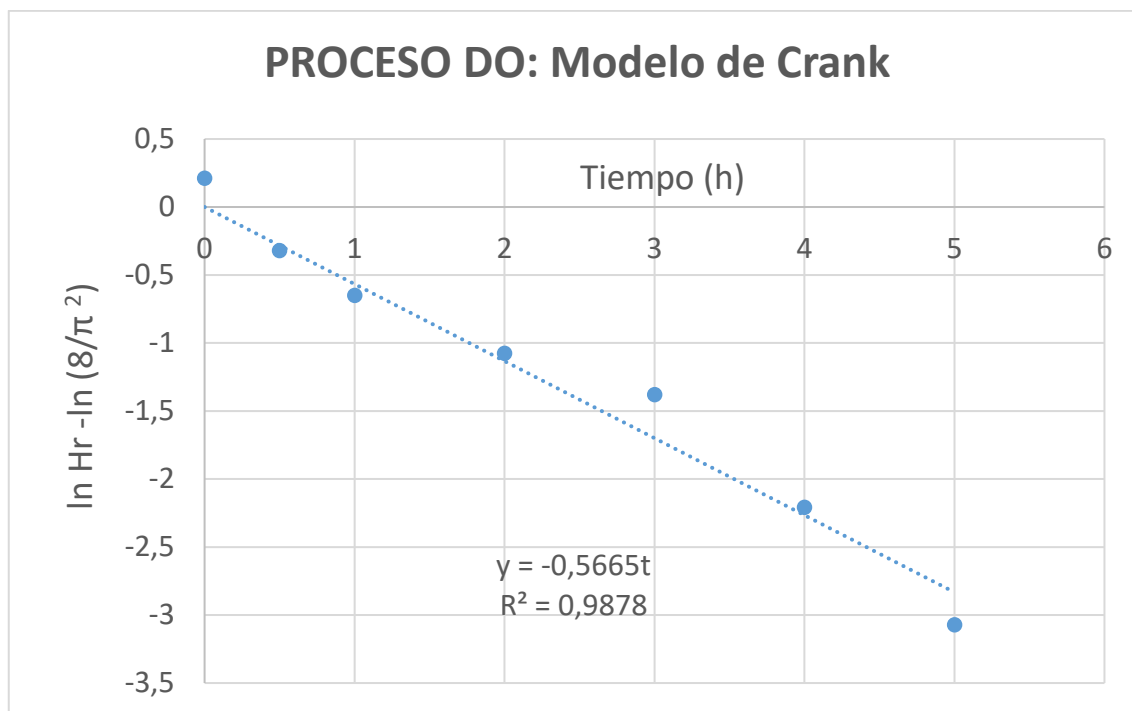


Figura 35. Ajuste del modelo de Peleg a los datos experimentales de Hr.



**Figura 36.** Ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales de Hr.

### 6.1.2. Estimación del coeficiente de difusividad del agua

Giraldo-Zuniga et al (2010) expresan que la difusividad efectiva del agua representaría la facilidad con la que el agua es removida de un material. A través del coeficiente de difusividad ( $D_{ew}$ ) se busca de manera aproximada, englobar los efectos de los fenómenos que pueden ocurrir durante la migración o pérdida de agua. López-Mejía et al. (2019) afirman que el  $D_{ew}$  si bien representa la facilidad con que el agua difunde, depende de la naturaleza del objeto que la contiene y del medio circundante, aunque es afectada principalmente por la temperatura, además de la presión.

En nuestro estudio a 40 °C se obtuvo un valor de  $6,36 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ . Kaur & Singh (2013), aplicaron también el modelo de Crank, en experimentos con rodajas de remolacha sometidas a deshidratación osmótica a 30, 45 y 60 °C. Dichos autores, reportaron un rango de valores entre  $7,5 \times 10^{-10}$  y  $1,1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , los cuales son similares al  $D_{ew}$  obtenido en nuestra investigación.

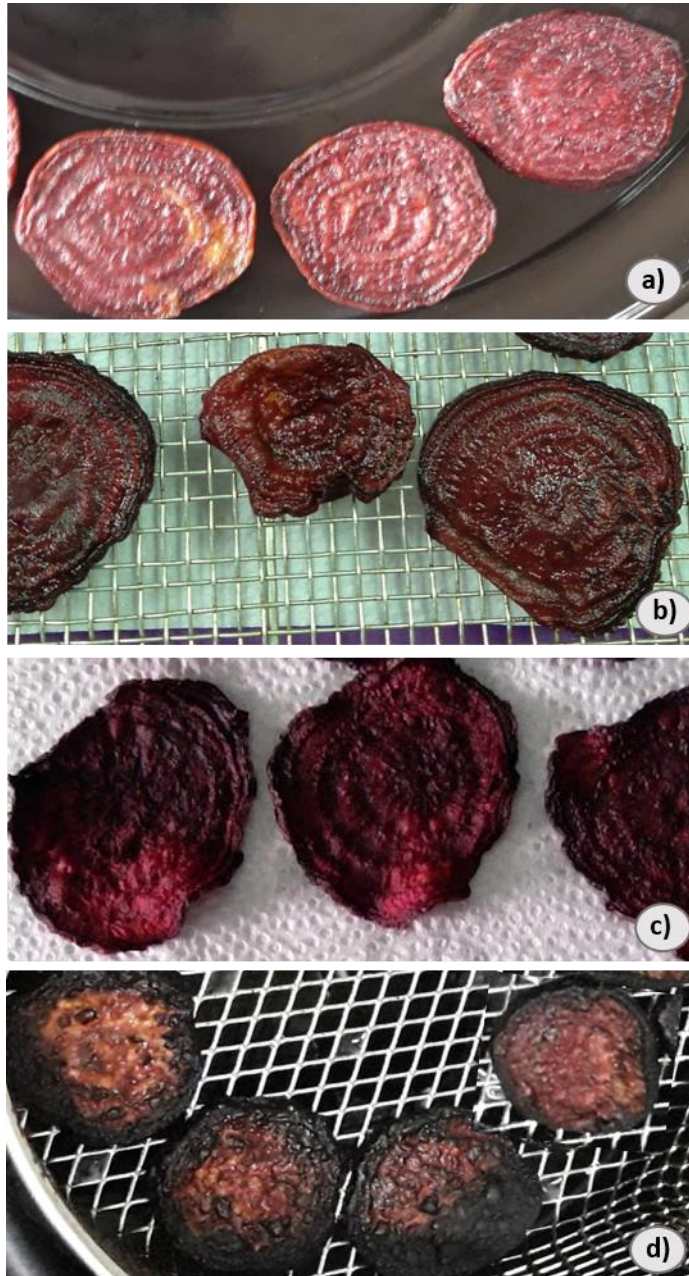
## **6.2. Proceso de fritura**

### **6.2.1. Parámetros de temperatura y tiempo**

En principio se buscaron las condiciones adecuadas para la fritura variando temperatura del aceite y tiempo. La temperatura designada se basó en la bibliografía consultada (Aguilera, 2002; Dobarganes et al., 2000; Juárez & Sammán, 2007; Montes O. et al., 2016; Marchesino et al., 2020) donde el valor recomendado para la realización de una fritura profunda oscila entre 160 y 180 °C. Cuanto mayor sea la temperatura, menor será la absorción de aceite en la superficie, y, por el contrario, un exceso en la absorción de aceite puede ser consecuencia de bajas temperaturas. Altas temperaturas (a partir de los 200 °C) aceleran el proceso de fritura y también la descomposición del aceite utilizado.

En nuestro caso con láminas de 2 mm de espesor se eligieron 2 temperaturas, 170 °C y 180 °C. Los diferentes tiempos en los cuales se expusieron las muestras fueron de 2, 3, 4 y 5 minutos, basados en experiencias en frituras de matrices diferentes (Morales & Santacruz, 2017, Martínez et al., 2015). En las muestras realizadas a 170 °C durante 2 y 3 minutos (figura 37a) se observó una textura blanda poco crocante, comparada con las realizadas a la misma temperatura, durante 4 y 5 minutos (figura 37b). Las muestras fritas a 180 °C durante 4 y 5 minutos empezaron a presentar defectos (quemado), principalmente en los bordes (figura 37d). Las mejores muestras obtenidas fueron a una temperatura de 170 °C durante 5 minutos y a 180 °C durante 3 minutos (figura 37 b y c, respectivamente). Las condiciones finales de fritura, 180 °C durante 3 minutos, se fundaron en algunos estudios como el de Hase et al. (2021), donde se muestra que a menor temperatura hay mayor absorción de aceite. También incidió en la elección las características organolépticas como color, sabor y reducción de defectos por quemado tal como se muestra en la figura 37.





**Figura 37.** Fritura a diferentes temperaturas y tiempos: a) 170 °C por 2 minutos, b) 170 °C por 5 minutos, c) 180 °C por 3 minutos, d) 180 °C por 5 minutos.

Se requiere la realización de más ensayos para esbozar posibles generalizaciones o establecer patrones de operación unitaria de fritura de matrices vegetales. El efecto que puede tener, por ejemplo, la variedad de la matriz empleada, también puede ser de interés. Es así como para chips de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) Vitrac et al. (2002) afirman que la curva del contenido de agua residual versus la temperatura es una característica de la variedad utilizada. Esta afirmación también es reportada por Villacrés-Poveda et al. (2020) en los ensayos realizados

sobre fritura convencional de chips de siete variedades de papa (*Natividad, Capiro, Superchola*, entre otras).

Aunque se ha avanzado en la comprensión de los factores que inciden en las características de los productos alimenticios sometidos a fritura, no son pocas las variables que afectan la absorción de aceite. Por mencionar solo algunos aspectos, en relación al tipo de matriz elegida y su composición, Marchesino et al. (2020) enunciaron el contenido inicial de agua y el estado del almidón. Por otra parte, en una matriz vegetal como la papa cuya composición en lípidos es despreciable, la absorción de aceite y la pérdida de agua según Dobarganes et al (2000), es en gran medida influenciada por la gravedad específica de la matriz. Estos autores también señalan la dificultad de prever los resultados del proceso, debido a las numerosas variables que intervienen en el mismo. De hecho expresan que la absorción de aceite puede variar desde tan solo 6% para nueces tostadas hasta alrededor de 40 % en papas fritas.

Oginni et al. (2015) consideraron que en el caso de matrices vegetales con alto contenido de almidón gelatinizado (lo que no aplicaría para el caso de las rodajas de remolacha) se forma una red continua con microestructura cerrada que inhibe la absorción de aceite durante la etapa de enfriamiento. En este mismo sentido, Hase & Linares (2018) establecieron para snacks a base de puré de mandioca, que la gelatinización del almidón favorece la formación de una capa externa que ofrecería resistencia al ingreso de aceite.

### **6.2.2. Resultado de compuestos polares totales en el aceite**

Para todas las muestras se empleó aceite de girasol a 170 °C, 180 °C y 190 °C con la intención de comparar los valores de TPM. Mientras la temperatura de fritura fue incrementando se obtuvieron valores mayores para el contenido de componentes polares totales. Esto concuerda con la bibliografía consultada (Montes O. et al., 2016, Astudillo Rubio, 2018, Tirado et al., 2012, Sauterna Hurtado, 2009). Es conocido el efecto del incremento de la temperatura en el deterioro de los aceites de fritura, ya que incide directamente en la producción de aldehídos y cetonas responsables de las características organolépticas propias del enranciamiento. Además, estos compuestos actúan como agentes humectantes, que reducen la tensión superficial entre el aceite y el agua, aumentando la absorción del aceite. Cuanto mayor cantidad de agentes humectantes se liberan aumenta la viscosidad del aceite e incrementan su adherencia a la superficie del alimento. En la tabla 10 se presentan los valores de componentes polares totales para tres temperaturas de fritura que se ensayaron durante 3 min.

**Tabla 10.** Valores de componentes polares totales para diferentes temperaturas de fritura

T° de fritura (°C)	TPM (%)
170	9
180	9,5
190	10,5

La selección de la temperatura de 180 °C se basó en disminuir el tiempo de exposición de las láminas al aceite sumado al beneficio de obtener un valor de TPM bajo. En nuestro caso la determinación fue 62 % por debajo del valor límite (25 %) establecido en el artículo 552 bis del CAA, actualizado en 2021 (Código Alimentario Argentino, 2021c).

### **6.2.3. Contenido de lípidos en el proceso de fritura con y sin DO / CMC**

De acuerdo al tercer objetivo planteado en este trabajo se compararon los contenidos de lípidos en diferentes pretratamientos durante la fritura profunda a 180 °C durante 3 minutos, para evaluar las condiciones de proceso con el menor contenido de aceite absorbido. Se procedió a someter a las rodajas de remolacha a diferentes concentraciones de recubrimiento de CMC con y sin deshidratación osmótica. Algunas muestras fueron tratadas con glicerina como plastificante. Los resultados obtenidos se expresan en la tabla 11 (datos en anexo 11.2.).

**Tabla 11.** Contenido de lípidos en diferentes pretratamientos durante fritura profunda a 180 °C durante 3 minutos.

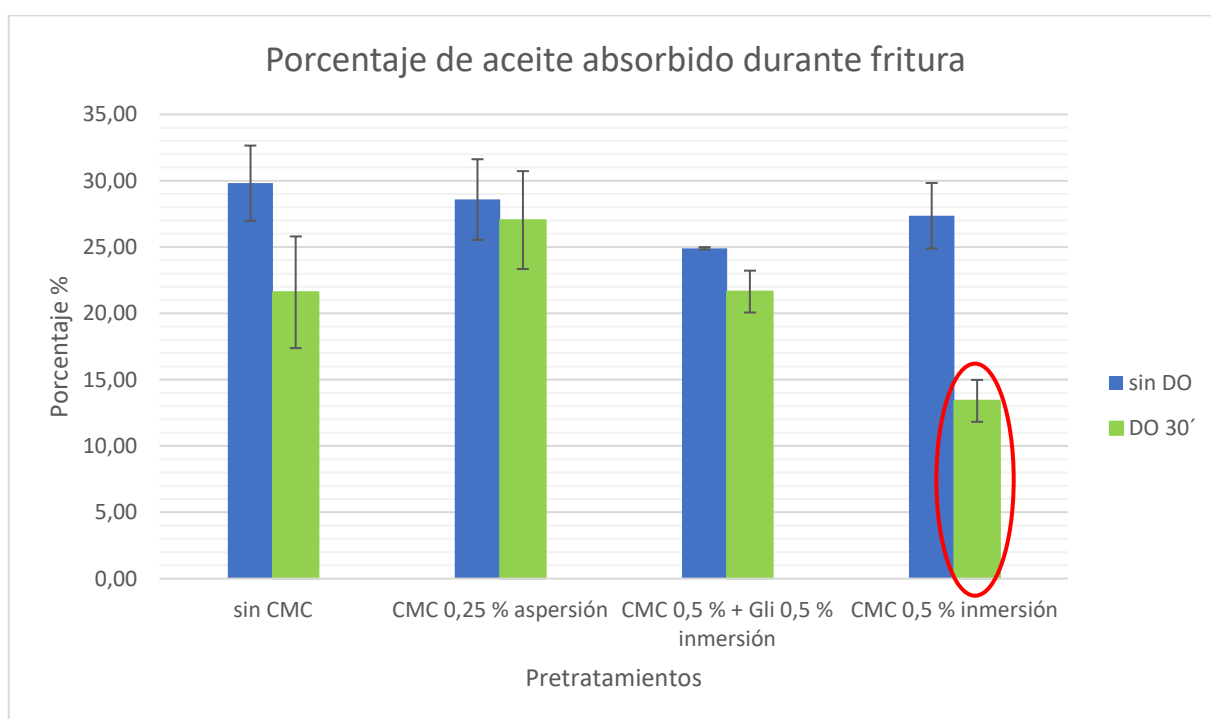
Pretratamiento (DO / CMC)		Cont. lípidos (%)
<b>sin DO</b>	Sin CMC	<b>29,81</b>
<b>30´ DO</b>	Sin CMC	<b>21,59</b>
<b>sin DO</b>	CMC al 0,25 % por aspersion	<b>28,58</b>
<b>30´ DO</b>	CMC al 0,25 % por aspersion	<b>27,03</b>
<b>sin DO</b>	CMC 0,5 % + glicerina 0,5 % por inmersión	<b>24,90</b>
<b>30´ DO</b>	CMC 0,5 % + glicerina 0,5 % por inmersión	<b>21,64</b>
<b>sin DO</b>	CMC 0,5 % por inmersión	<b>27,36</b>
<b>30´ DO</b>	CMC 0,5 % por inmersión	<b>13,4</b>

En todas las muestras que recibieron una deshidratación osmótica previa se evidenció una menor absorción de aceite. Una reducción de la humedad, lograda mediante la deshidratación osmótica produciría en consecuencia una menor absorción de lípidos.

En el proceso de fritura el calor es transferido del aceite al alimento. Esta energía sirve para evaporar el agua del alimento, transfiriéndose al aceite como burbujas de vapor (Tirado et al., 2012). Según Berry et al. (1999) el espacio libre que deja el agua en un alimento es ocupado por el aceite. Entonces la cantidad de aceite absorbido por un alimento depende en gran medida de su humedad. Por consiguiente, al reducir la cantidad de agua de la remolacha durante el proceso de DO, la cantidad de aceite que reemplaza a la humedad interior del producto resulta menor, por lo que la concentración de lípidos en el producto es inferior en comparación a un snack que no tiene pretratamiento. Asimismo el efecto reductor del nivel de absorción de aceite mediante la aplicación de DO también fue desarrollado por Krokida et al. (2001) y Guzmán et al. (2012), quienes publicaron similares resultados con hojuelas de papa y trozos de papa criolla, respectivamente.

En consonancia con lo anterior se observa en la figura 38 que la muestra con mayor ganancia de grasas (29,81 %) es la que no tuvo ningún pretratamiento. Adicionalmente otras muestras fueron recubiertas con hidrocoloides a distintas concentraciones. La aplicación de diferentes hidrocoloides como pretratamiento, según varios autores (Daraei Garmakhany et al., 2012,

Kizito et al., 2017, Salehi, 2020) es una buena herramienta para disminuir la ganancia de aceite en variedad de productos fritos. Una concentración de CMC al 0,25 % aplicado por aspersión, arroja valores altos de aceite absorbido, con o sin DO. Probablemente el alto contenido de grasas en dichas muestras esté relacionado al instrumento utilizado para la aspersión, no logrando una distribución adecuada de finas gotas de la solución de CMC sobre la matriz. Según Xie et al. (2021) los recubrimientos pueden ser aplicados por inmersión o aspersión y depende tanto de la viscosidad, textura, como de la disponibilidad de equipos. La tecnología de pulverización brinda un recubrimiento más uniforme en la superficie superando a la inmersión, pero requiere un dispositivo apropiado para su aplicación.



**Figura 38.** Porcentaje de aceite absorbido de las rodajas de remolacha con diferentes pretratamientos.

Duplicando la concentración de CMC se alcanzaron menores valores de lípidos, observaciones similares fueron expresadas por Kizito et al. (2017). La adición de glicerina en la solución de revestimiento mantuvo el efecto deseado en cuanto a la absorción de aceite en la matriz, pero no así respecto a la apariencia y textura del snack que generó una gomosidad indeseable en el producto. El agregado de glicerina en la solución junto con la CMC opera como plastificante ya que mejora la flexibilidad y manejo de las películas, manteniendo la integridad del producto (Nucifora, 2021). Su utilización se basó en la experiencia de Yu et al. (2016), que incorporaron glicerol a la solución de goma guar para lograr una reducción del contenido de grasa posfritura sin efectos negativos en su textura. En nuestro estudio las características organolépticas

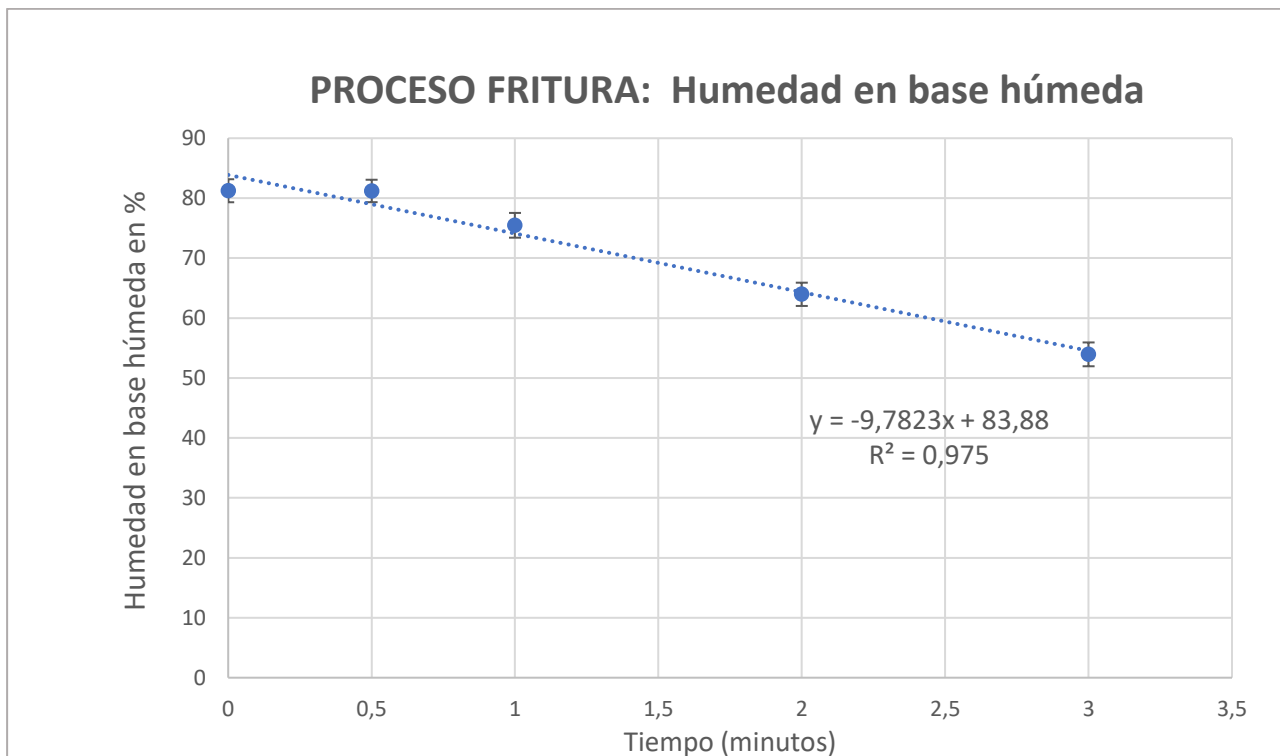
negativas expresadas anteriormente, bastaron para dejar de utilizarla, ya que el CMC por sí solo cumple los parámetros buscados en cuanto a la reducción de la absorción de aceite.

Finalmente, el menor contenido de grasas se logró en muestras recubiertas por inmersión en una solución con CMC al 0,5 % y pretratadas con DO durante 30 minutos. Con estos valores obtenidos se verificó la segunda hipótesis planteada con respecto a que el recubrimiento de las rodajas de remolacha con una solución de CMC disminuye la absorción de aceite durante la fritura.

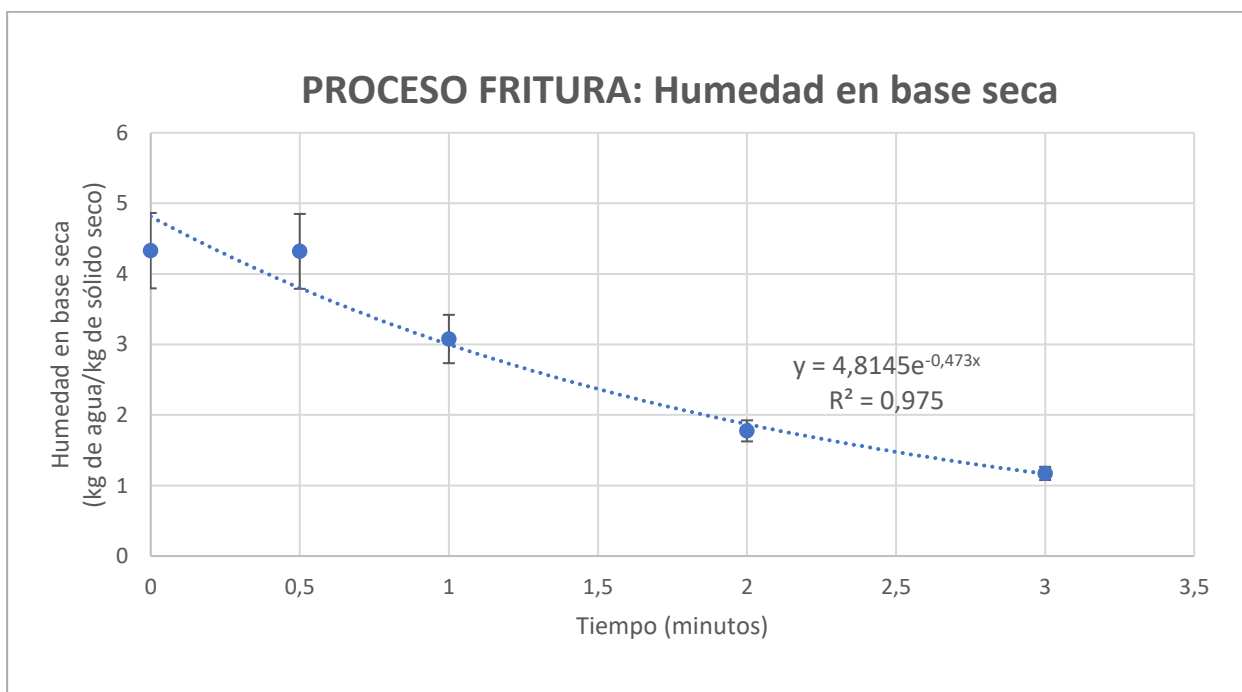
#### **6.2.4. Curvas de humedad en el proceso de fritura**

En las figuras 39 y 40 se exhiben los valores de humedad en rodajas de remolacha en función del tiempo para el proceso de fritura durante 3 minutos a una temperatura de 180 °C en base húmeda y en base seca, respectivamente. Los datos de humedad se correlacionaron con el tiempo de fritura y se obtuvieron las expresiones que figuran en los gráficos (datos en anexo 11.1).

En nuestra experiencia el contenido de humedad decrece cuando el tiempo de exposición a la fritura aumenta. En los primeros dos minutos se observa una disminución rápida de aproximadamente un 60 % y luego el proceso se ralentiza. Estos resultados coinciden con Hase & Linares (2018), que expresan una rápida disminución del contenido de humedad durante los primeros dos minutos en todas las condiciones de fritura (temperaturas de 150, 170 y 190 °C con dos tipos de aceites diferentes) de snacks a base de puré de mandioca. Según dichos autores, la pérdida de agua inicial durante la fritura depende de la temperatura y del aceite a utilizar. Para chips de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) Vitrac et al. (2002) establecieron una reducción de alrededor del 90% del contenido de agua en un minuto.



**Figura 39.** Humedad en base húmeda en función del tiempo en el proceso de fritura.

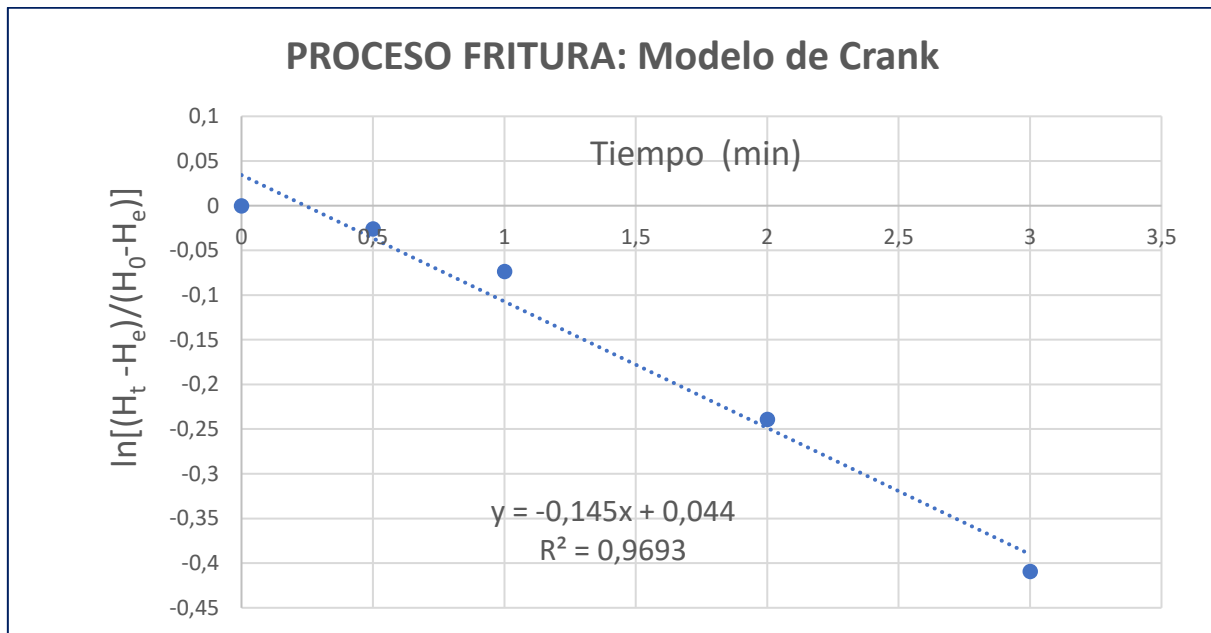


**Figura 40.** Humedad en base seca en función del tiempo en el proceso de fritura.

### 6.2.5. Estimación del coeficiente de difusividad del agua

El modelo de Crank se aplicó a los datos experimentales de humedad. En la figura 41 se puede observar el ajuste. A partir de la pendiente del gráfico se calculó el coeficiente de difusividad efectivo, cuyo valor fue de  $1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Este valor se ubica dentro del orden de los encontrados para la fritura de otros vegetales en la literatura. Math et al. (2004) obtuvieron coeficientes de difusividad en *papads* (pan plano de India a base de harina de porotos negros) de  $2,83 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $3,65 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $3,87 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $5,03 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para las temperaturas de fritura de 165, 175, 180 y 185 °C a un rango de tiempo de 0 a 20 segundos considerando placa plana y resistencia externa infinita.

Alvis et al. (2009) estudiaron el proceso de fritura con aceite de soja en ñame (*Dioscórrea alata*) y hallaron coeficientes de difusión cuyos valores fueron  $1,95 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $2,59 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $3,24 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  a 140, 160 y 180 °C, respectivamente. En fritura por inmersión de rodajas de plátanos variedad *Dominico Hartón*, Castellanos Galeano (2012), reportó un coeficiente de difusividad efectiva de  $1,5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , a 170 °C.



**Figura 41.** Ajuste de los datos experimentales de humedad en las rodajas de remolacha durante el proceso de fritura a 180 °C con el modelo de Crank.



### **6.3. Proceso de secado combinado final**

#### **6.3.1. Curvas de humedad en el proceso de secado combinado**

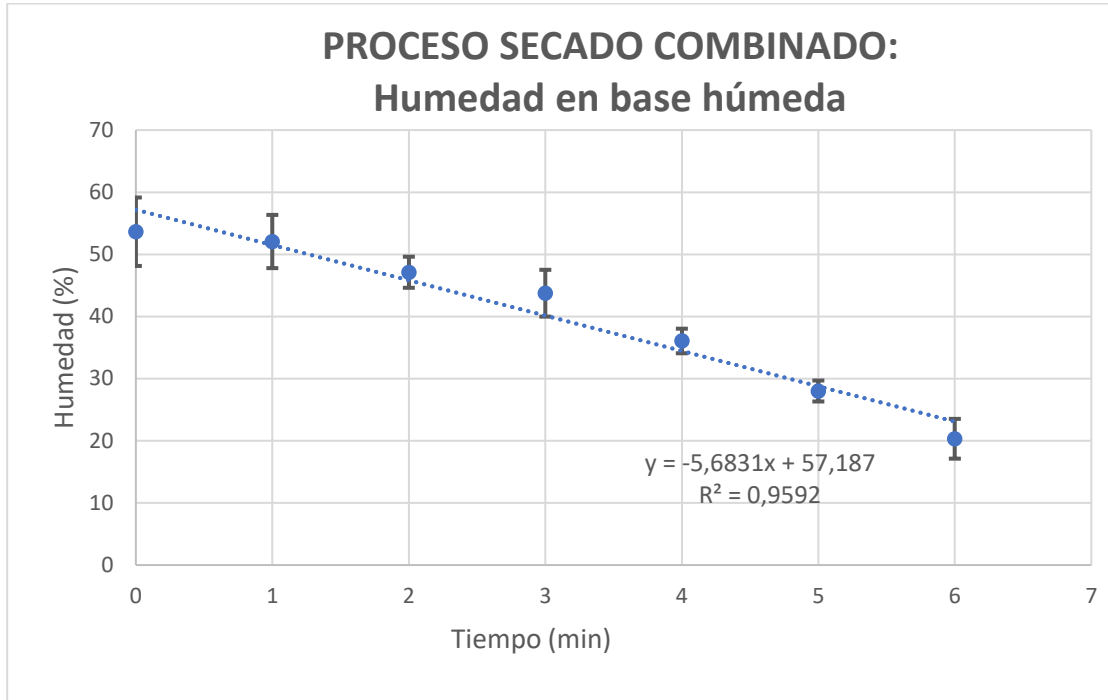
El secado combinado en microondas con convección con aire caliente fue la última operación a realizar con el objetivo de lograr una textura crocante característica de los productos de copetín.

Sánchez-Piloto et al (2022) evaluaron la influencia de pretratamientos de secado combinado en cubos de ananá. Utilizaron microondas durante 7 minutos (600 W), DO (50 °Brix) y posterior estufa por conducción. El contenido de humedad reportado fue aproximadamente de 15 %.

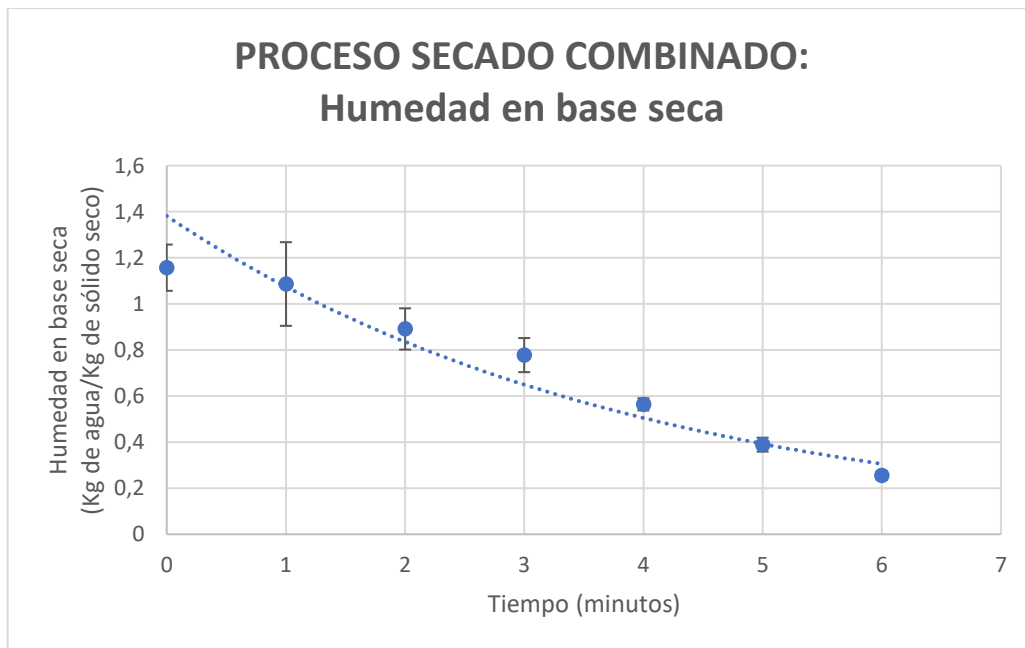
Lucas et al. (2011) reportaron valores de humedad de 9,6 % en rebanadas de papa criolla fritas a 180 °C durante 3,5 minutos con 2,5 mm de espesor. Cuando el tiempo se redujo en 1 minuto (es decir 2,5) bajo las mismas condiciones, la humedad ascendió a 23,93 %. Por otra parte, al modificar el espesor en 2 mm a un tiempo de 2,5 minutos, la humedad final fue de 3,97 %. Este valor se acerca más a los contenidos de humedad hallados en la literatura para papas fritas comerciales.

En nuestro estudio, la aplicación de los pretratamientos (DO y fritura a 180°C durante 3 minutos con 2 mm de espesor) seguido de microondas a una potencia de 500 W durante 5 minutos, alcanzó finalmente un contenido de humedad del 15 %.

En las figuras 42 y 43 se exhiben los valores de humedad de rodajas de remolacha en función del tiempo (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 minutos) para el proceso de secado por microondas (500 W) y convección con aire caliente en base húmeda y en base seca, respectivamente.



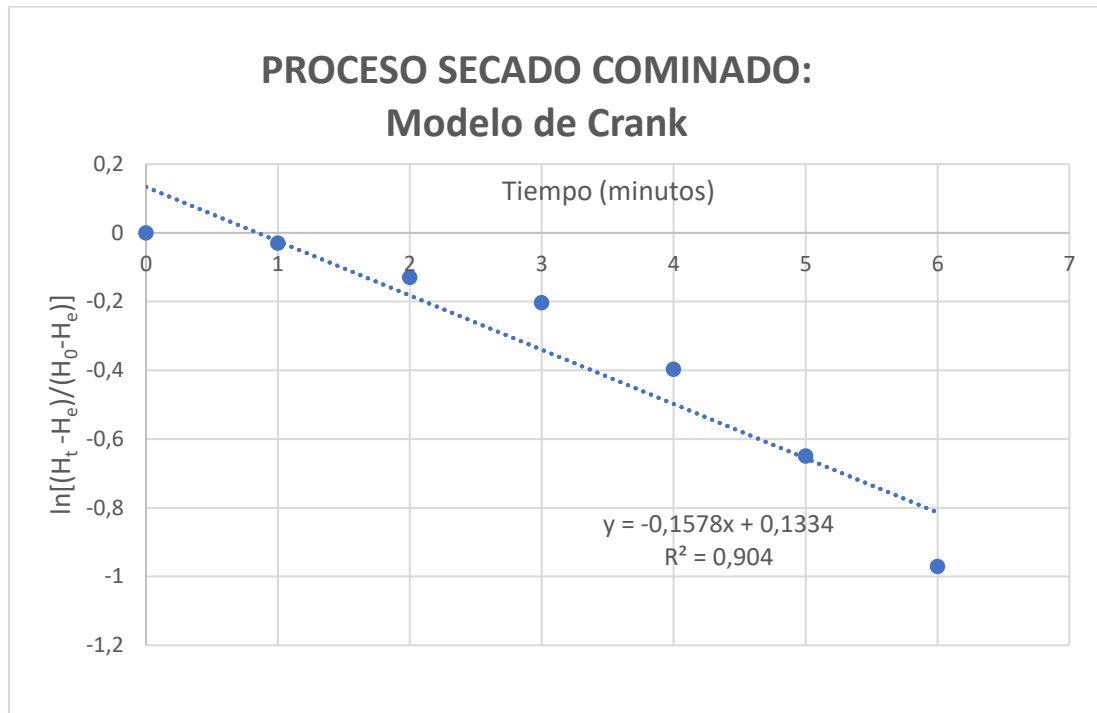
**Figura 42.** Humedad en base húmeda en función del tiempo en el proceso de secado combinado.



**Figura 43.** Humedad en base seca en función del tiempo en el proceso de secado combinado.

### 6.3.2. Estimación del coeficiente de difusividad del agua

Se aplicó el modelo de Crank a los datos experimentales de humedad y en la figura 44 se observa el ajuste ( $R^2 = 0,904$ ).



**Figura 44.** Ajuste de los datos experimentales de humedad durante el proceso de secado combinado con el modelo de Crank.

A partir de la pendiente del gráfico se calculó el  $D_{ew}$  cuyo valor fue de  $1,07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , el cual se halla en el rango de valores encontrados en la literatura (Zarein et al., 2015). En procesos combinados de secado de hojuelas de mango en estufa, García-Paternina et al. (2015) publicaron un valor de  $1,79 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para pretratamientos con microondas (560 W durante 7 minutos) más DO (solución de sacarosa de 65 °Brix a 40 °C durante 60 minutos). Los autores registraron un mayor  $D_{ew}$  cuando utilizaron los pretratamientos individualmente. Es decir, con DO, un  $D_{ew}$  de  $3,24 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y para microondas  $1,34 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sánchez-Piloto et al. (2022) modelaron matemáticamente la cinética de secado de cubos de ananá sometidos a microondas durante 5 y 7 minutos y DO (solución de sacarosa de 50 °Brix durante 3 horas) con posterior secado en estufa. Los coeficientes de difusividad reportados para 5 y 7 minutos fueron de  $6,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $7,97 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente.

Zarein et al. (2015) analizaron y modelaron la cinética de secado con microondas en láminas de manzana. Para 400 W y 600 W, los resultados fueron  $9,48 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $2,27 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,

respectivamente. Los autores asumieron que una mayor potencia de secado, generaría un incremento de la actividad de las moléculas de agua, lo que explicaría el mayor  $D_{ew}$  obtenido a 600 W. López-Mejía et al. (2019) en sus ensayos realizados para el secado de espagueti a base de harina de trigo enriquecido con pulpa de zapallo deshidratada, encontraron a 50 °C y 60 °C, valores de  $1,88 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $2,82 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente.

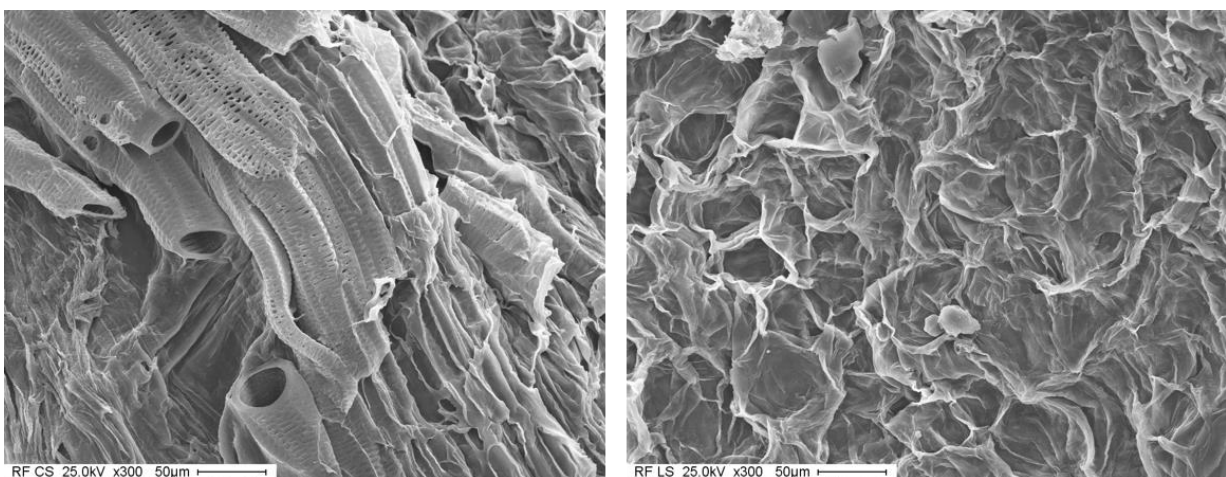
Bosco (2021) obtuvo para rodajas de pera sometidas a DO y secado convectivo (90 °C) un  $D_{ew}$  de  $8,59 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ . En tanto que para las expuestas a DO y secado combinado (convección y microondas a 500 W), halló un valor de  $4,12 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ .

En este trabajo, se logró una crocancia aceptable similar a algunos productos comerciales con una potencia de 500 W durante 5 minutos.

## **6.4. Resultados de SEM y EDS**

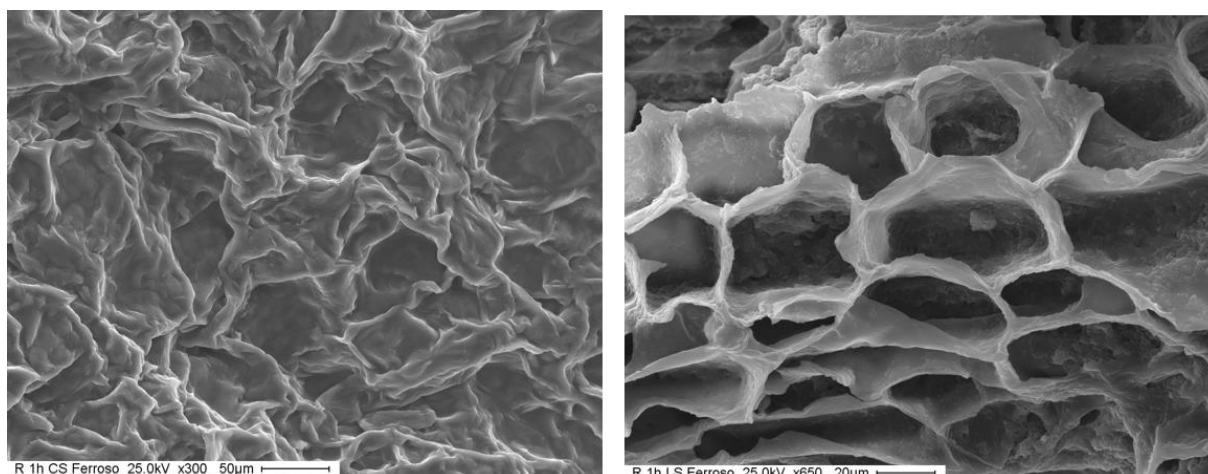
### **6.4.1. Microscopía electrónica de barrido**

Los procesos de deshidratación implican la pérdida de agua en el material, lo que conduce a la deformación de las paredes con disminución de la presión de turgencia (Mauro et al., 2002). La modificación del comportamiento mecánico del tejido vegetal es debida a los cambios estructurales (alteración de laminilla media, pared celular, nuevos perfiles de humedad y concentración de solutos, entre otros) ocasionados por los tratamientos osmóticos (Chiralt et al., 2001).

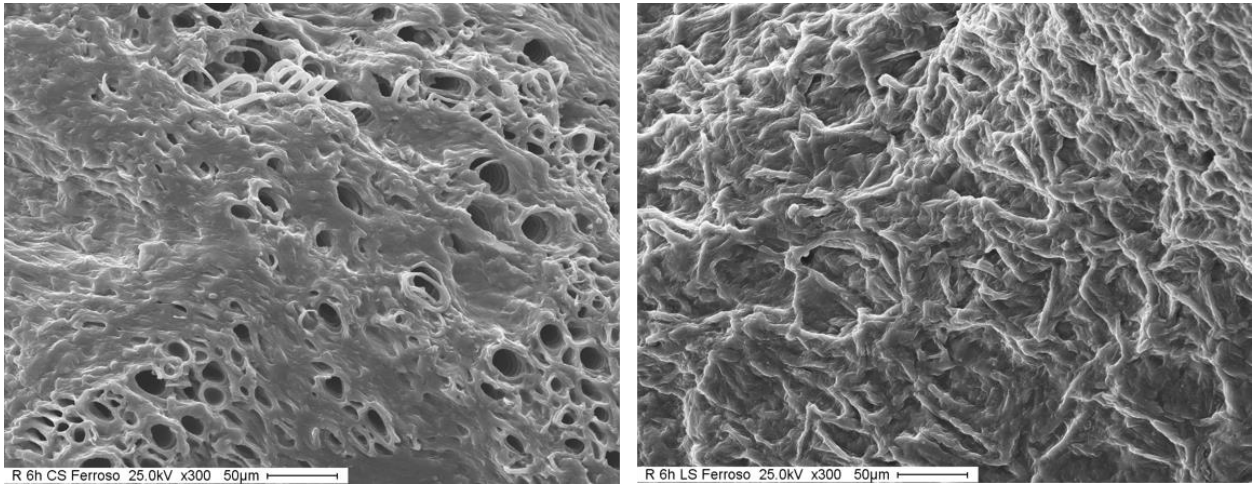


**Figura 45.** Microscopía electrónica de barrido de remolacha fresca. Imagen de la izquierda obtenida de zona cerca de la superficie e imagen de la derecha de zona lejos de la superficie.

Las micrografías de la remolacha fresca (figura 45) muestran una estructura conservada con paredes celulares lisas, tensas y turgentes. En línea con lo publicado por Wais (2011) y Ceroli (2022) en términos generales la deshidratación ocasionaría la pérdida de agua, de la turgencia, la deformación de las paredes celulares y consiguiente plasmólisis del citoplasma. Durante períodos cortos de DO, para los estudiados por las autoras mencionadas (2 horas de DO) y en nuestro caso particular las rodajas de remolacha tras 1 hora de DO (figura 46) se podría apreciar inicialmente un deterioro de la estructura, que es superado brevemente con una tendencia a la restauración de la estructura celular y aparente recuperación de turgencia. Este fenómeno se debería al flujo de agua inverso, por la concentración de solutos intracelulares e incidencia de fenómenos homeostáticos responsables de la recuperación celular (siempre y cuando persista la funcionalidad de las membranas). Posteriormente, esta tendencia de recuperación, se modifica ante la exposición de tratamientos más extensos (en este caso luego de 6 horas de DO), en donde se aprecia un colapso general, con menor porosidad e indefinición de los límites celulares (figura 47).

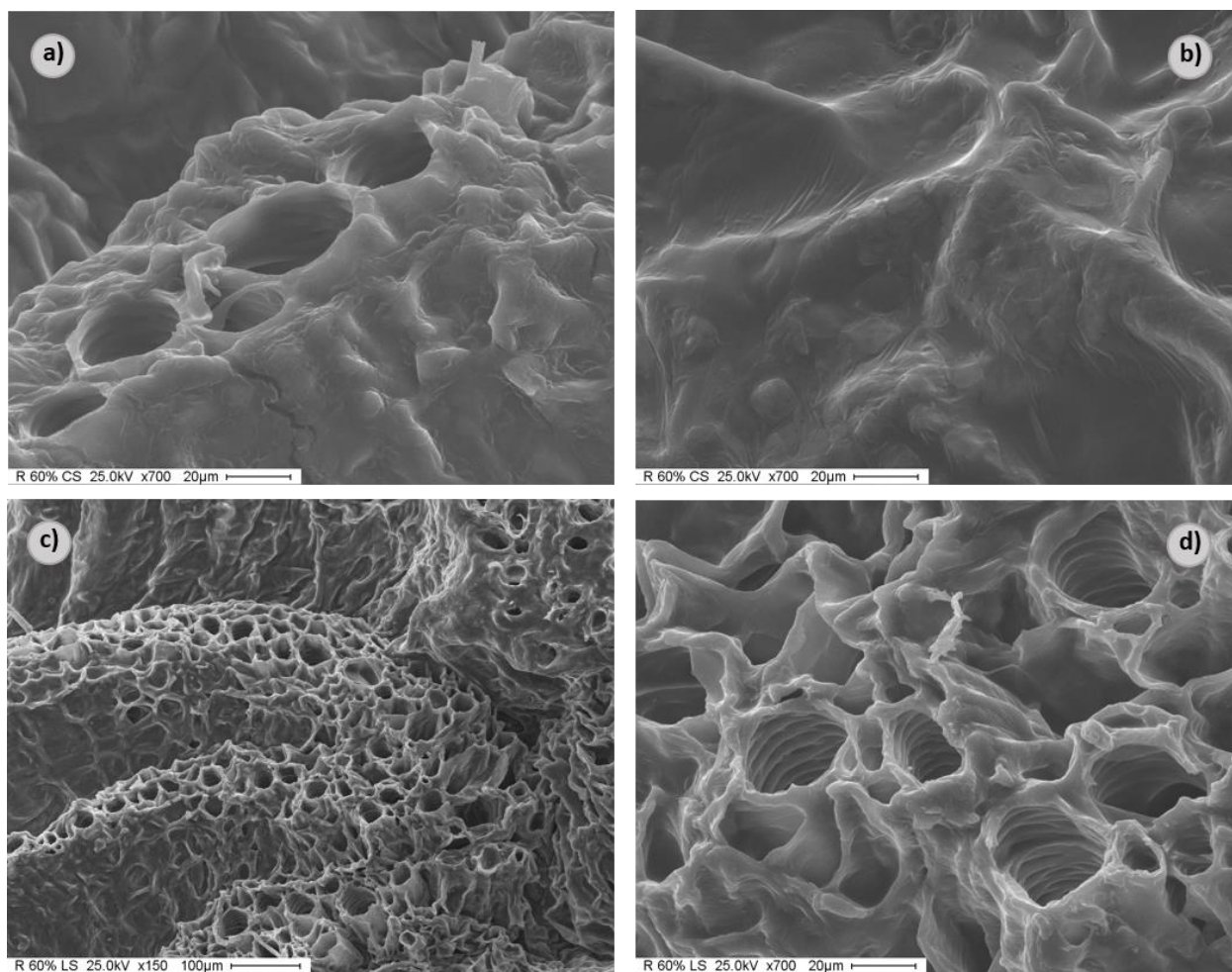


**Figura 46.** Microscopía electrónica de barrido de remolacha con 1 hora DO. Imagen de la izquierda obtenida de zona cerca de la superficie e imagen de la derecha de zona lejos de la superficie.



**Figura 47.** Microscopía electrónica de barrido de remolacha con 6 horas DO. Imagen de la izquierda obtenida de zona cerca de la superficie e imagen de la derecha de zona lejos de la superficie.

En la figura 48 se muestra la estructura de la remolacha luego de ser sometida a DO (30 min), fritura (3 min) y posterior secado combinado (microondas y convección con aire caliente durante 5 min). En las mismas se puede apreciar la preservación de la estructura celular, con una geometría del tejido conservada, tanto en la forma como en la disposición volumétrica. Asimismo, se podría describir que los vértices de los ángulos tienden a suavizarse, a diferencia de las figuras más poligonales del tejido fresco. El hecho de que estemos ante tratamientos de corta duración y en línea con lo que expone Della Rocca (2010), se podría generalizar una conservación de la estructura del vegetal comparada con la muestra en fresco (figura 45).



**Figura 48.** Microscopía electrónica de barrido de remolacha posterior a DO, fritura y secado combinado. Imagen a) zona CS más tubular, b) zona CS con menos túbulos, c) y d) zona LS muy fibrosa.

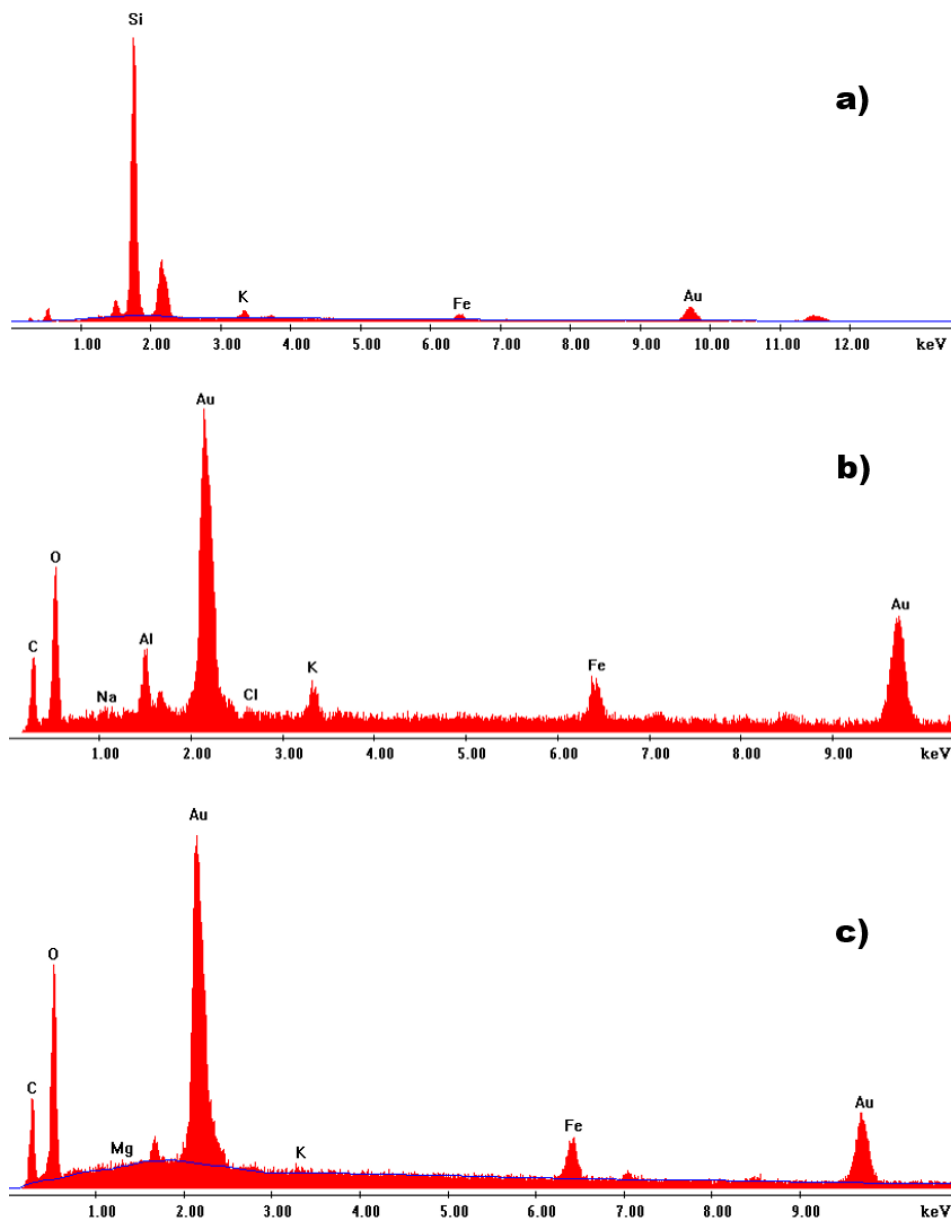
#### 6.4.2. Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X

El microanálisis por energía dispersiva de rayos X permite detectar la presencia de componentes en la superficie del material a analizar. Esta técnica nos permitió revelar la impregnación del Fe en la matriz del vegetal, al estudiar su contenido en rodajas de remolacha frescas, después de 1 hora y a las 6 horas de deshidratación osmótica. En las muestras se detectaron elementos como el carbono y oxígeno propios de los materiales orgánicos y oro por ser el recubrimiento empleado para la preparación de la muestra. En el caso de la remolacha fresca también se encontró silicio, que podría provenir de la presencia de polvo en la matriz. En lo que respecta a la concentración de Fe, el sondeo composicional mostró un leve pico del mismo y otro ligeramente mayor, correspondiente al potasio. El sodio, en este caso, no se visibilizó (figura 49a). Las proporciones entre Fe y K fueron 52,9 % y 47,1 % respectivamente.

En la segunda gráfica (b) de la figura 49, después de 1 hora de DO, se hizo visible un tenue pico de Na. Se puede deducir una impregnación evidente de hierro por el pico marcado. Las proporciones entre el Fe y K, también fundamentan dicha observación, equivalentes a 68,1 %

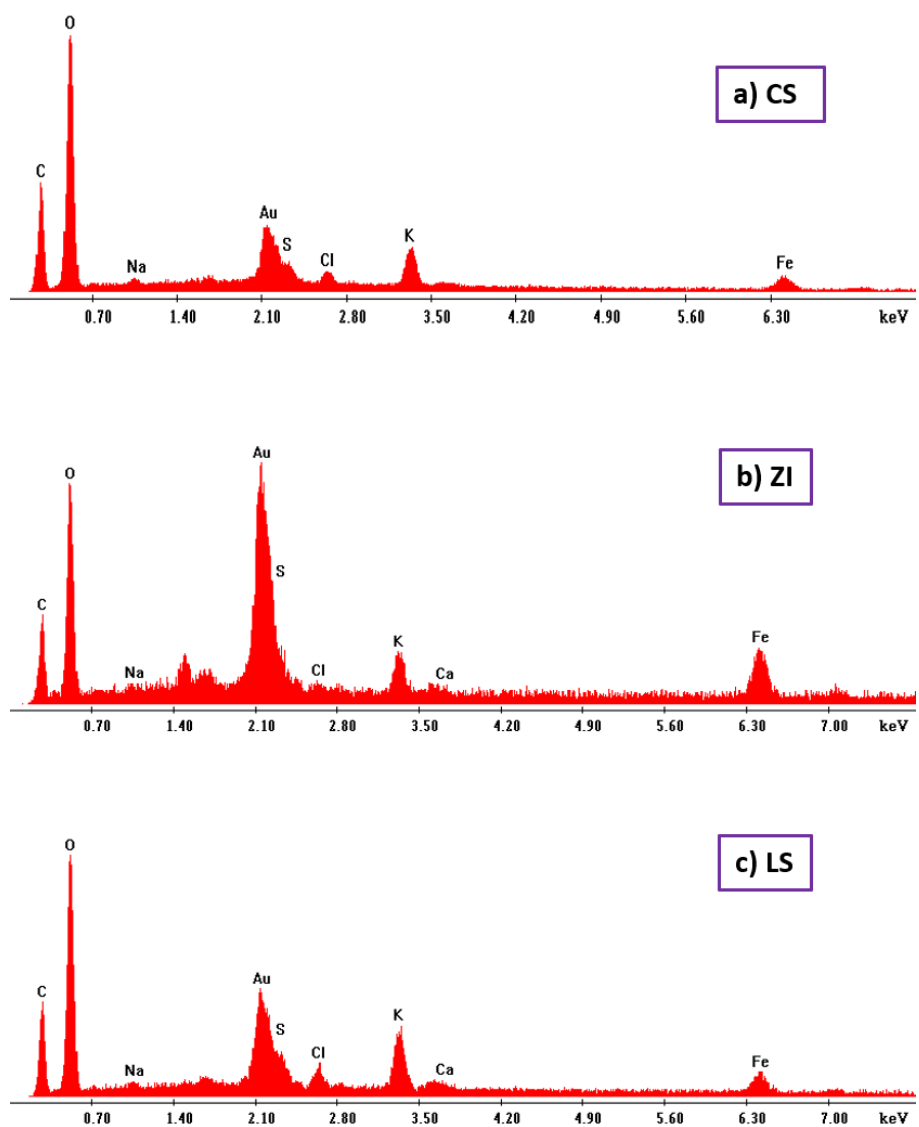
para el Fe y 31,9 % para el K. En la tercera gráfica (c), a las 6 horas de DO, la relación porcentual entre ambos minerales fue de 90,7 % y 9,3 %, respectivamente. Se podría inferir con estas observaciones que mientras más se deshidrata la matriz, más impregnación se evidencia.

Bosco (2021) comprobó, a través de EDS, la presencia de calcio impregnado durante la DO en rodajas de pera variedad *Packham's Triumph*. Esta técnica también fue utilizada por Fernández (2018) para constatar la impregnación del calcio en muestras de ananá sometidas a deshidratación osmótica en soluciones isotónicas e hipertónicas. A las 3 horas de DO encontró mayor impregnación del mineral en las muestras sometidas a una solución isotónica.



**Figura 49.** Composición obtenida por SEM-EDS. Muestras de remolacha lejos de la superficie (LS) posterior a DO; a) remolacha fresca, b) remolacha con 1 hora DO, c) remolacha con 6 horas DO.





**Figura 50.** Composición obtenida por SEM-EDS. Muestra de remolacha con DO, fritura y secado combinado en microondas; a) zona cerca de superficie (CS), b) zona intermedia (ZI), c) zona lejos de superficie (LS).

Por otra parte, después de realizados todos los procesos de secado (rodajas tratadas con DO más revestimiento de CMC al 0,5 % por inmersión, fritura y secado combinado), se evidenciaron con nitidez en las tres zonas estudiadas, los picos de hierro, sodio y potasio (figura 50).

Lejos (LS) y cerca de la superficie (CS) la distribución porcentual de hierro fue en promedio de 27,5 %. En la zona intermedia (ZI) se observó un pico más pronunciado equivalente a una distribución porcentual cercana al 50 %. Lo expuesto nos permitió comprobar que el hierro incorporado en la etapa de impregnación permaneció en el producto. Fernández (2018) corroboró que el calcio incorporado en la etapa de impregnación no se perdió cuando las muestras de ananá

variedad *Cayena Lisa* fueron sometidas a secado con aire caliente y microondas. Asimismo, concluyó que era algo esperado ya que el mineral no se degrada por la temperatura.

La técnica de impregnación emplea los mismos mecanismos de transporte que la deshidratación osmótica. La transferencia de masa, debida a la presión osmótica, permitiría la disminución del contenido de agua del alimento y la incorporación de los solutos del medio (los de la solución osmótica y los nutrientes de interés). Ostos et al. (2012) evaluaron las condiciones de proceso en la fortificación de mango variedad *Tommy Atkins* con calcio mediante impregnación a vacío. La técnica permitió incorporar 317 mg de Ca en 200 g de fruta (aproximadamente 20 veces más que en el mango fresco). Se empleó una solución isotónica de sacarosa (16 °Brix) y se seleccionó para la impregnación una mezcla de sales de calcio (lactato de calcio al 6 % y CaCl<sub>2</sub> al 1 %). Lencina et al. (2022) evaluaron el contenido y biodisponibilidad del hierro en discos de calabaza cocidos al vacío e impregnados con soluciones de gluconato ferroso al 0,62 %. Reportaron un contenido de hierro alrededor de 17 a 20 mg%. En nuestra investigación para la obtención del snack a base de remolacha fortificado con hierro, se realizó la impregnación con sulfato ferroso al 0,1 %m/m.

Es importante señalar que se requieren más estudios para establecer relaciones concluyentes sobre el efecto que pueda tener la utilización de CMC en el proceso de impregnación sobre el mineral (o solutos de interés). Previamente se desarrolló la relación existente entre la utilización del revestimiento de CMC y su efecto en la reducción del contenido de grasas totales en el producto. Es posible conjeturar que podría también tener un efecto de barrera protectora del hierro para disminuir las pérdidas. Soteras (2020) estudió la aplicación de recubrimientos comestibles en peras variedad *Packham's Triumph* y frutillas variedad *Fragaria Ananassa*. El propósito fue evaluar su función de barrera, para impedir o reducir la incorporación de solutos durante el proceso de DO. En el caso de cubos de pera, el uso de los recubrimientos empleados (en una solución hipertónica a 60 °Brix), mostró de manera positiva el efecto de barrera sobre el ingreso de sólidos solubles. Sin embargo, en las frutillas no se obtuvo el efecto positivo en cuanto a la reducción de la ganancia de sólidos. En consecuencia, el autor supuso que la aplicación de recubrimiento es dependiente de la matriz a deshidratar.

De manera general, sería importante considerar en posteriores estudios, la realización de análisis cuantitativos de las modificaciones composicionales que experimentan los minerales de interés, en cada tratamiento. También efectuar el modelado de la cinética de impregnación del hierro tanto en soluciones hipertónicas e isotónicas. Cabe mencionar que, a diferencia de lo que sucede con el calcio, son escasas las publicaciones de impregnación con hierro. Fernández (2018) halló que la impregnación de ananá en medio acuoso isotónico (durante 2 horas) triplicaba el

contenido de calcio, en tanto que lo duplicaba bajo condiciones hipertónicas. Se podría evaluar también, el efecto de la concentración de sacarosa sobre la ganancia de Fe. En este sentido, tampoco se encontraron ensayos realizados sobre la impregnación con hierro. En el caso del calcio, Silva et al. (2014) analizaron la ganancia de sacarosa, lactato de calcio y ácido ascórbico en procesos de DO de ananá a 40, 45 y 50 °Brix, concluyendo que a menor concentración de sacarosa mayor era la ganancia de ácido ascórbico y de calcio.

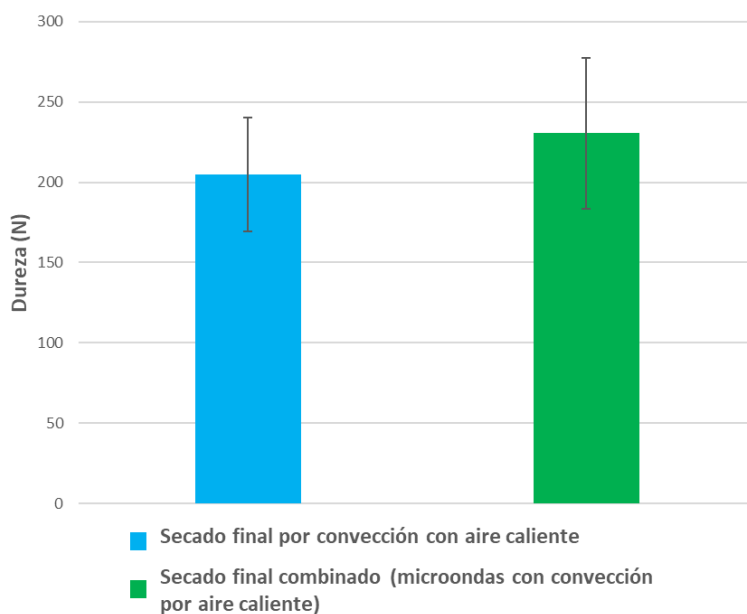
## **6.5. Resultados de ensayo de textura**

### **6.5.1. Textura del producto final sometido a diferentes tipos de secado**

La textura es un atributo sensorial de importancia relevante para la preferencia de un producto frito y es un parámetro crítico en la calidad final del producto (Kita et al., 2007).

Para realizar un análisis textural lo más integral posible es primordial tener presente lo expresado por Alzamora et al. (1997) que aclaran que la evaluación de textura de un alimento mediante una sola determinación instrumental resultaría muy dificultosa debido a su alta complejidad. Con la intención de abordar de manera preliminar el análisis de textura se trabajaron los parámetros de dureza y cohesividad en celda de Kramer. Esta técnica es utilizada en productos crujientes tales como hojuelas de maíz y productos con texturas heterogéneas como las barras de cereal. Ejerce una fuerza sobre la totalidad de la muestra, por lo que entregaría un valor representativo de las características texturales del producto (Coronil, 2006). Calisto Guzmán (2009) desarrolló una formulación de un snack a base de porotos y de quinoa. Los parámetros texturales se obtuvieron mediante la técnica de la celda de cizallamiento de Kramer y se definieron los mejores resultados para una fuerza máxima de la celda entre 1100 y 2000 N. Velasco-González et al. (2013) evaluaron la dureza máxima de galletas formuladas a base de harina de trigo y harina de algas marinas del género *Sargassum* spp. Los valores de dureza reportados fueron entre 1,41 y 2,81 N.

En la figura 51 se presentan los valores medios de dureza de secado final por convección con aire caliente y secado final combinado (microondas con convección por aire caliente).



**Figura 51.** Dureza del producto final sometido a dos secados diferentes.

Para el análisis de la dureza del producto final, el valor medio de la fuerza máxima obtenida durante la primera compresión en las muestras sometidas a secado por convección fue de 200,25 N. En el caso de las muestras con secado por convección y microondas fue de 233,5 N. Se calcularon los intervalos de confianza al 95 %. A partir de estos cálculos se pudo inferir que entre los distintos tratamientos no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Es decir, las fuerzas en la primera compresión en la mordida para las muestras obtenidas por secado por convección con aire caliente y las muestras por secado combinado (microondas y convección por aire caliente) fueron similares. Por consiguiente, el método de secado final no afectó la dureza de las muestras. Bielza López-Manterola (2019) obtuvo en papas fritas comerciales un resultado de 242 N similar al alcanzado. Asimismo, los resultados obtenidos experimentalmente se hallan en el rango de valores (104 – 252 N) publicados por Yuksel et al. (2017) en chips de maíz con diferentes concentraciones de pan añejo.

**Tabla 12.** Valores de dureza y cohesividad.

PROCESO	DUREZA (N)	COHESIVIDAD (adimensional)
<b>SECADO POR CONVECCIÓN</b>	200,25	0,01345
<b>SECADO COMBINADO</b>	233,5	0,01105

En cuanto a la cohesividad (tabla 12), Rodríguez-Manriquez et al. (2018) hallaron para muestras de ahuyama frita por inmersión, valores entre 0,26-0,38 y 0,29-0,47 a 150 y 170 °C, respectivamente. Taiwo y Baik (2007) reportaron un rango de cohesividad para papa frita por inmersión a 170 °C de 0,165-0,28. González et al. (2015) determinaron un rango de cohesividad entre 0,0037 y 0,053 con trozos de batata frita por inmersión con y sin recubrimiento de CMC. En nuestro caso los valores experimentales fueron alrededor de 0,013 y 0,011 (secado por convección y secado combinado respectivamente), lo que podría llevar a inferir que las rodajas de remolacha ofrecieron una débil resistencia a la fragmentación en ambos tipos de secado por el efecto de la acción mecánica. Desde luego, dicha afirmación requeriría de la realización de más pruebas. Se podría considerar la incorporación de características para el análisis como fracturabilidad o índice de crocancia (*crunchiness index*). En síntesis, sería de interés evaluar en proyectos futuros el efecto de diferentes parámetros de proceso (DO, fritura, con y sin CMC) para de este modo, tal como lo expresa Denoya (2015), avanzar en la aplicación optimizada de los tratamientos.

## **6.6. Condiciones finales de operaciones y diagrama de flujo**

Los procesos realizados para la obtención de snack a partir de rodajas de remolacha fortificado con hierro de bajo contenido de sodio y grasas totales fueron:

- DO de 30 minutos
- Aplicación de CMC por inmersión al 0,5 % por 1 minuto (después de la aplicación se llevó a estufa a 50 °C por 4 minutos)
- Fritura a 180°C por 3 minutos con aceite de girasol en una relación 6:1 aceite/remolacha (después se llevó a -10°C por 1 minuto)
- Secado combinado por microondas y convección con aire caliente durante 5 minutos a una potencia de 500 W.

En la figura 52 se representa el diagrama de flujo.

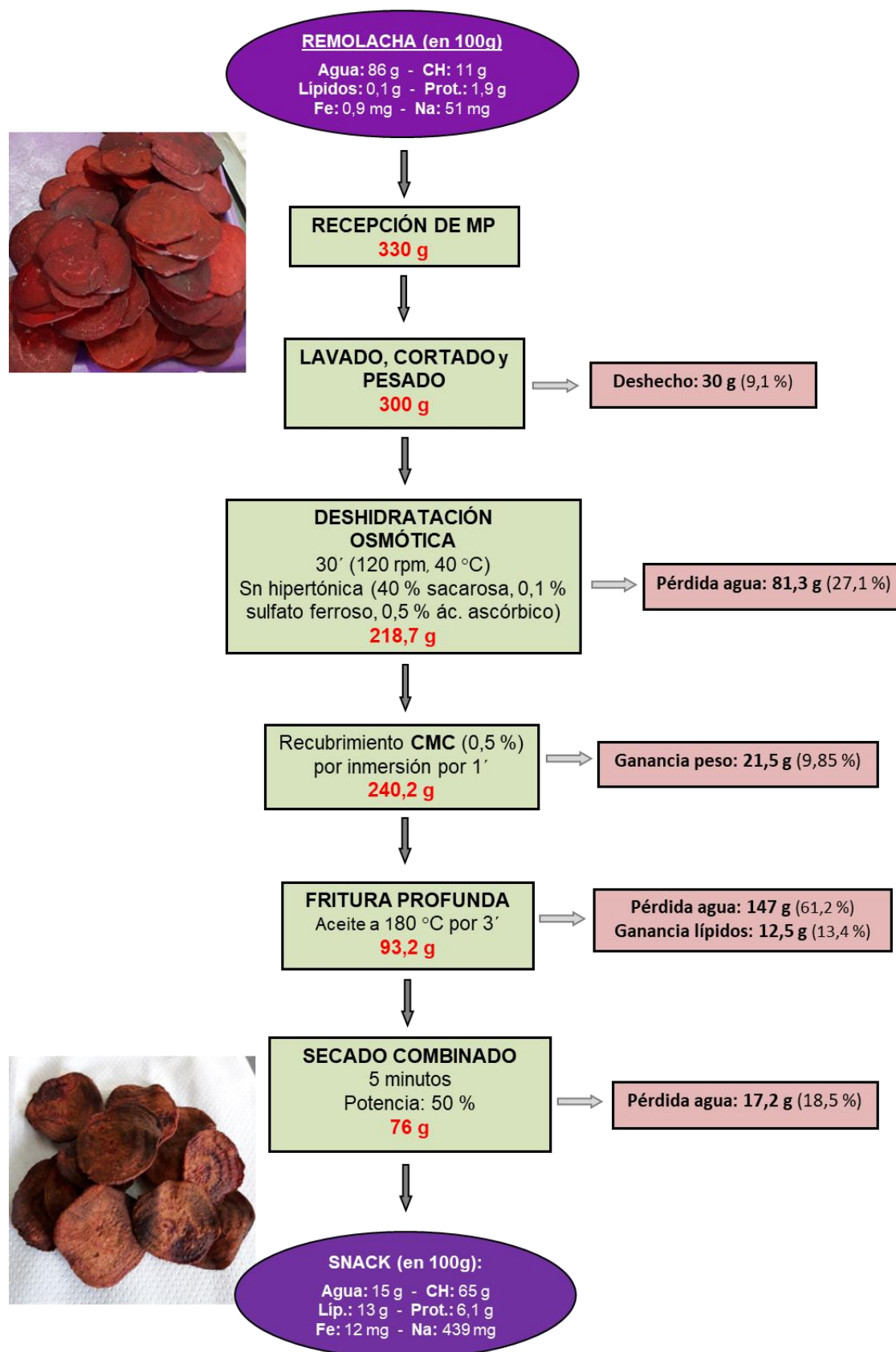


Figura 52. Diagrama de flujo de la obtención de snack de remolacha.

## 6.7. Composición del snack de remolacha (SR)

La composición final del snack (tabla 13) alcanzó una concentración de agua de 14,8 g cada 100 g de alimento, con una textura crujiente al momento de finalizar con el secado combinado. Cabe mencionar que no todas las rodajas alcanzaron la misma crocancia. Es posible que haya incidido el corte realizado manualmente con mandolina, así como las dimensiones no estandarizadas propias del vegetal en su forma natural (a pesar de haber seleccionado tamaños lo más uniforme posible). Respecto a la concentración de Fe alcanzada mediante su impregnación durante la DO, el valor promedio obtenido fue de 12,2 mg cada 100 g de snack de remolacha. Este valor representa aproximadamente un 22 % del valor diario (VD) por porción. El valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido por el CAA para alimentos fortificados (de 20 a 50 % de los requerimientos diarios en minerales). De este modo se verificó la primera hipótesis de nuestra investigación (Código Alimentario Argentino, 2021b). La cantidad de la porción fue determinada en función al reglamento técnico del Mercosur de la resolución GMC N° 47/03, establecida para productos de copetín en 25 g (Código Alimentario Argentino, 2022b).

**Tabla 13.** Composición final del snack de remolacha.

	Por 100 g snack	Por porción (25 g)	VD% (*)
<b>Agua</b>	15 g	3,7 g	
<b>Valor energético</b>	404 kcal	101 kcal	5
<b>Carbohidratos</b>	65 g	16 g	5
<b>Proteínas</b>	6,1 g	1,5 g	2
<b>Grasas totales</b>	13 g	3,3 g	6
<b>Hierro</b>	12 mg	3 mg	22
<b>Sodio</b>	439 mg	110 mg	5

(\*) Valores diarios de referencia calculados según resolución GMC N° 46/03 (Código Alimentario Argentino, 2022b)

Por otro lado, al examinar el contenido de sodio del snack el valor promedio fue de 439 mg por cada 100 g de alimento. Representa aproximadamente un 50 % del valor máximo establecido por el artículo 760 tris (Código Alimentario Argentino, 2022a). Corresponde considerar que no se

adicionó cloruro de sodio. El aumento de Na en el producto final se debe a una relación gravimétrica. En una matriz con un contenido de 86 % de agua, luego de los procesos de secado se obtuvo una humedad del 15 %. Es decir, lo que se perdió fundamentalmente fue agua, con lo cual la cantidad relativa de Na aumentó. Se debe tener presente que se experimentó con una matriz que de manera *in nature* exhibe un elevado contenido de sodio, en relación a vegetales con los que convencionalmente se elaboran snacks fritos.

### **6.8. Comparación de la formulación obtenida con snacks comerciales**

En la tabla 14 se compararon las cantidades de grasas totales y sodio del snack de remolacha con 12 snacks, 10 del mercado interno y 2 internacionales (ambos snacks de remolacha). El relevamiento de los productos comerciales se realizó durante el primer semestre del año 2022.

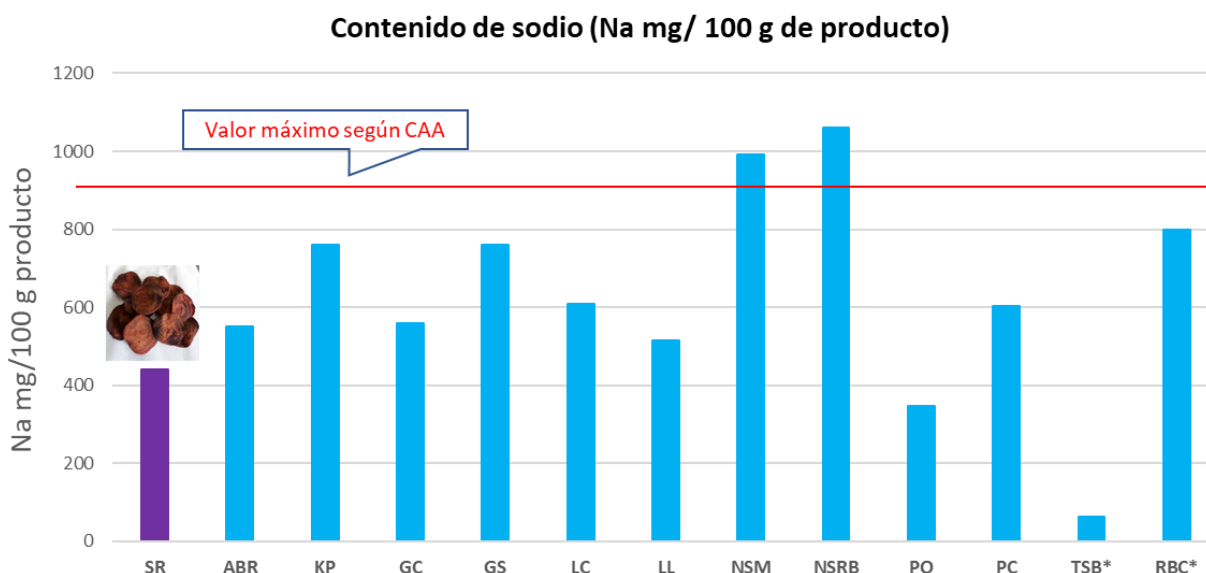
El 90 % de los snacks nacionales superaron los valores de sodio en comparación con el snack formulado (SR). Dos de ellos (NSM y NSRB) excedieron los valores máximos establecidos por el CAA, con aproximadamente 1000 mg cada 100 g de producto. En promedio el valor de sodio de los productos fue de 676,1 mg de sodio y el de menor cantidad (PO) presentó un 20 % menos que nuestra formulación. Asimismo, dentro de los productos del mercado internacional, uno exhibió valores mayores de sodio que el nuestro (aproximadamente el doble) y el otro (TSB) presentó la concentración más baja. En la figura 53 se visualizan los contenidos de sodio para los diferentes productos.



**Tabla 14.** Contenido de grasas totales y sodio en snacks comerciales.

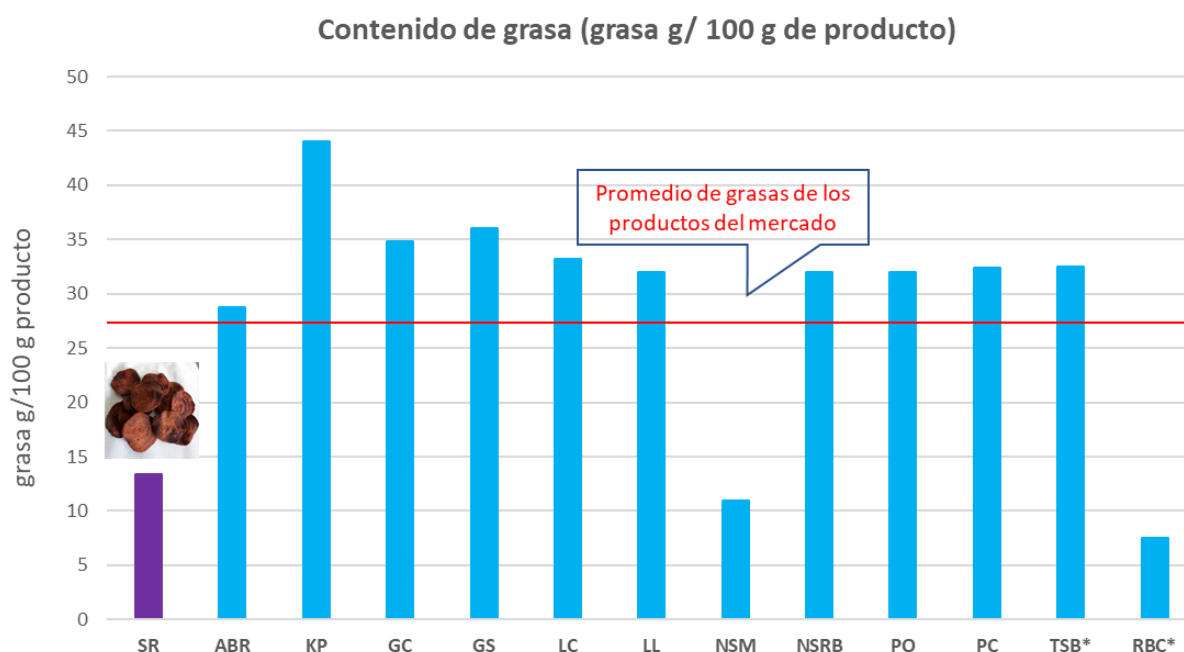
Producto	Denominación de venta	Porción (g)	Na por porción (mg)	Na cada 100 g	Grasas totales por porción (g)	Porcentaje de grasas totales (%)
<b>SR</b>	Snack de remolacha	25	110	439	3,3	13
<b>ABR</b>	Batatas rústicas	25	138	552	7,2	29
<b>KP</b>	Papas fritas pays	25	190	760	11	44
<b>GC</b>	Papas fritas clásicas	25	140	560	8,7	35
<b>GS</b>	Papas fritas	25	190	760	9	36
<b>LC</b>	Papas fritas clásicas	25	152	608	8,3	33
<b>LL</b>	Papas fritas sabor limón	25	129	516	8	32
<b>NSM</b>	Chips de mandioca	30	298	993	3,3	<b>11</b>
<b>NSRB</b>	Chips de remolacha y batata	30	318	1060	9,6	32
<b>PO</b>	Papas fritas original	25	87	<b>348</b>	8	32
<b>PC</b>	Papas fritas acanaladas	25	151	604	8,1	32
<b>TSB*</b>	Sweets and beets patates douces et betteraves	28	17	<b>62</b>	9,1	32
<b>RBC*</b>	Organic beet chips	40	320	800	3	<b>7,5</b>

\*Producto internacional.



**Figura 53.** Contenido de sodio en snacks.

Con respecto al porcentaje de grasas totales en los snacks nacionales, el 90 % presentó más del doble que el nuestro (SR). El promedio de la composición de grasas totales de todos los productos relevados fue de aproximadamente 30 %. El único producto nacional encontrado con valores inferiores (NSM), tenía tan solo 2 g menos que SR. Con respecto a los productos del mercado internacional, RBC exhibió un 42% menos de grasas (7,5 g, con respecto a los 13 g del formulado). La figura 54 muestra los porcentajes de grasa para los diferentes productos estudiados.



**Figura 54.** Contenido de materia grasa en snacks.

En la comparación entre la formulación realizada y los productos comercializados (haciendo referencia al objetivo específico 5), no se encontró ninguno con la doble condición de bajo contenido de materia grasa y sodio. Cabe destacar que en el periodo de tiempo que se realizó el relevamiento de los productos comerciales (primer semestre del año 2022) no se halló ningún snack fortificado con hierro y bajo contenido en sodio y grasas.

Finalmente, se efectuó un ejercicio de análisis relacionado con la ley de promoción de alimentación saludable, reglamentada según decreto 151/2022 (Poder Ejecutivo Nacional, 2022). Se utilizó la herramienta “calculadora de sellos”, disponible en el sitio oficial de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT, s.f.), con dos de los productos relevados a base de remolacha (NSRB y RBC) y nuestra formulación (SR). Se comparó la composición nutricional con los puntos de corte establecidos para los nutrientes críticos (en la primera etapa de aplicación de la ley). Se observó que NSRB tal como está formulado en el día de la fecha presentaría tres sellos de advertencia por exceso en sodio, grasas totales y calorías. RBC tendría uno por exceso de sodio. En tanto que SR, nuestra formulación, no llevaría ninguno. Ver anexo 11.4. En el caso de lograr llevar a cabo la salida al mercado de un producto como el estudiado en esta investigación se podría pensar en el uso de algún “*claim*” (información nutricional complementaria, INC), considerando que no necesitaría sello alguno para la primera etapa. Este *claim* podría estar vinculado a su contenido en fibras o a que podría ser un producto fuente (mínimo de 15 % de la IDR) y fortificado en hierro (porción de alimento de 20 a 50 % para vitaminas liposolubles y minerales).

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*

## 7. CONCLUSIONES

Al tomar en consideración la importancia de promover el consumo de hortalizas y de reducir ingredientes críticos como grasas y sodio vinculados con ENT, se avanzó en el desafío de diseñar un snack con un perfil más adecuado de nutrientes que los actualmente disponibles en el mercado.

La formulación obtenida ofrecería al mercado un tentempié fortificado con hierro que utiliza como materia prima la remolacha, vegetal poco vehiculizado dentro de productos industrializados lo que promueve el consumo de variedad de frutihortícolas. Se trata de un producto con un 13 % en grasas totales, que representa cerca de la mitad del contenido promedio de lípidos presente en los productos comerciales relevados. Con respecto al contenido de sodio se alcanzó un 51 % menos que el máximo establecido por CAA (439 mg/900 mg).

La absorción de aceite durante la fritura se disminuyó mediante el uso de carboximetilcelulosa como recubrimiento. Las rodajas de remolacha pretratadas con DO por 30 min, fueron inmersas durante 1 minuto en una solución con CMC al 0,5 % antes de ser sometidas a fritura.

Para evitar impactar de manera negativa en el contenido de sodio, no se utilizó cloruro de sodio en la solución hipertónica ni en el producto final, a diferencia de la mayoría de los snacks comerciales estudiados, que sí lo tenían como ingrediente.

Por otro lado, se verificó la primera hipótesis vinculada con la posibilidad de elaborar un snack a base de remolacha fortificado con hierro obteniendo una concentración de 12 mg/ 100 g de producto, que representa un 22 % del VD recomendado por porción. Es importante recalcar que se carece de estudios de biodisponibilidad del hierro y de su estabilidad en condiciones de almacenamiento, sumado al hecho de que la matriz presenta de manera *in nature* inhibidores del mismo. Asimismo, se puede tomar en cuenta la posibilidad de realizar más ensayos que permitan el ajuste de sus concentraciones durante la deshidratación osmótica / impregnación.

En el marco de la ley 27642 se empleó la herramienta de “calculadora de sellos” de la ANMAT verificándose que nuestra formulación (SR) no presentaría ningún exceso de nutrientes críticos. En consecuencia, no requeriría ningún sello de advertencia en el rotulado frontal. Esto permitiría incorporar el uso de información nutricional complementaria con la posibilidad de destacar por

ejemplo su contenido en hierro. También podría ser un producto para comercializar en quioscos dentro de establecimientos escolares.

La textura crujiente conseguida con una humedad final cercana al 15 %, se alcanzó luego de los diferentes tratamientos realizados, lo que desde luego constituye una barrera del deterioro microbiano. Los caracteres organolépticos de sabor son adquiridos gracias a la reacción de Maillard generada principalmente mediante el tiempo en el cual las rodajas fueron expuestas a fritura. El snack se caracteriza por tener un leve dulzor propio del vegetal y de los sólidos solubles ingresados durante la DO.

Se utilizaron tecnologías convencionales de conservación, como la DO y la fritura y emergentes como el microondas. Su combinación podría generar un efecto sinérgico al acelerar el proceso de secado y mejorar la calidad del producto final desde el punto de vista de preservación de nutrientes y caracteres organolépticos. De acuerdo a cada tecnología aplicada, las conclusiones obtenidas implican:

#### 1.- Proceso de DO / I

- El proceso DO / I de las rodajas de remolacha de 2 mm de espesor se realizó con una relación 4:1 (masa de solución / masa de muestra) en una solución hipertónica de sacarosa a 40 °Brix durante 30 minutos a 40 °C y agitación constante.
- Durante el proceso de DO, la mayor pérdida de humedad en las rodajas de remolachas se produjo en las dos primeras horas. Dado que uno de los objetivos de este tratamiento fue disminuir la humedad antes de someter las muestras a fritura, media hora de DO fue suficiente tanto para ahorrar tiempo, como para alcanzar una impregnación óptima de hierro.
- La transferencia de masa durante la DO se produjo principalmente durante la primera hora. La impregnación de hierro adecuada se obtuvo con una concentración de sulfato ferroso al 0,1 % m/m.
- Las condiciones de DO utilizadas permitieron preservar el contenido en betacianinas de la remolacha, reducir las modificaciones de apariencia y color negativas en el producto final debidas a la impregnación con hierro, lo que podría haberse visibilizado con la utilización de otro vegetal, como por ejemplo papa.

- Los modelos que ajustaron los datos experimentales más satisfactoriamente para la transferencia de agua fueron Page y Peleg con  $R^2$  de 0,9903 y 0,9939 respectivamente.
- El modelo de Crank para láminas de longitud infinita se ajusta a este tipo de geometría donde el diámetro de las rodajas es mucho mayor que el espesor. Permitió estimar el coeficiente de difusividad efectivo del agua, cuyo valor fue de  $6,36 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ , el cual se halla en el orden de los encontrados por autores como Kaur & Singh (2013) quienes también trabajaron con esta hortaliza.
- Cabe destacar la importancia de este proceso en el ahorro energético ya que se produce la deshidratación sin cambio de fase y se realiza a una temperatura relativamente baja,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2.- Proceso de fritura

- La fritura por inmersión se realizó con aceite de girasol en una relación de 6:1 a  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 3 minutos.
- En este proceso también se aplicó el modelo de Crank para estimar el coeficiente de difusividad efectivo del agua. Su valor fue de  $1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y se aproxima al orden de los hallados para la fritura de otros vegetales en la literatura (Alvis et al., 2009; Castellanos Galeano, 2012; Math et al., 2004). El ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales  $R^2$  fue de 0,9693.
- Los componentes polares totales en el aceite de girasol alcanzaron un 9,5 %, muy inferior al valor máximo (25 %) establecido en el artículo 552 bis del CAA (Código Alimentario Argentino, 2021c).

## 3.- Proceso de secado combinado

- El secado combinado se realizó por microondas y convección con aire caliente a una potencia de 500 W durante 5 minutos.
- El coeficiente de difusividad efectivo del agua en el proceso de secado combinado fue de  $1,07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , aproximándose al orden de los hallados por García-Paternina et al. (2015) y Sánchez-Piloto et al. (2022) con otras matrices vegetales. El ajuste del modelo de Crank a los datos experimentales  $R^2$  fue de 0,904.

- Al comparar el secado por convección con aire caliente y el secado combinado utilizado (secado por microondas y convección con aire caliente) no se encontraron diferencias significativas en la dureza de las muestras.

Finalmente, con respecto al proceso global se puede afirmar que se está ante un proceso sustentable ya que consume poca energía, al tomar en consideración que la DO trabaja a bajas temperaturas y los procesos de fritura y secado combinado no son extensos (tiempo de fritura 3 min y tiempo de secado 5 min).

Cabe mencionar también el potencial impacto favorable en la economía local que tiene el diseño de este tipo de snack, ya que podría ser una gran oportunidad para su posible producción a escala industrial y consiguiente transferencia de tecnologías apropiadas para organizaciones y cooperativas de la agricultura familiar.

Es promisorio la utilización de tecnologías combinadas (convencionales y emergentes) por parte de la industria alimentaria para el desarrollo e innovación de productos alimenticios que satisfagan los múltiples requerimientos de las partes interesadas y que abarcan, pero no se limitan sólo, a lineamientos nutricionales, económicos, culturales y cuidado del medio ambiente.



## **8. CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO FUTURO**

- 1.** Realizar los análisis obligatorios correspondientes para el rotulado nutricional de alimentos envasados según el reglamento técnico Mercosur de la resolución GMC N° 46/03 en nutrientes como fibra, grasas saturadas y grasas trans.
- 2.** Incluir en las determinaciones realizadas para deshidratación osmótica las ganancias de sólidos solubles.
- 3.** Analizar la biodisponibilidad del hierro fortificado en la matriz en las concentraciones establecidas, así como realizar ajustes en la concentración del mismo en la solución hipertónica, según los resultados obtenidos.
- 4.** Realizar el modelado de la cinética de impregnación de Fe durante la deshidratación osmótica en soluciones hipertónicas, como también en isotónicas.
- 5.** Estudiar si la utilización del recubrimiento CMC tiene un efecto protector del hierro impregnado durante la fritura.
- 6.** Determinar la pérdida de betalaínas en cada uno de los procesos: osmodeshidratación, fritura y secado combinado y estudiar las posibles modificaciones en las condiciones operativas de cada uno de ellos para limitar al máximo su disminución.
- 7.** Llevar a cabo diseños experimentales comparativos entre la fritura convencional utilizada (180 °C) y una fritura al vacío (presión subatmosférica en sistema cerrado), que permita establecer las mejores condiciones para reducir el porcentaje de grasas final en el producto, así como minimizar las pérdidas de sustancias termolábiles, como antioxidantes (betalaínas, ácido ascórbico y polifenoles).
- 8.** Complementar el análisis de perfil de textura con más parámetros, como fracturabilidad y masticabilidad, e incluir un panel de evaluación sensorial.
- 9.** Explorar con remolacha hortícola en sus diversas variedades y en diferentes matrices vegetales la impregnación de otros minerales y vitaminas con incidencia en salud pública (para los que se ha establecido la IDR en reglamentación Mercosur como por ejemplo el calcio, el ácido fólico y la cianocobalamina).
- 10.** Contribuir a la disminución del desperdicio mediante la utilización de frutas y hortalizas que no reúnan las características de calidad comercial aceptables para el mercado, para

generar un círculo virtuoso con alimentos que de otra manera serían descartados y que pueden ser destinados para la obtención de snacks.

- 11.** Envasar el producto final (snack fortificado) en diferentes materiales poliméricos y atmósferas para determinar las condiciones óptimas de almacenamiento. Para ello, se requiere realizar ensayos de vida útil en cada caso (inclusión de criterios microbiológicos, organolépticos, entre otros).
- 12.** Elaborar un análisis económico de todo el proceso de diseño del producto para establecer su factibilidad como emprendimiento regional, así como estudiar el posible cambio de escala para ser llevado a cabo por industrias nacionales.
- 13.** Cuantificar la inversión necesaria para el montaje de una línea de producción a escala de mercado.
- 14.** Analizar la viabilidad técnico-económica de procesos de extracción y de recuperación (de la solución hipertónica) de las betalaínas por su potencial aplicación no solo en la industria alimentaria (por ejemplo, colorantes para productos de panadería y pastelería), sino también en cosmética y farmacéutica debido al potencial efecto modulador del estrés oxidativo (Kapadia & Roa, 2012).

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achir, N., Vitrac, O., & Trystram, G. (2008). Simulation and ability to control the surface thermal history and reactions during deep fat frying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(11), 1953-1967. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.03.004>.
- Aguilera, J. M. (2002). Fritura de Alimentos. En P. I. (CYTED), *Temas en Tecnología de Alimentos, volumen 1* (pp. 188-215). Alfaomega.
- Alvis, A., Vélez, C., Rada.Mendoza, M., Villamiel, M., & Villada, H. (2009). Heat transfer coefficient during deep-fat frying. *Food Control*, vol 20 (4), 321-325. DOI: [10.1016/j.foodcont.2008.05.016](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.05.016).
- Alvis, A., González, A. & Arrázola, G. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas* Lam) Fritos por Inmersión. Parte 2: Propiedades Termofísicas y de Transporte. *Información Tecnológica*, vol. 26 (1), 103-116. DOI: [10.4067/S0718-07642015000100012](https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100012).
- Anderson, E. R., & Shah, Y. M. (2013). Iron Homeostasis in the Liver. *Comprehensive Physiology*, 3(1), 315-330. DOI: [10.1002/cphy.c120016](https://doi.org/10.1002/cphy.c120016).
- ANMAT. (s.f.). *Sistema de sellos y advertencias nutricionales*. Disponible en: <https://sellos.anmat.gob.ar/Calculadora>. Acceso: julio 2022.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos, en la teoría y en la práctica* (pp.11 - 42). Editorial Acribia.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16a ed. Gaithersburg AOAC. Official Method 920.39C, action 1990.
- AOAC. (1996). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16a ed. Gaithersburg AOAC. Official Method 934.06, first action 1934, revised 1996.
- Arballo J. R. (2013). *Modelado y Simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas*. [Tesis Doctoral], Universidad Nacional de la Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26611>. Acceso: mayo 2022.
- Arias, M. B. & Enea Spilimbergo, M. M. (2020). *Estudio de factibilidad técnico, económica y financiera para la instalación de una planta de snacks salados en la provincia de Catamarca*. [Proyecto final de ingeniería], Universidad Argentina de la Empresa. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/12916>. Acceso: junio 2022.
- Arroyo, P. (2013). *Las ondas electromagnéticas*. Química y algo más. Disponible en: <https://quimicayalgomas.com/fisica/las-ondas-electromagneticas/>. Acceso: abril 2022.
- Astudillo Rubio, G. C. (2018). *Evaluación del deterioro de aceite vegetal en la preparación de papas fritas*. [Tesis de maestría en gestión de la calidad y seguridad alimentaria], Universidad del Azuay, Ecuador.
- Azuara, E., Beristain, C. I., & Gutiérrez, G. F. (2002). Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solutions. *Journal of Food Processing Preservation*, 26(4), 295-306. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2002.tb00486.x>.

- Ballone, A. (2022). Programa de inmersión en medicina del estilo de vida y sus efectos sobre los factores de riesgo cardiovasculares. *Revista Facultad de Medicina Humana*, 22 (1), 120-126. DOI: [10.25176/RFMH.v22i1.4337](https://doi.org/10.25176/RFMH.v22i1.4337).
- Bello Gutiérrez, J. (1998). *Ciencia y tecnología culinaria* (pp.129-190): Ediciones Díaz de Santos.
- Berry, S., Sehgal, A. & Kalra, C. (1999). Comparative oil uptake by potato chips during frying under different conditions. *Journal Food Science Technology*, 36, 519-521.
- BeMiller, J. M. & Whistler, R. L. (2000). Carbohidratos En Fennema, O. R.. *Química de los alimentos* (pp. 189 - 265) Editorial Acribia.
- Bielza López-Manterola, G. (2019). *Caracterización de la percepción oral de la textura de seis alimentos sólidos*. [Tesis de Grado], Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/56908/>. Acceso: abril 2023.
- Boccalatte, F. L. & Pagano, A. M. (2009). *Estudio de la cinética de deshidratación osmótica de manzanas y del efecto sobre la calidad final del producto deshidratado*. III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba. Disponible en: <https://cicytac.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2018/03/2.-Trabajos-Completos-III-CICyTAC-2009.pdf>. Acceso: julio 2022.
- Bouchon, P., & Aguilera, J. M. (2001). Microstructural analysis of frying potatoes. *International journal of food science & technology*, 36(6), 669-676. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00499.x>.
- Bouchon, P., Aguilera, J. M. & Pyle, D. L. (2003). Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. *Journal of Food science*, 68(9), 2711-2716. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05793.x>.
- Bosco, D (2021). Rodajas de peras fortificadas con calcio y zinc para la elaboración de un tentempié (Tesis de Maestría, UTN). Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5926/Tesis%20Daniela%20%20FIN%20AL%2029%20diciembre%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso: marzo 2022.
- Bosco, D., Roche, L., Della Rocca, P., & Mascheroni, R. (2018). Osmodehidrocongelación de batata fortificada con Zinc y Calcio. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, INNOTEC* (15), 23-31. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/95449/Osmodehidrocongelaci%C3%B3n\\_de\\_batata\\_fortificada\\_con\\_zinc\\_y\\_calcio.dd86673a-fd78-4ce1-b8e6-0d2f45ec6a1e\\_A.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/95449/Osmodehidrocongelaci%C3%B3n_de_batata_fortificada_con_zinc_y_calcio.dd86673a-fd78-4ce1-b8e6-0d2f45ec6a1e_A.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: febrero 2022.
- Brannan, R., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K., Myers, A. & Herrick, C.. (2014). Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technologie*, 116 (3), 240-54. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200308>.
- Bustos, E. & Medina, A. (2020). Recomendaciones y efectos de la fibra dietaria en niños. *Revista chilena de Nutrición*, 47(3), 457-462. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000300457>. Acceso: febrero 2022.
- Camaschella, C. (2019). Iron metabolism and its disorders. Iron deficiency. *The American Society of Hematology*, 133(1), 30-39. DOI: [10.1182/blood-2018-05-815944](https://doi.org/10.1182/blood-2018-05-815944).
- Cantwell, M. (2002). Appendix: Summary Table of Optimal Handling Conditions for Fresh Produce. En: Kader, A. A. (editor), *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (p. 512). University of California, Agriculture and Natural Resources.

- Calisto Guzmán, L. A. (2009). Desarrollo de producto snack a base de materias primas no convencionales: poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Wild). Universidad de Chile. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105325>. Acceso: mayo 2023.
- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v36n1/2215-5287-mlcr-36-01-91.pdf>. Acceso: marzo 2022.
- Castagnino, A. M., Díaz, K., Fernandez Lozano, J., Guisolis, A., Liverotti, O., Rosini, M. B., & Sasale, S. (2020a). Panorama del sector hortícola argentino: 1. Caracterización y prioridades de la horticultura nacional. *Horticultura Argentina* 39(99), 76-102. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/117288> Acceso: septiembre 2021.
- Castagnino, A. M., Díaz, K., Fernandez Lozano, J., Guisolis, A., Liverotti, O., Rosini, M. B., & Sasale, S. (2020b). Panorama del sector hortícola argentino: 2. Comercialización en el mercado interno y externo. *Horticultura Argentina* 39(99), 105-143. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/118009>. Acceso: septiembre 2021.
- Castellanos Galeano, F. (2012). *Efecto de las condiciones del proceso de la fritura por inmersión de rodajas plátano variedad Dominico Hartón (Musa AAB), sobre los coeficientes de transferencia de calor y masa, y la calidad fisicoquímica del producto*. [Tesis Doctoral], Universidad del Valle. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/14929/EFFECTO%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20DEL%20PROCESO%20DE%20LA%20FRITURA%20POR%20INME.pdf?sequence=2>. Acceso: julio 2022.
- Ceroli, P. (2022). *Aplicación de tecnologías de obstáculos para mejorar la calidad y aumentar la vida útil de cubos de papa*. [Tesis Doctoral], Universidad Nacional de la Plata. DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/136639>.
- Chang, R., & Colledge, W. (2002). *Química* (pp.35-66). 7ma edición. McGrey-Hill.
- Chen, L., Zhu, Y., Hu, Z., Wu, S., & Jin, C. (2021). Beetroot as a functional food with huge health benefits: Antioxidant, antitumor, physical function, and chronic metabolomics activity. *Food Science and Nutrition*, 9(11), 6406-6420. DOI: [10.1002/fsn3.2577](https://doi.org/10.1002/fsn3.2577).
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G, Ayala, A. & Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 129-135. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00203-X).
- Código Alimentario Argentino. (2021a). Capítulo XI. *Alimentos vegetales*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo\\_xi\\_vegetalesactualiz\\_2021-08.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo_xi_vegetalesactualiz_2021-08.pdf). Acceso: noviembre 2021.
- Código Alimentario Argentino. (2021b). Capítulo XVII. *Alimentos de régimen o dietéticos*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat\\_caa\\_capitulo\\_xvii\\_dieteticosactualiz\\_2021-07.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xvii_dieteticosactualiz_2021-07.pdf). Acceso: junio 2022.
- Código Alimentario Argentino. (2021c). Capítulo VII. *Alimentos grasos, aceites alimenticios*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo\\_vii\\_grasosactualiz\\_2021-08.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo_vii_grasosactualiz_2021-08.pdf). Acceso: mayo 2022.

- Código Alimentario Argentino. (2021d). Capítulo XVIII. *Aditivos alimentarios*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat\\_caa\\_capitulo\\_xviii\\_aditivosactualiz\\_2021-03.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xviii_aditivosactualiz_2021-03.pdf). Acceso: junio 2022.
- Código Alimentario Argentino. (2022a). Capítulo IX. *Alimentos farináceos - cereales, harinas y derivados*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo\\_ix\\_harinasactualiz\\_2021-08.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo_ix_harinasactualiz_2021-08.pdf). Acceso: agosto 2022.
- Código Alimentario Argentino. (2022b). Capítulo V. *Normas para la rotulación y publicidad de los alimentos*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat\\_capitulo\\_v\\_rotulacion\\_actualiz\\_2021-08.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_capitulo_v_rotulacion_actualiz_2021-08.pdf). Acceso: septiembre 2022.
- Comité Nacional de Hematología, Oncología y Medicina Transfusional y Comité Nacional de Nutrición (2017). Deficiencia de hierro y anemia ferropénica. Guía para su prevención, diagnóstico y tratamiento. *Arch Argent Pediatr*, 115(4), 68-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2017.s68>.
- Congreso de la Nación Argentina. (2002). *Ley 25630 de 2002. Prevención de las anemias y las malformaciones del tubo neural*. Boletín Oficial N° 34.970. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25630-77088/texto> Acceso: mayo 2022.
- Congreso de la Nación Argentina (2021). *Ley 27642 de 2021. Promoción de la alimentación saludable*. Boletín Oficial N° 34.792. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/252728/20211112>. Acceso: julio 2022.
- Contreras, J. E., & Smyrl, T. G. (1981). An Evaluation of Osmotic Concentration of Apple Rings Using Corn Syrup Solids Solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14(4), 310-314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(81\)72932-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(81)72932-8)
- Coultate, T. P. (2013). *Manual de química y bioquímica de los alimentos* (pp.177 - 219). Editorial Acribia.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*, Second Edition, UK. Oxford University Press.
- D'Amico, J. P. (2017). Producir hortalizas pesadas con labranza cero. *INTA Informa*. Disponible en: <https://intainforma.inta.gob.ar/produccion-de-hortalizas-pesadas-con-labranza-cero/> Acceso: octubre 2021.
- Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H. O., Maghsudlo, Y., Kashaninejad, M & Jafari, S. M. (2012). Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (7), 1334-1341. DOI: [10.1007/s13197-012-0660-9](https://doi.org/10.1007/s13197-012-0660-9).
- Dasore, A., Polavarapu, T., Konijeti, R. & Puppala, N. (2020). Convective hot air drying kinetics of red beetroot in thin layers. *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)*, 14 (23), 1-8. DOI: [10.5098/hmt.14.23](https://doi.org/10.5098/hmt.14.23).
- Delgado Vargas, F., Jimenez, A. R., & Paredes-López, O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains: Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40(3) , 173-289. DOI: [10.1080/10408690091189257](https://doi.org/10.1080/10408690091189257).
- Della Rocca, P. A. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente (Tesis de Maestría, UTN). Disponible en: <https://pdf4pro.com/cdn/secado-de-alimentos-por-m-233-todos-combinados-2b3c50.pdf>. Acceso: marzo 2022.

- Della Rocca, P. A., Languasco, J., Celma, G. C., & Mascheroni, R. H. (2008). Deshidratación osmótica de papas. *Proyecciones*, 6(1), 53-62. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5963/Deshidrataci%C3%B3n%20osm%C3%B3tica%20de%20papas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso: marzo 2022.
- Della Rocca, P. A., & Mascheroni, R. (2011). Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. *Proyecciones*, Vol.9(2), 11-26. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/73071/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/73071/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: marzo 2022.
- Della Rocca, P. A., Roche, L. A., & Mascheroni, R. H. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. *Proyecciones*, Vol.11 (Nº2), 81-91. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73855> Acceso: marzo 2022.
- Denoya, G. I. (2015). *Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre la calidad y vida útil de duraznos mínimamente procesados. Aspectos bioquímicos, fisicoquímicos, higiénico-sanitarios, nutricionales y sensoriales*. [Tesis Doctoral], Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Disponible en: [http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgraafa/index/assoc/HWA\\_1137.dir/1137.PDF](http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgraafa/index/assoc/HWA_1137.dir/1137.PDF). Acceso: septiembre 2022.
- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G & Velazco, J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technologie*, 102 (8-9), 521-528. DOI: [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200009\)102:8/9<521::AID-EJLT521>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200009)102:8/9<521::AID-EJLT521>3.0.CO;2-A).
- Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2015). Possible adverse effects of frying with vegetable oils. *British Journal of Nutrition*, 13 (S2), S49-S57. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/BAFA919B036723C095287BE003AA5A3A/S0007114514002347a.pdf/possible-adverse-effects-of-frying-with-vegetable-oils.pdf>. Acceso: mayo 2022.
- Durán, P. (2007). Anemias por deficiencia de hierro: estrategias disponibles y controversias por resolver. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 105(6), 448-490. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/aap/v105n6/v105n6a02.pdf>. Acceso: abril 2022.
- Fellow, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas* (pp. 9 - 21). Editorial Acribia.
- Fernández, P., Mascheroni, R. H., & Ramallo, L. (2016). Incorporación de vitamina C y calcio durante el proceso de deshidratación osmótica de ananá. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los alimentos . Córdoba, Argentina. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135443/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135443/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: marzo 2022.
- Fernández, P. R. (2018). *Frutas tropicales deshidratadas fortificadas con calcio y vitamina C*. [Tesis Doctoral] Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Disponible en: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/83975/CONICET\\_Digital\\_Nro.077ca184-d579-4ac2-bb79-9de5ad8233c2\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/83975/CONICET_Digital_Nro.077ca184-d579-4ac2-bb79-9de5ad8233c2_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Acceso: mayo 2023.
- Fernández-Molina, J. J., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G. (2001). Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor. *Arbor*, 168(661), 155-170. DOI: <https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.827>.
- Ferrari, C. C., & Hubinger, M. D. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(11), 2065–2074. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01824.x>.

- Forrellat Barrios, M. (2016). Regulación del metabolismo del hierro: dos sistemas, un mismo objetivo. *Revista cubana de hematología, inmunología y hemoterapia*, 32(1), 4-14. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v32n1/hih02116.pdf>. Acceso: marzo 2022.
- Forrellat Barrios, M. (2017). Diagnóstico de la deficiencia de hierro: aspectos esenciales. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 33(2), 1-9. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubheminmhem/rch-2017/rch172d.pdf>. Acceso: marzo 2022.
- Forrellat Barrios, M., Gautier du Défaix Gómez, H., & Fernández Delgado, N. (2000). Metabolismo del hierro. *Revista cubana de hematología, inmunología y hemoterapia*, 16(3), 149-160. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v16n3/hih01300.pdf>. Acceso: marzo 2022.
- Fugate, K., & Campbell, L. (2009). Postharvest Deterioration of Sugar Beet. En *Harveson, R. M., Hanson, L.E. & Hein, G. L., Compendium of Beet Diseases and Pests. (2nd edition)*. The American Phytopathological Society (pp. 92 - 94). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259969092\\_Postharvest\\_Storage\\_Losses\\_Associated\\_with\\_Aphanomyces\\_Root\\_Rot\\_in\\_Sugarbeet](https://www.researchgate.net/publication/259969092_Postharvest_Storage_Losses_Associated_with_Aphanomyces_Root_Rot_in_Sugarbeet) Acceso: noviembre 2021.
- Gaitán C., D., Olivares G., M., Arredondo O., M., & Pizarro A., F. (2006). Biodisponibilidad del hierro en humanos. *Revista chilena de nutrición*, 33(2), 142-148. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000200003>.
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos . *La Granja, revista de ciencias de la vida*, 15(1), 18-25. Disponible en: <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/15.2012.02>. Acceso: noviembre 2021.
- Gamboa-Santos, J., Rodríguez, J., Carvajal, G., & Pilamala, A. (2016). Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales* 3, 57-75. DOI: <https://doi.org/10.23850/24220582.361>
- García-Figueroa, A. G., Ayala-Aponte, A., & Sánchez-Tamayo, M. I. (2019). Efecto de recubrimientos comestibles de *Aloe vera* y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-8. DOI: [10.31910/rudca.v22.n2.2019.1320](https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1320).
- García-Paternina, M., Alvis-Bermudez, A., & García-Mogollon, C. (2015). Modelado de la cinética de secado de mango pre-tratadas con deshidratación osmótica y microondas. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 22-29. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)22-29](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)22-29).
- Geankoplis, C.J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (pp. 584-601). Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 3a Ed.
- Giraldo-Zuniga, A. D., Arévalo-Pinedo, A., Silva, A. F., Silva, P. F., Valdes-Serra, J. C., & Pavlak, M. C. D. M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Food Science and Technology*, 30, 179-182. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/HT4CM6wN7jD9Wnh7kSSHyhF/?format=pdf&lang=es>. Acceso: mayo 2023.
- González, A., Alvis, A. & Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomea Batatas Lam*) fritos por inmersión. Parte 1: Textura. *Información tecnológica*, 26 (1), 95-102. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>.



- González Urrutia, R. (2005). Biodisponibilidad del hierro. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 14 (26), 6-12. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14292005000100003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14292005000100003&script=sci_arttext). Acceso: febrero 2022.
- Guerrero Legarreta, I., López Hernández, E. & Armenta López, R. E. (2006). Pigmentos. En Badui Dergal, S. (Quintanar Duarte, E.). *Química de los alimentos*, 4 ed. (pp. 401 - 444) Pearson Educación.
- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H., & Han, Z. (2017). Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 67, 236–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.007>.
- Guzmán, L., Acevedo, D. & Granados, C. (2012). Efecto del escaldado, deshidratación osmótica y recubrimiento en la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de papa criolla frita. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 10 (2), 170-176. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a20.pdf>. Acceso: junio 2022.
- Hase, S. L., & Linares, A. R. (2018). Cinética de pérdida de agua y ganancia de aceite de snacks fritos de mandioca. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (29), 35-44. Disponible en: <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/211/466>. Acceso: mayo 2023.
- Hase, S.L., Linares, A. R., Kachuk, L., Pérez Navarro, O., & Miño Valdes, J. E. (2021). Variación de agua y aceite en snacks de mandioca durante la fritura. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 2 (2), 59-71. DOI: [j.masingenio.2021.02.02.005](https://doi.org/10.24245/2524-8621.2021.02.02.005).
- Henderson, S.M. & Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Research Engineering* 6, 169–174.
- Ibarz, A., & Barboza-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Idigoras, G. (2014). Producción y procesamiento de productos frutihortícolas. *Documento de referencia. Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación Productiva. Secretaría de Planeamiento y Política en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva*. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion\\_y\\_procesamiento\\_de\\_productos\\_frutihortícolas-doc.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion_y_procesamiento_de_productos_frutihortícolas-doc.pdf) .Acceso: octubre 2021.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados Definitivos*. INDEC. Disponible en: [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf). Acceso: octubre 2021.
- Jadhav, H. B., Annapure, U. S., & Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal Technologies for Food. *Frontiers in Nutrition*, 8(657090), 1-14. DOI: [10.3389/fnut.2021.657090](https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090).
- Japón Quinteros, J. (1985). Cultivo extensivo de la remolacha de mesa. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. N° 18/84*, 1-16. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1984\\_18.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1984_18.pdf) Acceso: octubre 2021.
- Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K. K., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J., J., Boyd, P., W., Duce, R., A., Hunter, K., A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J, Liss, P., S, Mahowald, N., Prospero, J., M., Ridgwell, A., J., Tegen, I. & Torres, R. (2005). Global Iron Connection between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate. *Science* 308(5718), 67-71. DOI: [10.1126/science.1105959](https://doi.org/10.1126/science.1105959).

- Juáres, M. D., & Sammán, N. (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 13(2), 82-94. Disponible en: <https://www.renc.imágenesnes/auxiliar/files/0032007.pdf>. Acceso: abril 2022.
- Kapadia, G. J., & Roa, G. S. (2012). Anticancer effect of red beet pigments. En Neelwarne, B., *Red Beet Biotechnology* (pp. 125-154). Springer. DOI: [10.1007/978-1-4614-3458-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3458-0_7).
- Kapetanakou, A., Manios, S., & Skandamis, P. (2014). Application of Edible Films and Coatings on Food. En I. S. Boziaris, *Novel food preservation and microbial assessment techniques* (pp. 237-273). CRC Press.
- Kaur, K., & Singh, A. K. (2013). Mathematical modelling of mass transfer for osmotic dehydration of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Int J Agric*, 3, 1-10. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31754127/1. Mathematical Modelling.full-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656560922&Signature=Iq9CU9RSi-eZBZZEPD9C63Y0p-mdQDTGrp5qjeG1Pls8M9PQV3ueqPYi9-Bj4GGAD~4pUGdrjQ-e0XPnTO2HRkoq2vcA9If9HOOIR-LPGfkcBqXAXwYjXCMLm9q2g-KtOmQN405biF75yeLfkVPB0HGILtMtibCBfJMwha~VEIPBUto9ShxBdrUoyt9Utl~CMyX4gHENFDogUHL03gHmiFco3ar34BUICY9w3PjQEeXODxFFNMexdhXXhWPSiyDwsjpmqWC1f24S0pstGuB-HTjXjbOkpD~5TmMVd0Ls2r6Ckpszlk1pRtBfDDVH243Gp4w8ds1Vtj4T2LTYfgBR4Ew\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31754127/1. Mathematical Modelling.full-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656560922&Signature=Iq9CU9RSi-eZBZZEPD9C63Y0p-mdQDTGrp5qjeG1Pls8M9PQV3ueqPYi9-Bj4GGAD~4pUGdrjQ-e0XPnTO2HRkoq2vcA9If9HOOIR-LPGfkcBqXAXwYjXCMLm9q2g-KtOmQN405biF75yeLfkVPB0HGILtMtibCBfJMwha~VEIPBUto9ShxBdrUoyt9Utl~CMyX4gHENFDogUHL03gHmiFco3ar34BUICY9w3PjQEeXODxFFNMexdhXXhWPSiyDwsjpmqWC1f24S0pstGuB-HTjXjbOkpD~5TmMVd0Ls2r6Ckpszlk1pRtBfDDVH243Gp4w8ds1Vtj4T2LTYfgBR4Ew_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acceso: junio 2022.
- Kita, A., Lisińska, G. & Golubowska, G.. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry* 102 (1), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.038>.
- Kizito, K. F., Abdel-Aal, M. H., Ragab, M.H., & Yousseff, M. M. (2017). Quality attributes of French fries as affected by different coatings, frozen storage and frying conditions. *Journal of agriculture Science and Botany*, 1 (1), 23-29. DOI: [10.35841/2591-7897.1.1.18-24](https://doi.org/10.35841/2591-7897.1.1.18-24).
- Krokida, M., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. & Kouris, D. (2001). Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*, 49 (4), 339-345. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00232-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00232-6).
- Latorre, M. E. (2011). *Influencia de las radiaciones gamma y de microondas en las características químicas, bioquímicas y mecánicas de tejidos vegetales con especial referencia a Beta vulgaris L var conditiva*. [Tesis Doctoral], Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Disponible en: [http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n5042\\_Latorre](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5042_Latorre) Acceso: septiembre 2021.
- Lazarowski, A. (2011). Repasemos el metabolismo (parte I). Hierro. *Programa de Educación XX Congreso Sociedad argentina de hematología*, 49-68. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/221672010\\_Programa\\_de\\_Educacion\\_XX\\_Congreso\\_Sociedad\\_argentina\\_de\\_hematologia](https://www.researchgate.net/publication/221672010_Programa_de_Educacion_XX_Congreso_Sociedad_argentina_de_hematologia). Acceso: abril 2022.
- Lencina, M. S., dos Santos Ferreira, C., Archaina, D., Gómez, M. B., & Mazzobre, M. F. (2022). Stability and bioaccessibility of iron in pumpkin discs vacuum impregnated with ferrous gluconate,  $\beta$ -cyclodextrin and ascorbic acid. *LWT Food Science and Technology*, 161, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113342>.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados* (pp. 135 - 145). Editorial Acribia.
- López, L. B., & Suárez, M. M. (2010). *Fundamentos de nutrición normal* (pp.265 - 296): El Ateneo.

- López-Mejía, N., Andrade-Mahecha, M. M., & Martínez-Correa, H. A. (2019). Modelamiento matemático de la cinética de secado de espagueti enriquecido con pulpa de zapallo deshidratada (Cucurbita moschata). *Revista Udca Actualidad & Divulgacion Cientifica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1151>.
- Lucas, J. C., Quintero, V. D., Leal, J. F. V., & Núñez, L. C. (2011). Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et technica*, 2(48), 299-304. DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.1317>.
- Lumanlan, J. C., Fernando, W. M. A. D. B. & Jayasena, V. (2020). Mechanisms of oil uptakes during deep frying and applications of predrying and hydrocolloids in reducing fat content of chips. *International Journal of Food Science and Technologie*, 55 (4), 1661-1670. DOI: [10.1111/ijfs.14435](https://doi.org/10.1111/ijfs.14435).
- Marchesino, M. A., López, P. L., Guerberoff Enemark, G. K. & Olmedo, R. H. (2020). Los procesos de fritura y su relación con los valores nutricionales y la inocuidad: Una visión integral desde la seguridad alimentaria. *Universidad de Córdoba, Nexo Agropecuario*, 8 (1), 43-51. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/144678>. Acceso: junio 2022.
- Martínez, D. F., Castellanos, F. J. & Bravo, J. E. (2015). Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. *Ingeniería y competitividad* 17 (2), 91-99. DOI: <https://doi.org/10.25100/iyc.v17i2.2192>.
- Math, R. G., Velu, V., Nagender, A. & Rao, D.G. (2004). Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *Journal of Food Engineering*, 64 (4), 429-434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.010>.
- Mauro, M. A., Tavares, D. Q. & Menegalli, F. C. (2002). Behavior of plant tissue in osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*, 56, 1-15. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00107-3).
- Ministerio de Salud. (2007). *Encuesta Nacional de Nutrición y Salud. Documento de Resultados 2007*. Disponible en: <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/encuesta-nacional-de-nutricion-y-salud-documento-de-resultados-2007>. Acceso: noviembre 2021.
- Ministerio de Salud. (2018). Encuesta Mundial de Salud Escolar. Argentina 2018. Disponible en: <https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2020-01/encuesta-mundial-salud-escolar-2018.pdf>. Acceso: junio 2022.
- Ministerio de Salud. (2020). *Guías Alimentarias para la Población Argentina*. Disponible en: <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/guias-alimentarias-para-la-poblacion-argentina>. Acceso: noviembre 2021.
- Ministerio de Salud - INDEC. (2015). *3ra Encuesta Nacional de Factores de Riesgo para Enfermedades No Transmisibles*. Disponible en: [https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2018-10/0000000544cnt-2015\\_09\\_04\\_encuesta\\_nacional\\_factores\\_riesgo.pdf](https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2018-10/0000000544cnt-2015_09_04_encuesta_nacional_factores_riesgo.pdf). Acceso: abril 2022.
- Ministerio de Salud y Desarrollo Social (2019a). *2º Encuesta Nacional de Nutrición y Salud. Indicadores priorizados (septiembre 2019)*. Disponible en: <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/2deg-encuesta-nacional-de-nutricion-y-salud-indicadores-priorizados>. Acceso: noviembre 2021.
- Ministerio de Salud y Desarrollo Social (2019b). *Resolución 996/2019. Plan Nacional de Alimentación Saludable en la Infancia y Adolescencia para la Prevención del Sobrepeso y Obesidad en Niños, Niñas y Adolescentes*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-996-2019-324474/texto>. Acceso: abril 2022.

- Ministerio de Salud y Desarrollo Social (2019c). *4ta Encuesta Nacional de Factores de Riesgo. Principales resultados.* Disponible en: [https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2020-01/4ta-encuesta-nacional-factores-riesgo\\_2019\\_principales-resultados.pdf](https://bancos.salud.gob.ar/sites/default/files/2020-01/4ta-encuesta-nacional-factores-riesgo_2019_principales-resultados.pdf). Acceso: abril 2022.
- Mitidieri, M. S. (2015). *Programa Nacional Hortalizas, Flores y Aromáticas. Plan de Gestión Integrador PNHFA. Contribución al desarrollo territorial de las producciones intensivas.* INTA San Pedro. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-plan\\_de\\_gestin\\_pnhfa\\_1106081.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-plan_de_gestin_pnhfa_1106081.pdf) Acceso: octubre 2021.
- Montes O., N., Millar M., I., Provost L., R., Martínez M., N., Fernández Z., D., Morales I., G., & Valenzuela B., R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 87-91. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v43n1/art13.pdf>. Acceso: abril 2022.
- Moposita-Flores, S. Y. (2022). Cumplimiento de la Guía de Hipertensión Arterial del Ministerio de Salud Pública Como Indicador de Calidad en el Primer Nivel. *Polo del conocimiento*, vol. 7 (1), 177-195. DOI: [10.23857/pc.v7i1.3471](https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3471).
- Morales, V & Santacruz, S. (2017). Uso de Películas Comestibles a Base de Carboximetilcelulosa y Goma Xantana para la Disminución de Absorción de Grasa de Malanga Frita (*Xanthosoma Sagittifolium*). *Revista Politécnica* 40 (1), 7-12. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v40n1/2477-8990-rpolit-40-01-00007.pdf>. Acceso: mayo 2022.
- Morales Payán, J. P. (1995). *Cultivo de Remolacha.* Santo Domingo, República Dominicana: Centro de Información FDA. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/remolacha.pdf> Acceso: octubre 2021.
- Morata Barrado, A. (2010). *Nuevas tecnologías de conservación de alimentos* (pp. 1 - 10). Vicente Ediciones. DOI: [10.13140/RG.2.1.4187.6641](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4187.6641).
- Nielsen, S. S. (2007). *Análisis de los alimentos. Manual de laboratorio* (pp. 77-84). Editorial Acribia.
- Nieto, M. B. (2009). Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coating. En K. C. Huber, & M. Embuscado, *Edible Foods and Coatings for Food Applications* (pp. 57-112). Springer. DOI: [10.1007/978-0-387-92824-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_3).
- Niranjan, T., Rajender, G., Reddy, P. Reddy, V., Kumar, A. & Krishna, V. (2018). Study on Osmotic Dehydration of Fig Fruit (*Ficus carica*) Slices Mediated Tray Drying. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 7 (Nº 6) 3198-3205. DOI: [10.20546/ijcmas.2018.706.375](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.375).
- Nucifora, M. V. (2021). Recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de arándanos. *Tesina de grado, Universidad de Belgrano, Facultad de ciencias exactas y naturales.* Disponible en: <http://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/9677/Nucifora.pdf?sequence=1>. Acceso: junio 2022.
- Oginni, O.C.; Sobukola, O.P.; Henshaw, F.O.; Afolabi, Q.A.O. & Munoz, L. (2015). Effect of starch gelatinization and vacuum frying conditions on structure development and associated quality attributes of cassava-gluten based snacks. *Food structure*, 3, p.12-20. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.12.001>.
- Oh, M., & Uribarri, J. (2001). Electrolitos, agua y equilibrio acidobásico. En M. E. Shils, *Nutrición en Salud y Enfermedad Tomo 1* (pp. 123-163). McGraw-Hill.

- O'Keefe, S. F. (2002). Nomenclature and clasification of lipids. En Akoh, C., & Min, D. *Food lipids. Chemistry, nutrition and biotechnology* (pp. 19-58). Marcel Dekker. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Casimir-Akoh/publication/48215148\\_Food\\_Lipids\\_Chemistry\\_Nutrition\\_Biotechnology/links/599d40c345851574f4b0c415/Food-Lipids-Chemistry-Nutrition-Biotechnology.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Casimir-Akoh/publication/48215148_Food_Lipids_Chemistry_Nutrition_Biotechnology/links/599d40c345851574f4b0c415/Food-Lipids-Chemistry-Nutrition-Biotechnology.pdf). Acceso: abril 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *Consumo de productos alimentarios ultraprocesados y procesados con exceso de nutrientes asociados a enfermedades crónicas no transmisibles y a la alimentación insalubre en las Américas*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55547/OPSNMHRF210036\\_spa.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55547/OPSNMHRF210036_spa.pdf?sequence=6&isAllowed=y). Acceso: mayo 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2015) *Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: tendencias, efecto sobre la obesidad e implicaciones para las políticas públicas*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/7698/9789275318645\\_esp.pdf](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/7698/9789275318645_esp.pdf). Acceso: julio 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2018). *Shake. Menos sal más salud. Guía técnica para reducir el consumo de sal*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/38586/9789275319956\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/38586/9789275319956_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: abril 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Plan de acción para eliminar los ácidos grasos TRANS de producción industrial 2020-2025*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52231/OPSNMHRF200006\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52231/OPSNMHRF200006_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: mayo 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2021a). *Noncommunicable Diseases in the Era of COVID-19 and Building Back Stronger NCD Programs*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55361/PAHONMHN210039\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55361/PAHONMHN210039_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: mayo 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2021b). *Metas regionales actualizadas de la OPS para la reducción de sodio. Herramientas para enfrentar la carga de enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54971/OPSNMHRF210016\\_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54971/OPSNMHRF210016_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Acceso: abril 2022.
- Organización Panamericana de la Salud. (2021c). *Mapeo de las políticas y las iniciativas de la disminución del consumo de sodio en las regiones de las Américas*. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55113/9789275323236\\_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55113/9789275323236_spa.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Acceso: abril 2022.
- Ostos, S. L., Díaz, A. C., & Suarez, H. (2012). Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (Tommy Atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. *Revista chilena de nutrición*, 39(2), 181-190. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000200007>.
- Panigadi, C., Berardi, C., Milione, H., Cámara, L. & Valdez, P. (2021). Enfermedades crónicas no transmisibles en el siglo XXI. *Revista Argentina de Medicina*, vol 9 (3). Disponible en: <http://revistasam.com.ar/index.php/RAM/article/view/628>. Acceso: mayo 2022.
- Paramasivam, S. K., David, A. K., Marimuthu Somasundaram, S., Suthanthiram, B., Shiva , K., & Subbaraya, U. (2021). Influence of foodhydrocolloids on the structural, textural and chemical characteristics of low-fat banana chips. *Food science and technology international*, 1-13. DOI: [10.1177/10820132211003708](https://doi.org/10.1177/10820132211003708).

- Pedreschi, F. & P. Moyano. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*: 70(3), 557-563 . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.010>.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food science*, 53(4), 1216-1217. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>.
- Poder Ejecutivo Nacional. (2022). Decreto Reglamentario 151/2022. Boletín Oficial N° 34886. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/259690/20220323>. Acceso: julio 2022.
- Pereira, R., & Vicente, A. (2010). Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Resaerch International*, 43, 1939-1943. Disponible en: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/11276/1/Pereira\\_Food%20Research%20International.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/11276/1/Pereira_Food%20Research%20International.pdf). Acceso: abril 2022.
- Pita Martín de Portela, M. L. (2015). *Aspectos nutricionales de vitaminas y minerales en el siglo XXI* (pp. 198-206, 242-262). Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios.
- Rattin, J. E., Echarte, M. M., Barrera, L., Tognetti, J., & Di Benedetto, A. (2022). Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 48 (1), 24-40. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11598>. Acceso: julio 2022.
- Ravichandran, K., Saw, N. M., Mohdaly, A. A., Gahbr, A. M., Kastell, A., Riedel, H., Cai, Z., Knorr, D. & Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Reseach International*, 50(2), 670-675. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.002>.
- Reyes Chaparro, J. E. (2022). *Aplicación de técnicas combinadas microondas – lecho fluidizado para la deshidratación de granos de café en sus diversas variedades* [Tesis doctoral], Universidad de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/142705>.
- Roche, L. A., Silva Paz, R. J., Languasco, J. M., Della Rocca, P. A., & Mascheroni, R. H. (2015). Papas fortificadas con calcio y vitamina C conservadas por osmohidrocongelación y envasadas en atmósfera modificada. *Proyecciones*, Vol.13(1), 79-88. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74899/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74899/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acceso: marzo 2022.
- Rochette, L., Gudjoncik, A., Guenancia, C., Zeller, M., Cottin, Y., & Vergely, C. (2015). The iron-regulatory hormone hepcidin: a possible therapeutic target? *Pharmacology & therapeutics*, 146, 35-52. DOI: [10.1016/j.pharmthera.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.09.004).
- Rodríguez D. L. P. , G. C., Zuluaga, C. L., Puerta, L. F., & Ruiz, L. V. (2013). Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmodeshidratado. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 123-129. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a15.pdf>. Acceso: junio 2022.
- Rodríguez-Manrique, J. A., Alvis-Bermudez, A. & Cohen-Manrique, C. S. (2018). Análisis de perfil de textura de ahuyama (curcubita máxima) sometida a freído atmosférico por inmersión. *Información tecnológica*, 29 (4), 55-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400055>.

- Ryynänen, S. (1995). The electromagnetic properties of food materials: A review of the basic principles. *Journal of Food Engineering*, 26 (4), 409-429. DOI: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)00063-F](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)00063-F).
- Rzedowski, G. C. de & Rzedowski, J. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. (pp.115-129) Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora del Valle de Mx1.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf). Acceso: noviembre 2021.
- Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). Electromagnetic Properties. En *Physical Properties of Foods* (pp. 157–192). Springer, New York, NY. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-387-30808-3\\_4](https://doi.org/10.1007/0-387-30808-3_4).
- Salazar Lizarazo, L. C. (2019). *Desarrollo de un snack saludable para la población senior joven*, [Tesis de Maestría]. Universidad de Valladolid. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/38197/TFM-L480.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso: mayo 2022.
- Salehi, F. (2020). Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A new review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (11), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14879>.
- Sánchez-Piloto, D., Abreu Saiz, S., Frías Chirino, A., Leyva Rodríguez, J. L., Sera-Rodríguez, C., Ramos-Lage, Y. & Mackay-Hernández, J. (2022). Modelación matemática de la cinética de secado en estufa de cubos de piña variedad española roja. *Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 32(3), 23–28. Disponible en: <https://www.revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/396>. Acceso: mayo 2023.
- Sanjinez-Argandoña, E. J., Branco, I. G., Takito, S. Y., & Corbari, J. (2010). Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kivis mínimamente procesados . *Food Science and Technology*, 30, 205-209. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000500031>.
- Sauterna Hurtado, A. C. (2008). La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos. *Perspectiva en Nutrición Humana*, Vol.10(1), 77-88. Disponible en: [http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/11378/1/SuaternaAdriana\\_2008\\_FrituraAlimentosPerdida.pdf.pdf](http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/11378/1/SuaternaAdriana_2008_FrituraAlimentosPerdida.pdf.pdf). Acceso: abril 2022.
- Sauterna Hurtado, A. C. (2009). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectiva en Nutrición Humana*, Vpl.11 (Nº1), 39-53. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/penh/v11n1/v11n1a4.pdf> . Acceso: abril2022.
- Senser, F., & Scherz, H. (1991). *El pequeños Souci-Fachman-Kraut. Tabla de composición de alimentos*. Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching bei München, Stuttgart (Deutschland).
- SINAVIMO. (s.f.). *Argentina.gob.ar*. Disponible en: <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/beta-vulgaris>. Acceso: octubre 2021.
- Sharma, K. K. (2003). Improving bioavailability of iron in Indian diets through food-based approaches for the control of iron deficiency anaemia. *Food Nutrition and Agriculture*, (32), 51-61. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y8346m/y8346m06.pdf>. Acceso: febrero 2022.
- Shinde, P., & Gupta, S. (2015). Comparative Study of Oxidative Degradation of Selected Vegetable Oils during Deep Frying . *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, Vol IV (IV), 21-24. Disponible en: <https://www.ijltemas.in/DigitalLibrary/Vol.4Issue4/21-24.pdf>. Acceso: abril 2022.

- Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A. (2014). Osmotic dehydration of pineapple with impregnation of sucrose, calcium, and ascorbic acid. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 385-397. DOI:[10.1007/s11947-013-1049-0](https://doi.org/10.1007/s11947-013-1049-0).
- Silva Paz, R. J., Denoya, G. I., Languasco, J. M. & Della Rocca, P. A. (2013). Evaluación de los parámetros de color y de textura del zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) sometido a diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. *Proyecciones*, Vol.11(1), 69-80. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5706/Proyecciones%202013%20Abril%20-%20Silva%20Paz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso: abril 2022.
- Silva Paz, R. J., Roche, L. A., Della Rocca, P. A., & Mascheroni, R. H. (2015). Papa osmodehidrocongelada fortificada con calcio. In *IV Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CLICAP)*. San Rafael, Mendoza, (15 al 17 de abril de 2015).
- Sociedad Argentina de Hematología. (2021). *Guías de Diagnóstico y Tratamiento*. Sociedad Argentina de Hematología. Disponible en: <http://www.sah.org.ar/docs/guias/2021/Eritropatias-Guia-2021-Libro.pdf> Acceso: noviembre 2021.
- Solano-Doblado, L. G., Alamillo-Beltrán, L. & Giménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21 (2), 30-42. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.
- Soteras, E. M. (2020). *Aplicación de recubrimientos comestibles a productos sometidos a deshidratación osmótica*. [Tesis Doctoral] Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109773>. Acceso: abril 2023.
- Spiazzi, E. A., & Mascheroni, R. H. (1997). Mass Transfer Model for Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables-I. Development of the Simulation Model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00102-7).
- Spiazzi, E. A., & Mascheroni, R. H. (2001). Modelo de deshidratación osmótica de alimentos vegetales. *MAT-Serie A*, 4, 23-32. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31351084/Modelo\\_de\\_deshidratacion\\_osmotica\\_de\\_alimentos\\_vegetales-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653782078&Signature=LAW9abuGFJ8klXty~5RjZEyD50-xkD3v4BvkftoTUv2x4S5kY97cp-pEX50gEjKNr0B8TpJtvLo4Zr9BSQaYwpc4BeiW0MCgmvJTbkRxe2M6NAftIpBvZPSoVlihziJ63oKwFoaTCKIbMAaIZqS7u0tF~5uYDnMEK2-ZmrbKBhdZlHKpD5HFheK-Lb21J5iLfz72sdjF-UvG5NSKk0ZkZmNtmIot7IRNwQoGGjCPXcbIeY~kCJk8uBoTapBPujNnEm31zJPUP55zUIG-lFgptrVQSuPw1dsWE4YsjLcOGyNZSFF3-y3E8BQlohu4hm3wAn5XWuUE493z1V1ZDpbHJA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31351084/Modelo_de_deshidratacion_osmotica_de_alimentos_vegetales-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653782078&Signature=LAW9abuGFJ8klXty~5RjZEyD50-xkD3v4BvkftoTUv2x4S5kY97cp-pEX50gEjKNr0B8TpJtvLo4Zr9BSQaYwpc4BeiW0MCgmvJTbkRxe2M6NAftIpBvZPSoVlihziJ63oKwFoaTCKIbMAaIZqS7u0tF~5uYDnMEK2-ZmrbKBhdZlHKpD5HFheK-Lb21J5iLfz72sdjF-UvG5NSKk0ZkZmNtmIot7IRNwQoGGjCPXcbIeY~kCJk8uBoTapBPujNnEm31zJPUP55zUIG-lFgptrVQSuPw1dsWE4YsjLcOGyNZSFF3-y3E8BQlohu4hm3wAn5XWuUE493z1V1ZDpbHJA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acceso: abril 2022.
- Stedman, T. L. (1993). *Diccionario de ciencias médicas* (pp. 1124). Editorial médica panamericana.
- Stein, C., Schmidt, M. I., Cousin, E., Malta, D. C., Naghavi, M., Oliveira, P. P. V. D., Pinho Ribeiro, A. L. & Duncan, B. B. (2022). Exposure to and burden of major non-communicable disease risk factors in Brazil and its states, 1990-2019: the Global Burden of Disease Study. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 55 (1), 1-10. Disponible en:



- <https://www.scielo.br/j/rsbmt/a/nRXjqhMmLZJV5KtNWZ9c5Dd/?format=pdf&lang=en>. Acceso: abril 2022.
- Tavella, M. V., Tavella, J. M., Gamboa-Santos, J., Lamelo, M. J., & Mastroianni, M. (2016). Hacia una Argentina libre de grasas trans. *Revista chilena de nutrición*, vol. 43, N°4, 403-415. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v43n4/art11.pdf>. Acceso: abril 2022.
- Teles, U. M., Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Lima, A., Maia, G. & Figueiredo, R. W. (2006). Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. *International Journal of Food and Technology*, 41, 674-680. Disponible en: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2005.01134.x>. Acceso: junio 2022.
- Tirado, D. F., Acevedo Correa, D., & Guzmán Enrique, L. (2012). Freído por inmersión de los alimentos. *Revista ReCiTeLA*, 12(1), 72-82. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/258519821\\_Freido\\_por\\_inmersion\\_de\\_los\\_alimentos](https://www.researchgate.net/publication/258519821_Freido_por_inmersion_de_los_alimentos). Acceso: mayo 2022.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90106-S](https://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90106-S). Acceso: marzo 2022.
- Universidad Nacional de Luján (2010). *Tablas de composición química de Alimentos*. Argenfood. Actualizada al 10 de enero 2011. Disponible en: <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/Tablas/Grupo/Vegetales.pdf>. Acceso: octubre 2021.
- Urdampilleta-Otegui, A., Martínez-Sanz, J., & Gonzalez-Muniesa, P. (2010). Intervención dietético-nutricional en la prevención de la deficiencia de hierro. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 30(3), 27-41. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/230662572\\_Intervencion\\_dietetico-nutricional\\_en\\_la\\_prevenccion\\_de\\_la\\_deficiencia\\_de\\_hierro](https://www.researchgate.net/publication/230662572_Intervencion_dietetico-nutricional_en_la_prevenccion_de_la_deficiencia_de_hierro). Acceso: marzo 2022.
- Valle-Guadarrama, S., López-Rivera, O., Reyes-Vigil, M., Castillo-Merino, J. & Santos-Moreno, A. (2008). Recubrimiento comestible basado en goma arábiga y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósfera modificada. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3), 235-241. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/609/60914301.pdf>. Acceso: marzo 2022.
- Van den Berg, L. (1981). *The role of humidity, temperature and atmospheric composition in maintaining vegetables quality during storage*. En R. Teranishi, & H. Barrera Benitez, Quality of Selected Fruits and Vegetables of North America. Vol. 170 (pp. 95-107). DOI: [10.1021/bk-1981-0170.ch008](https://doi.org/10.1021/bk-1981-0170.ch008).
- Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. (2004). An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. *Biosystems Engineering*, 88(1), 1-18. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007).
- Velasco-González, O., Echavarría-Almeida, S., Sifuentes-Díaz de León, A., & Casas-Valdez, M. (2013). Uso del alga marina *Sargassum* spp. adicionada a la harina de trigo para preparar galletas alimenticias para consumo humano. *Bioagro*, 25(3), 189-194. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300006&lng=es&tlng=es). Acceso: mayo 2023.
- Villacrés-Poveda, E., Zurita-Sorrososa, G., Samaniego-Maigua, I., & Angós-Iturgaiz, J. (2020). Evaluación del contenido de acrilamida en chips de papa (*Solanum tuberosum* L.) elaborados por fritura convencional y al vacío. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 24(1), 34-49. DOI: [10.37066/ralap.v24i1.388](https://doi.org/10.37066/ralap.v24i1.388).

- Vitrac, O., Dufour, D., Trystram, G., & Raoult-Wack, A. L. (2002). Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 161-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00153-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00153-4).
- Wais, N. (2011). Secado combinado de frutas: deshidratación osmótica y microondas (Tesis Doctoral, Universidad de La Plata). DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/38494>.
- World Health Organization. (2015). *WHO. The global prevalence of anaemia in 2011*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/177094/9789241564960\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/177094/9789241564960_eng.pdf). Acceso: abril 2022.
- World Health Organization. (2017). *Nutritional anaemias: tools for effective prevention and control*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259425/9789241513067-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso: abril 2022.
- World Health Organization. (2018). *Alimentación sana*. Organización mundial de la salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> Acceso: noviembre 2021.
- Xie, D., Guo, D., Guo, Z., Hu, X., Luo, S. & Liu, C. (2021). Reduction of oil uptake of fried food by coatings: a review. *International Journal of Food Science and Technologie*. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15266>.
- Yiannikourides, A., & Latunde-Dada, G. O. (2019). A Short Review of Iron Metabolism and Pathophysiology or Iron Disorders. *Medicines* 6(3), 85. DOI: [10.3390/medicines6030085](https://doi.org/10.3390/medicines6030085).
- Yu, L., Li, J., Ding, S., Hang, F., & Fan, L. (2016). Effect of guar gum with glycerol coating on the properties and oil absorption of fried potato chips. *Food Hydrocolloids*, 54, 211–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.003>.
- Yuksel, F., Karaman, S., Gurbuz, M., Hayta, M., Yalcin, H., Dogan, M., & Kayacier, A. (2017). Production of deep-fried corn chips using stale bread powder: Effect of frying time, temperature and concentration. *LWT-Food Science and Technology*, 83, 235-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.076>.
- Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>.
- Ziaifar, A. M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. (2008). Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International journal of food science and technology*, 43 (8), 1410-1423. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01664.x>.

## 10. PUBLICACIONES Y PRESENTACIONES A LAS QUE DIO LUGAR LA TESIS

Como parte de la investigación presentada, se participó en octubre del año 2019 en INNOVA, en el 9° Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos (LATU, Montevideo, Uruguay, 2 al 4 de octubre de 2019) con la presentación de un póster:

“Remolachas fortificadas con Fe con bajo contenido de lípidos para consumir como snack” (Vera Caspary, Jenny; Della Rocca, Patricia A.; Argumedo Moix, Maximiliano J.; Zerpa, Vanesa E).

Por otro lado, se publicó en el mes de octubre de 2022 en la revista *Proyecciones*, vol. 20 (2) un artículo con resultados parciales:

Caspary, J. V., Denoya, G. I., & Della Rocca, P. (2022). *Snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro*. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12272/7133>.

*“Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificado con hierro”*

## 11. ANEXOS

### 11.1. CURVAS DE HUMEDAD

#### DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

CURVAS DE HUMEDAD EN PROCESO DE DO								
Tiempo (h)	Humedad (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Duplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Triplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Promedio (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	Humedad base seca (Hbs) (g H <sub>2</sub> O / g sólido seco)	Desviación estándar	Nivel de significación	Intervalo de Confianza
0	92,0568	91,0567	93,0740	92,06	11,59	1,00867	0,05	2,50568
0,5	88,3456	86,8760	90,0737	88,43	7,64	1,60060	0,05	3,97612
1	85,3456	85,8970	86,3143	85,85	6,07	0,48590	0,05	1,20705
2	82,2560	80,9876	83,7953	82,35	4,66	1,40601	0,05	3,49272
3	78,9560	79,4560	81,2306	79,88	3,97	1,19532	0,05	2,96935
4	73,5640	73,8796	75,0088	74,15	2,87	0,75960	0,05	1,88696
5	68,5467	67,8944	69,6044	68,68	2,19	0,86301	0,05	2,14383
6	66,5324	65,5780	68,4101	66,84	2,02	1,44089	0,05	3,57938

## FRITURA

### CURVA DE HUMEDAD EN PROCESO DE FRITURA

Tiempo (min.)	Humedad (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Duplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Triplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Promedio (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	Humedad base seca (Hbs) (g H <sub>2</sub> O / g sólido seco)	Desviación estándar	Nivel de significación	Intervalo de Confianza
0	81,5840	81,7856	80,3460	81,24	4,3298	0,77298	0,05	1,92021
0,5	80,4557	81,1562	81,9956	81,20	4,3198	0,75298	0,05	1,87051
1	74,6856	75,8546	75,8888	75,47	3,0771	0,83182	0,05	2,06635
2	63,1809	63,8971	64,8007	63,96	1,7747	0,78039	0,05	1,93860
3	54,7475	54,0524	53,0294	53,94	1,1712	0,79927	0,05	1,98550

## SECADO COMBINADO

### CURVA DE HUMEDAD EN PROCESO DE SECADO COMBINADO

Tiempo (min.)	Humedad (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Duplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Triplicado (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	H. Promedio (g H <sub>2</sub> O / g sólido húmedo)	Humedad base seca (Hbs) (g H <sub>2</sub> O / g sólido seco)	Desviación estándar	Nivel de significación	Intervalo de Confianza
0	52,9588	51,8522	56,1205	53,64	1,157	2,217	0,05	5,5074
1	50,1775	53,5525	52,4509	52,06	1,0858	1,7239	0,05	4,2826
2	46,1543	48,1657	47,0502	47,12	0,8911	1,0068	0,05	2,5011
3	43,9087	42,1513	45,1711	43,74	0,7775	1,5163	0,05	3,7668
4	36,1205	36,8395	35,2403	36,06	0,564	0,7965	0,05	1,9786
5	27,5562	28,7938	27,6904	28,01	0,3891	0,6791	0,05	1,687
6	20,8051	21,3049	18,8605	20,32	0,255	1,2889	0,05	3,2017

## 11.2. DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS POR SOXHLET

M	FECHA	Condición	Vidrio Reloj (VR)	Masa m + VR	Masa (g)
V1	14-dic	sin DO, CMC 0,01% Aspersion, 3'F 180°C	42,5584	49,235	6,6766
V2	14-dic	sin DO, CMC 0,01% Aspersion, 3'F 180°C	42,5589	47,3455	4,7866
V3	14-dic	sin DO, CMC 0,01% Aspersion, 3'F 180°C	42,5591	50,723	8,1639
IV1	16-dic	sin DO, sin CMC, 3'F 180°C	39,3756	45,5061	6,1305
IV2	16-dic	sin DO, sin CMC, 3'F 180°C	39,3762	46,4775	7,1013
IV3	14-dic	sin DO, sin CMC, 3'F 180°C	39,3768	45,477	6,1002
III1,1	16-dic	DO 30', sin CMC, 3'F 180°C	39,3768	48,5208	9,144
III1,2	16-dic	DO 30', sin CMC, 3'F 180°C	39,3772	48,6774	9,3002
III1,3	20-dic	DO 30', sin CMC, 3'F 180°C	39,3763	49,1636	9,7873
VI1	20-dic	sin DO, CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C	39,3767	45,1918	5,8151
VI2	20-dic	sin DO, CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C	39,3771	46,0088	6,6317
VI3	20-dic	sin DO, CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C	39,3773	44,4687	5,0914
X1	23-dic	DO 30', CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C	39,3757	47,9768	8,6011
X2	23-dic	DO 30', CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C	39,3764	48,0157	8,6393
X3	22-dic	DO 30', CMC 0,25% Inmersión, 3'F 180°C			8,8794
XIIA1	23-dic	sin DO, CMC 0,5% Inmersión, 3'F 180°C	39,3776	46,2212	6,8436
XIIA2	23-dic	sin DO, CMC 0,5% Inmersión, 3'F 180°C	39,3775	47,8943	8,5168
XIIA3	23-dic	sin DO, CMC 0,5% Inmersión, 3'F 180°C	39,3757	47,0577	7,682
XIA	22-dic	DO 30', CMC 0,5% inmersión, 3'F 180°C			10,2909
XIB	26-abr	DO 30', CMC 0,5% inmersión, 3'F 180°C			
XIIIA	2-mar	DO 30', CMC y Gli 0,5% inmersión, 3'F 180°C			10,829
XIIIB	2-mar	sin DO, CMC y Gli 0,5% inmersión, 3'F 180°C			10,5636

M	Cristalizador (C)	Masa m + C	Grasas totales (g)	Grasas totales (%)	PROMEDIO (%)	Desviación estándar	Intervalo de Confianza	
V1	64,536	66,2877	1,7517	26,24				
V2	79,677	80,7307	1,0537	22,01	<b>26,50</b>	<b>4,61</b>	<b>11,46</b>	
V3	88,2762	90,8263	2,5501	31,24				
IV1	105,142	107,0402	1,8979	30,96				
IV2	64,5349	66,5706	2,0357	28,67	<b>29,81</b>	<b>1,14</b>	<b>2,84</b>	
IV3	105,185	107,0035	1,8185	29,81				
III1,1	79,6602	81,7773	2,1171	23,15				
III1,2	88,2205	90,061	1,8405	19,79	<b>21,59</b>	<b>1,69</b>	<b>4,21</b>	
III1,3	105,138	107,2749	2,1374	21,84				
VI1	64,5349	66,1154	1,5805	27,18				
VI2	79,6635	81,6175	2,054	29,46	<b>28,58</b>	<b>1,23</b>	<b>3,04</b>	
VI3	88,2162	89,6976	1,4814	29,10				
X1	88,2201	90,5236	2,3035	26,78				
X2	64,5361	67,0091	2,573	28,63	<b>27,03</b>	<b>1,49</b>	<b>3,69</b>	
X3				25,68				(por lab. UBA) *
XIIA1	79,6584	81,6091	2,0307	28,50				
XIIA2	105,141	107,4325	2,2918	26,91	<b>27,36</b>	<b>0,99</b>	<b>2,47</b>	
XIIA3	88,216	90,265	2,049	26,67				
XIA				13,85	<b>13,4</b>	<b>0,63</b>	<b>1,58</b>	(por lab. UBA) *
XIB				12,95				(por lab. RAPELA)
XIIIA				21,64	<b>21,64</b>	<b>0,62</b>	<b>1,54</b>	(por lab. UBA) *
XIIIB				24,90	<b>24,90</b>	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>	(por lab. UBA) *

\* Método AOAC 954.02 (ataque ácido) utilizando como solventes de extracción éter etílico y éter de petróleo 35-60 °.



### 11.3. TEXTURA POR TEXTURÓMETRO TA-XT CON CELDA KRAMER

Test ID	Batch		Max. Shear Force (kg) Force 1	Dureza (N)	Work of Shear (kg.sec) Area F-T 1:2	Cohesividad	Peso (g)	Fuerza / P
<i>Start Batch SC Secado por Convección</i>								
Muestra 1	SC		12,96	127,1376	54,7	0,01828	0,78	16,61538
Muestra 2	SC		35,15	344,8215	145,07	0,00689	1,04	33,79808
Muestra 3	SC		17,79	174,5199	84,5	0,01183	1,21	14,70248
Muestra 4	SC		18,89	185,3109	86,98	0,01150	1,1	17,17273
Muestra 5	SC		23,35	229,0635	116,22	0,00860	1,09	21,42202
Muestra 6	SC		10,2	100,062	42,38	0,02360	0,75	13,60000
Muestra 7	SC		25,8	253,098	92,01	0,01087	0,91	28,35165
<b>Average:</b>	<b>SC (F)</b>	<b>AVERAGE("BATCH")</b>	<b>20,59</b>	<b>201,9879</b>	<b>88,84</b>	<b>0,01308</b>	<b>0,98</b>	<b>20,80890</b>
<i>S.D.</i>	SC (F)	<i>STDEVP("BATCH")</i>	7,78		32,22			7,59442
<i>C.V.</i>	SC (F)	<i>STDEVP/AVERAGE*100</i>	37,78		36,27			

<i>Start B. SCR Secado por Convección Repetición</i>								
Muestra 1	SCR		22,78	223,4718	102,12	0,00979	1,14	19,98246
Muestra 2	SCR		28,16	276,2496	107,22	0,00933	1,23	22,89431
Muestra 3	SCR		18,48	181,2888	63,28	0,01580	1,07	17,27103
Muestra 4	SCR		24,15	236,9115	108,83	0,00919	1,55	15,58065
Muestra 5	SCR		13,46	132,0426	61,21	0,01634	0,89	15,12360
Muestra 6	SCR		22,82	223,8642	77,13	0,01297	1,54	14,81818
Muestra 7	SCR		22,93	224,9433	91,57	0,01092	1,12	20,47321
Muestra 8	SCR		9,08	89,0748	28,44	0,03516	0,74	12,27027
<b>Average:</b>	<b>SCR (F)</b>	<b>AVERAGE("BATCH")</b>	<b>20,23</b>	<b>198,4563</b>	<b>79,98</b>	<b>0,01494</b>	<b>1,16</b>	<b>17,30171</b>
<i>S.D.</i>	SCR (F)	<i>STDEVP("BATCH")</i>	5,83		26,21			3,31120
<i>C.V.</i>	SCR (F)	<i>STDEVP/AVERAGE*100</i>	28,81		32,77			

Test ID	Batch		Max. Shear Force (kg) Force 1	Dureza (N)	Work of Shear (kg.sec) Area F-T 1:2	Cohesividad	Peso (g)	Fuerza / P
<b>Start B. MC Secado combinado (Microondas y Convección)</b>								
Muestra 1	MC		28,97	284,1957	133,31	0,00750	1,51	19,18543
Muestra 2	MC		13,67	134,1027	49,81	0,02008	0,84	16,27381
Muestra 3	MC		38	372,78	163,15	0,00613	1,42	26,76056
Muestra 4	MC		21,4	209,934	91,18	0,01097	0,88	24,31818
Muestra 5	MC		16,34	160,2954	55,64	0,01797	0,75	21,78667
Muestra 6	MC		17,02	166,9662	66,26	0,01509	0,86	19,79070
Muestra 7	MC		37,45	367,3845	172,42	0,00580	1,51	24,80132
<b>Average:</b>	<b>MC (F)</b>	<b>AVERAGE("BATCH")</b>	<b>24,69</b>	<b>242,2089</b>	<b>104,54</b>	<b>0,01193</b>	<b>1,11</b>	<b>21,84524</b>
<i>S.D.</i>	MC (F)	<i>STDEVP("BATCH")</i>	9,41		47,66			3,40911
<i>C.V.</i>	MC (F)	<i>STDEVP/AVERAGE*100</i>	38,1		45,59			

<b>Start B. MCR Secado combinado (Microondas y Convección) Repetición</b>								
Muestra 1	MCR		14,64	143,6184	47,94	0,02086	0,9	16,26667
Muestra 2	MCR		15,28	149,8968	54,1	0,01848	0,87	17,56322
Muestra 3	MCR		27,22	267,0282	130,74	0,00765	1,64	16,59756
Muestra 4	MCR		13,53	132,7293	52,34	0,01911	1,04	13,00962
Muestra 5	MCR		19,9	195,219	85,98	0,01163	0,76	26,18421
Muestra 6	MCR		31,14	305,4834	139,41	0,00717	1,18	26,38983
Muestra 7	MCR		29,53	289,6893	143,78	0,00696	1,23	24,00813
Muestra 8	MCR		32,07	314,6067	104,27	0,00959	1,03	31,13592
<b>Average:</b>	<b>MCR (F)</b>	<b>AVERAGE("BATCH")</b>	<b>22,91</b>	<b>224,78389</b>	<b>94,82</b>	<b>0,01268</b>	<b>1,08</b>	<b>21,39439</b>
<i>S.D.</i>	MCR (F)	<i>STDEVP("BATCH")</i>	7,4		37,92			5,95726
<i>C.V.</i>	MCR (F)	<i>STDEVP/AVERAGE*100</i>	32,27		39,99			

## 11.4. CALCULADORA DE SELLOS DE PRODUCTOS NSBR, RBC Y NUESTRA FORMULACIÓN

La Calculadora del Sistema de Sellos y Advertencias Nutricionales permite el cálculo oficial del perfil de nutrientes críticos y presenta los sellos de advertencias y leyendas precautorias que deben consignar los productos alimenticios alcanzados por la Ley N° 2764 y el Decreto 151/2022.

### Producto NSRB:

Análisis Perfil de Nutrientes			
Nutrientes Críticos	Cálculo	Primera Etapa	
		Primera etapa del cronograma establecido por el artículo 19° de la reglamentación	
% Energía Azúcares Añadidos	0,0	<20	N/A
% Energía Grasas Totales	74,5	>=35	EXCESO
% Energía Grasas Saturadas	7,8	<12	N/A
Sodio mg/kcal	2,7	<5	EXCESO
Sodio mg/100g	1060	>=600	
Calorías	386,7	>=300	EXCESO
Edulcorante	-	-	N/A
Cafeína	-	-	N/A

**Producto RBC:**

Análisis Perfil de Nutrientes			
Nutrientes Críticos	Cálculo	Primera Etapa	
		Primera etapa del cronograma establecido por el artículo 19º de la reglamentación	
% Energía Azúcares Añadidos	0,0	<20	N/A
% Energía Grasas Totales	16,9	<35	N/A
% Energía Grasas Saturadas	5,6	<12	N/A
Sodio mg/kcal	2	<5	EXCESO
Sodio mg/100g	800	>=600	
Calorías	400	>=300	N/A
Edulcorante	-	-	N/A
Cafeína	-	-	N/A

## Formulación de snack de remolacha (SR):

### Análisis Perfil de Nutrientes

Nutrientes Críticos	Cálculo	Primera Etapa	
		Primera etapa del cronograma establecido por el artículo 19º de la reglamentación	
% Energía Azúcares Añadidos	0,4	<20	N/A
% Energía Grasas Totales	27,0	<35	N/A
% Energía Grasas Saturadas	2,7	<12	N/A
Sodio mg/kcal	1,1	<5	N/A
Sodio mg/100g	440	<600	
Calorías	400	>=300	N/A
Edulcorante	-	-	N/A
Cafeína	-	-	N/A