UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Trabajo de Tesis Doctoral:

Aprovechamiento del tubérculo Helianthus tuberosus L., topinambur, para la obtención de galletitas ricas en fibra y antioxidantes potencialmente aptas para personas con diabetes.

Tesista: Ing. Maria Magdalena Costanzo

Directora: Dra. Nora Alejandra Comelli

Codirectora: Dra. Paula Andrea Conforti

Año: 2026

Agradecimientos

Al equipo de dirección y al grupo de investigación, por el trabajo, compromiso y voluntad durante todo el proceso.

A mis padres, quienes son mis pilares y siempre me bridaron las herramientas para poder crecer en todos los aspectos de mi vida.

A mis hermanos, amigos y familiares, por hacer que esta etapa haya sido más llevadera y por su apoyo constante.

A mi esposo, Emmanuel, por creer en mí en todo momento, por ser mi compañero incondicional y motivarme a ser mi mejor versión.

Resumen

El *Helianthus tuberosus L.* (topinambur) es un tubérculo rico en inulina, antioxidantes y fibra dietaria, componentes que lo posicionan como un ingrediente atractivo para la formulación de alimentos funcionales. Esta investigación se centró en el desarrollo de galletitas funcionales con contenido de harina de topinambur, enfocadas en personas con diabetes tipo 2, así como la población en general.

Objetivos:

Diseñar y formular galletitas potencialmente aptas para personas con diabetes utilizando harina de topinambur, entre otros ingredientes, y evaluar sus propiedades nutricionales, funcionales, sensoriales y conservación.

Metodología:

Se cultivaron y procesaron tubérculos frescos para producir harina de topinambur, caracterizada por su alto contenido de inulina. Posteriormente, se desarrollaron galletitas funcionales. Para tal fin se ajustaron las proporciones de mezclas de harinas: de topinambur, de trigo integral y de amaranto, mediante un diseño experimental. Durante el desarrollo de la formulación se evaluaron aspectos físicos como propiedades texturales, de color, humedad, entre otras. Se determinó la composición proximal de la formulación de mayor aceptabilidad sensorial, y se estudió su conservación.

Resultados:

- El incremento en el porcentaje de humedad de las masas mejoró significativamente sus propiedades texturales.
- Las pruebas térmicas confirmaron que la inulina proveniente de la harina de topinambur no se degrada significativamente a temperaturas de 150°C, permitiendo su conservación en productos horneados a esta temperatura.

- Las galletitas formuladas con harina de topinambur mostraron un perfil nutricional interesante, con alto contenido de fibra dietaria (18,88 g/100 g base seca), proteínas (10,71 g/100 g) y compuestos fenólicos (237,30 mg GAE/100 g).

- La formulación seleccionada mostró bajo porcentaje de liberación de sacáridos mediante el ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro*, comparado con estándar de miga de pan blanco, lo que confirma su potencial adecuación a personas con diabetes.

- El polietileno de baja densidad resultó un envase adecuado para la conservación del alimento, en comparación con polipropileno.

Conclusiones:

Las galletitas formuladas con harina de topinambur son una alternativa innovadora para personas con restricciones dietéticas, ofreciendo beneficios para la salud relacionados al consumo de fibra. Este desarrollo combina salud y buena aceptabilidad sensorial, fomentando el consumo de alimentos funcionales y de bajo grado de liberación de sacáridos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL 6
HIPÓTESIS 6
OBJETIVOS 7
OBJETIVO GENERAL 7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 7
REFERENCIAS 8

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS Y USOS DEL TUBÉRCULO *HELIANTHUS TUBEROSUS L.* PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE TOPINAMBUR 9
1. INTRODUCCIÓN 9
1.1 *HELIANTHUS TUBEROSUS L.* CARÁCTERÍSTICAS 9
1.2 USOS DE *HELIANTHUS TUBEROSUS L.* 10
1.2.1 COMPUESTOS BIOACTIVOS 10
1.2.2 BIOCOMBUSTIBLES 11
1.2.3 TOPINAMBUR COMO ALIMENTO FUNCIONAL 12
1.3 COMPORTAMIENTO PREBIÓTICO 13
1.4 DIABETES COMO PROBLEMÁTICA A NIVEL GLOBAL Y NACIONAL 15
1.5 CARACTERÍSTICAS DEL TUBÉRCULO COMO ALIMENTO 16
1.6 PRINCIPALES COMPONENTES DEL TUBÉRCULO 18
2. OBJETIVOS 18
2.1 OBJETIVO GENERAL 18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19
3. MATERIALES Y MÉTODOS 19
3.1 PREPARACIÓN DE LA HARINA DE TOPINAMBUR 19
3.1.1 SIEMBRA Y COSECHA 19
3.1.2 PROCESAMIENTO POST COSECHA 21
3.1.3 LAVADO Y SECADO 21
3.1.4 MOLIENDA Y TAMIZADO 22
3.2 CARACTERIZACIONES 23
3.2.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN PROXIMAL 23
3.2.2 HARINA DE TOPINAMBUR DE PIEL BLANCA (HTPB) 25

3.2.3 DETERMINACIONES FÍSICAS DE HTPB 32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
4.1 RENDIMIENTO DE HARINA Y ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN PROXIMAL 34
4.2 DETERMINACIONES FÍSICAS HTPB 37
5. CONCLUSIONES 43
6. REFERENCIAS 45

CAPÍTULO 2: FORMULACIÓN DE GALLETITAS SALUDABLES A PARTIR DE HARINA DE TOPINAMBUR (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*). 54
1. INTRODUCCIÓN 54
1.1 ALIMENTOS FUNCIONALES 54
1.2 GALLETITAS COMO ALIMENTOS FUNCIONALES 57
1.2.1 INGREDIENTES DE GALLETAS 59
1.2.2 HARINA DE AMARANTO 62
1.3 FORMULACIÓN 63
1.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y SUPERFICIES DE RESPUESTA 64
1.4 PARÁMETROS TEXTURALES 70
1.4.1 ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (APT) 71
1.4.2 TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS 72
2. OBJETIVOS 73
2.1 OBJETIVO GENERAL 73
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 73
3. MATERIALES Y MÉTODOS 74
3.1 INGREDIENTES 75
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL 76
3.3 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE GALLETITAS 77
3.4 DETERMINACIÓN DE TEXTURA 79
3.4.1 EN MASAS (APT) 79
3.4.2 EN GALLETITAS (TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS) 80
3.5 OTRAS DETERMINACIONES 82
3.6 ANÁLISIS DE DATOS 83
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 83
4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL 83
4.1.1 EXPERIMENTOS 83
4.1.2 SUPERFICIES DE RESPUESTA Y CONTORNO 85

4.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL MODELO 96
4.1.4 VALIDACIÓN DEL MODELO 97
4.2 EVALUACIÓN Y CAMBIO EN LA FORMULACIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE LAS MASAS ELABORADAS 98
4.2.1 DETERMINACIÓN DE WHC 99
4.2.2 HORNEADO 100
4.3 COMPARACIONES TEXTURALES 101
4.3.1 COMPARACIÓN DE LAS MASAS (APT) 101
4.3.2 TEXTURA DE GALLETITAS 104
4.4 OTRAS DETERMINACIONES 106
5. CONCLUSIONES 112
6. REFERENCIAS 115

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS SENSORIAL. COMPOSICIÓN Y ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE ALMIDÓN DE LA FORMULACIÓN MEJOR PUNTUADA 126
1. INTRODUCCIÓN 126
1.1 ANÁLISIS SENSORIAL DE ALIMENTOS 126
1.2 ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO* 128
2. OBJETIVOS 129
2.1 OBJETIVO GENERAL 129
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 129
3. MATERIALES Y MÉTODOS 130
3.1 ANÁLISIS SENSORIAL 130
3.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y NUTRICIONAL DE LA FORMULACIÓN SELECCIONADA 131
3.2.1 FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE 131
3.3 DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO* 134
3.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ADITIVOS E INGREDIENTES 135
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS 135
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 136
4.1 ANÁLISIS SENSORIAL 136
4.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y NUTRICIONAL DE LA FORMULACIÓN B 139
4.3 DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO* 143
4.3.1 DIGESTIBILIDAD DE LA MUESTRA MEJOR PUNTUADA 143

4.3.2 DIGESTIBILIDAD DE UNA MUESTRA CON MENOR CONTENIDO DE HTPB 145
4.4 INFLUENCIA DE ADITIVOS E INGREDIENTES SOBRE LA FORMULACIÓN SELECCIONADA 148
4.4.1 INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES 148
4.4.2 INFLUENCIA EN COLOR 154
4.4.3 OTRAS DETERMINACIONES 160
4.4.4 INFORMACIÓN NUTRICIONAL 162
5. CONCLUSIONES 168
6. REFERENCIAS 171

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE CONSERVACIÓN 178
1. INTRODUCCIÓN 178
1.1 DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL EN GALLETAS 178
1.2 INGREDIENTES Y SU INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN 180
1.3 ANTECEDENTES 182
1.4 ENVASADO 183
2. OBJETIVOS 186
2.1 OBJETIVO GENERAL 186
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 186
3. MATERIALES Y MÉTODOS 187
3.1 PROPIEDADES DE LOS ENVASES Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO 187
3.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y DE COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS 189
3.3 ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO* 191
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 191
4.1 PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS 192
4.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, ACTIVIDAD ACUOSA, COLOR, TEXTURA Y pH 192
4.3 DETERMINACIÓN DE INULINA, FENOLES TOTALES E ÍNDICE DE PERÓXIDOS 203
4.4 ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE ALMIDÓN 210
5. CONCLUSIONES 214
6. REFERENCIAS 218

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES GENERALES 225

ANEXOS 232
ANEXO A 232
ANEXO B 233
B.1 DATOS DE SUPERFICIES DE RESPUESTA Y CONTORNO 233
B.2 DIAGRAMAS DE TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS EN GALLETAS COMERCIALES Y FORMULACIONES OPTIMIZADAS. 8 Y 10 MINUTOS DE COCCIÓN. 236
B.2.1 MARCA COMERCIAL 236
B.2.2 MUESTRAS DE 8 MINUTOS DE HORNEADO A 150°C 237
B.2.3 MUESTRAS DE 10 MINUTOS DE HORNEADO A 150°C 239
ANEXO C 241
C.1 PLANILLA DE EVALUACIÓN SENSORIAL 241
C.2 PUNTUACIONES DE ANÁLISIS SENSORIAL 242
COLOR 242
AROMA 243
TEXTURA 244
SABOR 245
ACEPTABILIDAD GENERAL 246
ANEXO D 247
ANEXO E 248
E.1 PRESENTACIONES EN CONGRESOS 248
E.2 PUBLICACIONES EN REVISTAS 250

INTRODUCCIÓN GENERAL

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda presenta 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad (Cepal, 2019). El ODS 3 de Salud y Bienestar, en su ítem 3.4, plantea la prevención de Enfermedades No Transmisibles (ENT), como lo es la diabetes mellitus o tipo 2. Esta condición crónica se origina por la incapacidad del organismo de utilizar la insulina de manera eficaz y tiene una fuerte prevalencia sobre la población adulta. Actualmente se estima que, en Argentina, un 14% de adultos padecen de diabetes y que esta cifra puede seguir incrementando (Federación Internacional de Diabetes, 2024).

Estudios previos han demostrado que tanto el estilo de vida como la alimentación son factores clave en la prevención de diabetes mellitus (Karatzi y Manios, 2021). En este contexto surge la importancia de los alimentos funcionales cuyo consumo tiene el potencial de proveer beneficios a la salud (Siddiqui y col., 2024) y, de esta manera, mejorar la calidad de vida de los consumidores.

El tubérculo de topinambur representa una alternativa interesante para formular alimentos funcionales debido a su aporte de inulina, una fibra con propiedades prebióticas, y antioxidantes. Estudios previos indican que es adecuada la incorporación de topinambur en productos alimenticios destinados a personas con diabetes (Diez y col., 2025).

HIPÓTESIS

- La harina de topinambur presenta un perfil nutricional favorable para formular alimentos funcionales.
- Es posible elaborar galletas con contenido de harina de topinambur de buena aceptabilidad sensorial y baja digestibilidad de almidón *in vitro* de manera que puedan ser potencialmente aptas para personas con diabetes.
- Las galletas con contenido de topinambur pueden almacenarse por varias semanas sin sufrir deterioro en sus propiedades fisicoquímicas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y formular galletitas potencialmente aptas para personas con diabetes utilizando harina de topinambur, entre otros ingredientes, y evaluar sus propiedades nutricionales, funcionales, sensoriales y conservación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el potencial de la harina de *Helianthus tuberosus L.* como alimento funcional mediante su elaboración a partir del tubérculo de topinambur, su análisis nutricional y sus propiedades físicas.
2. Formular galletas saludables, utilizando un diseño de mezclas de harinas de topinambur, trigo integral y amaranto.
3. Seleccionar la formulación de mejor aceptabilidad sensorial y analizar sus propiedades nutricionales, fisicoquímicas y de digestibilidad de almidón *in vitro* para evaluar su potencial adecuación a personas con diabetes. Determinar los efectos de aditivos e ingredientes sobre la formulación seleccionada.
4. Analizar el efecto del almacenamiento sobre la composición, propiedades fisicoquímicas y digestibilidad de almidón *in vitro* de la galleta seleccionada en el panel sensorial, comparando dos materiales propuestos para el envasado.

REFERENCIAS

Cepal, N. U. (2019). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales.

Diez, S., Tarifa, M. C., Salvatori, D. M., & Franceschinis, L. (2025, February). Functional ingredients based on Jerusalem artichoke: technological properties, antioxidant activity, and prebiotic capacity. In *Biology and Life Sciences Forum* (Vol. 40, No. 1, p. 24). MDPI.

Federación Internacional de Diabetes (2024). Argentina. Federación Internacional de Diabetes. Recuperado el día 21 de abril de 2026 de https://idf.org/es/our-network/regions-and-members/south-and-central-america/members/argentina/

Iizuka, K., & Yabe, D. (2023). Dietary and nutritional guidelines for people with diabetes. *Nutrients*, *15*(20), 4314.

Siddiqui, S., Maheshwari, B., Pant, P., & Srivastava, A. (2024). Phytochemicals In Functional Foods: Fortifying Nutritional Value And Health Benefits. *Reviews in Food and Agriculture (RFNA)*, *5*(2), 112-121.

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS Y USOS DEL TUBÉRCULO *HELIANTHUS TUBEROSUS L.* PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE TOPINAMBUR.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *HELIANTHUS TUBEROSUS L.* CARÁCTERÍSTICAS

El tubérculo conocido como *Helianthus tuberosus L.*, denominado comúnmente como topinambur, alcachofa de Jerusalén o papa chanchera, es una planta perenne perteneciente a la familia Asteraceae con tallo recto, hojas anchas de bordes dentados y flores de color amarillo (Fig. 1.1). Sus tubérculos son alargados, poseen una piel muy fina y gran rugosidad; su forma es irregular debido a que sus estolones se presentan en forma de protuberancias. El tamaño y forma del tubérculo son considerados factores de calidad del mismo, aunque esta especie es altamente polimórfica (Rossini y col., 2019). Su color puede variar según la variedad de la que se trate, las tonalidades más típicas son marrón claro, blanco, rojo o violáceo (Fig. 1.2).



Fig. 1.1. Parte aérea de topinambur con sus flores amarillas.



Fig. 1.2. Tubérculos de topinambur piel blanca (izquierda) y de piel rosa (derecha).

Esta especie es nativa del este de los Estados Unidos. Se cree que las tribus norteamericanas cultivaban el tubérculo de topinambur previamente a la llegada de los europeos. Los nativos americanos llamaban a las plantas “raíces solares”, ya que producen flores de color amarillo brillante. Este tubérculo se introdujo en Europa en

1612 y se usó como cultivo básico, principalmente en los Países Bajos, Francia y la región mediterránea (Tungland, 2018).

El cultivo de topinambur posee gran adaptabilidad ecológica. Presenta una elevada resistencia y eficiencia fotosintética y, a su vez, una baja demanda de fertilizantes. Además, posee buena tolerancia a los suelos salino-alcalinos y fuerte capacidad de reproducción (Shao y col., 2019).

Este cultivo previene la erosión eólica del suelo, la migración de cenizas y sal a través de la creación de barreras y logra reforzar los niveles de la erosión y reducir el drenaje de aguas residuales (Starovoytov y col., 2017).

Este tubérculo se encuentra identificado por el Código Alimentario Argentino (CAA) (Código Alimentario Argentino, 2025), en el artículo 839, capítulo XI ALIMENTOS VEGETALES:

"Art. 839.- Con el nombre de topinambur, tupinambó, cotufa, papa árabe o pataca, se entiende los tubérculos del *Helianthus tuberosus L.*"

1.2 USOS DE *HELIANTHUS TUBEROSUS L.*

La alcachofa de Jerusalén (o topinambur) es una potencial fuente de biomasa para el desarrollo bioeconómico. Este cultivo posee numerosas ventajas sobre otros como son bajo requerimiento de insumos, alto rendimiento de cultivos, amplia adaptación a las condiciones climáticas y del suelo, y fuerte resistencia a plagas y enfermedades. Entre los bioproductos que derivan del topinambur podemos encontrar inulina, fructosa, fungicidas naturales, antioxidantes y bioetanol. Es decir, que el mismo posee aplicaciones en los campos de biocombustubles, alimentos funcionales y fuente de compuestos bioactivos (Yang y col., 2015).

1.2.1 COMPUESTOS BIOACTIVOS

Entre los compuestos bioactivos presentes en los tubérculos de topinambur podemos encontrar principalmente vitaminas, compuestos fenólicos y carotenos. Shariati y col. (2021) reportaron el contenido de vitaminas y compuestos fenólicos en tubérculos frescos de topinambur con concentraciones de: Vitamina E 3,00 mg/kg, Vitamina B1

0,15 mg/kg, Vitamina B2 0,20 mg/kg, Vitamina B3 0,80 mg/kg, Vitamina B4 280,00 mg/kg, Vitamina B5 2,4 mg/kg y Vitamina C 2,54 mg/100 g. Los autores concluyeron que el contenido de Vitaminas B1, B2 y C en topinambur fue tres veces mayor al hallado para zanahoria, papa y remolacha. En cuanto al contenido fenólico, los valores reportados para los compuestos mayoritarios cada 100 g de tubérculo en base seca fueron: ácido protocatéquico (PCA) 0,16 g, ácido gentísico 0,90 g, ácido clorogénico 1,52 g, epicatequina 0,39 g, ácido salicílico 3,89 g y 4-hidroxycumarina 0,19 g. Los autores indicaron que la concentración de compuestos fenólicos se incrementa con el desarrollo de los tubérculos, y también depende de factores como la variedad del tubérculo, pH, contenido de humedad, entre otros. Por otra parte, Wang y col. (2020) reportaron un contenido de carotenoides en tubérculos de topinambur entre 48 y 131 mg cada 100 g de masa seca.

Además, con respecto a las hojas de *Helianthus tuberosus L.*, las mismas han sido utilizadas tradicionalmente en la medicina popular en el tratamiento de fracturas, heridas superficiales e hinchazón (Nizioł-Łukaszewska y col., 2018).

Diversos autores han investigado compuestos bioactivos extraídos de esta planta, por ejemplo compuestos con actividad antitumoral (Shao y col., 2021), lactonas sesquiterpénicas con actividad citotóxica (Yuan y col., 2013), compuestos fenólicos y flavonoides con capacidad antioxidante (Nizioł-Łukaszewska y col., 2018). Además, los extractos acetónicos obtenidos a partir de las hojas de la planta de topinambur mostraron propiedades anti fúngicas (Chen y col., 2019).

1.2.2 BIOCOMBUSTIBLES

Los tubérculos de topinambur son ricos en inulina, que puede hidrolizarse con facilidad y luego convertirse en bioetanol a través de biocatálisis. Se lo puede considerar como un cultivo emergente para la producción de bioetanol. El rendimiento de etanol es elevado, lo que convierte a este tubérculo en una gran materia prima para la obtención de este alcohol (Song y col., 2016). Se ha demostrado que el mismo tiene la capacidad de producir la misma cantidad de carbohidratos fermentables que la remolacha azucarera y más que la papa irlandesa (Yang y col., 2015).

Generalmente, podemos encontrar dos formas de obtener bioetanol a partir de tubérculos*;* mediante hidrólisis y fermentación, separadas o por sacarificación y fermentación simultánea (Yang y col., 2015).

1.2.3 TOPINAMBUR COMO ALIMENTO FUNCIONAL

Un alimento funcional se define como aquel que tiene la capacidad de influir en al menos una función a nivel corporal, más allá de los efectos nutricionales básicos. Esta influencia debe estar dirigida a mejorar el bienestar y salud, o a reducir los riesgos de enfermedad. La comida debe incorporar este alimento funcional en lugar de implementarlo mediante cápsulas o píldoras, y éste debe poder demostrar sus efectos positivos en cantidades que puedan ser consumidas en una dieta (Yang y col., 2015).

Como se mencionó anteriormente, el topinambur posee inulina en gran cantidad, ocupa el segundo lugar como vegetal con mayor proporción de inulina, siendo *Cichorium intybus* L "achicoria" el primero (Gupta y col., 2019). Ambos representan una importante fuente de esta fibra para su extracción y/o como suministro dietario.

La inulina es un biopolímero lineal que posee fórmula general GFn, donde F hace referencia al contenido residual de D-fructosa, G a la D-glucosa terminal y n es el grado de polimerización (GP) (Fig. 1.3). El grado de polimerización de la inulina está comprendido entre 2 y 60, y depende principalmente de la fuente botánica y los métodos de aislamiento o producción. De acuerdo con la longitud de la cadena, la inulina puede clasificarse como de cadena corta, con un GP menor o igual a 10, y de cadena larga, con un GP mayor o igual a 23 (Chen y col., 2024). Las unidades de glucosa presentes en la macromolécula de inulina se encuentran en forma piranosa, y la fructosa en su forma furanosa. Químicamente, los fructanos del tipo inulina consisten en carbohidratos que poseen en forma mayoritaria, o casi exclusiva, enlaces β (2→1) (Chen y col., 2024). A causa de la configuración β del carbono anomérico 2 en los monómeros de fructosa, los fructanos de tipo inulina son capaces de resistir la hidrólisis de enzimas digestivas en el intestino delgado humano, que son específicas para enlaces del tipo α-glicosídicos. Debido a este motivo se ha clasificado a este tipo de oligosacáridos como "no digeribles" (Shoaib y col., 2016).

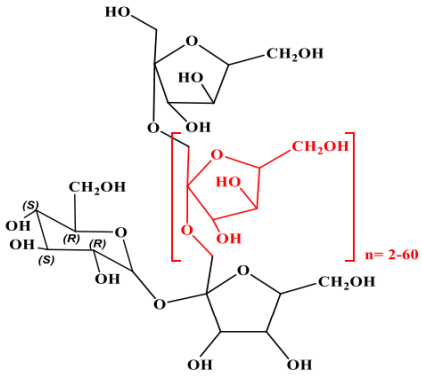


Fig. 1.3. Estructura molecular de inulina (Gupta y col., 2019).

Estas características nos permiten catalogar a la inulina como una fibra dietaria soluble debido a su moderada solubilidad y a su capacidad de formar geles que retienen agua. En general, la inulina de cadena corta posee mayor solubilidad y capacidad de retención de agua, mientras que los polímeros de inulina de cadena larga muestran mayor viscosidad y capacidad de formación de geles a menores concentraciones (Chen y col., 2024). La inulina (Fig. 1.3.) ha sido aprobada para mejorar el aporte nutricional de productos alimenticios (Gupta y col., 2019).

A su vez, el consumo de inulina se encuentra aprobado por el Código Alimentario Argentino, en su artículo 1385 del capítulo XVII ALIMENTOS DE RÉGIMEN O DIETÉTICOS, en el que se categoriza como una fibra alimentaria (Código Alimentario Argentino, 2025):

"Art. 1385.- Se entiende por Fibra Alimentaria a cualquier material comestible que no sea hidrolizado por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano. Incluye polisacáridos no almidón, pectinas, almidón resistente, inulina (…) y todos los que en el futuro incorpore la Autoridad Sanitaria Nacional".

1.3 COMPORTAMIENTO PREBIÓTICO

Este fructano puede clasificarse como fibra fermentable, ya que atraviesa el estómago y duodeno sin prácticamente modificar su estructura y no se hidroliza en el intestino delgado. Al llegar al colon estimula el crecimiento de microbiota intestinal benéfica, como *Akkermansia*, *Eubacterium*, *Faecalibacterium* y *Roseburia*, además de incrementar los niveles de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Yin y col., 2023). Esto contribuye al aumento en las cantidades producidas de ácido butírico en el colon,

favoreciendo así el desarrollo del sistema inmunitario intestinal (Vergara y Gonzalez, 2017). Además, el perfil de concentraciones de dicho ácido graso se utiliza para caracterizar la microflora intestinal (He y col., 2025). Es importante destacar que los ácidos grasos de cadena corta, producto de la metabolización de la inulina, limitan el crecimiento de microorganismos patógenos y facilitan la absorción de minerales en el intestino al disminuir el pH del lumen del tracto gastrointestinal (Alexander y col., 2019).

Al promover el aumento de bacterias benéficas en el colon, el consumo de inulina favorece la disminución de otras especies que pueden ser perjudiciales, como por ejemplo *E. coli* y bacterias *Clostridiums spp*. Debido a este comportamiento, que involucra el incremento de bifidobacterias, los fructanos del tipo inulina tienen efectos bifidogénicos (Hughes y col., 2022). Diversos estudios experimentales han mostrado que el consumo de agentes bifidogénicos estimulan el sistema inmunológico del organismo, son efectivos en la disminución de niveles de urea y ácido úrico en sangre, manteniendo así el balance de nitrógeno. A su vez el consumo de inulina, que favorece la producción de ácidos grasos insaturados, tiene el potencial de disminuir la incidencia de cáncer de colon rectal (Ghali y col., 2024). Este fructano también exhibe excelentes beneficios para la salud en cuanto a la regulación del metabolismo lipídico, la pérdida de peso, la disminución de azúcar en sangre, inhibición de factores inflamatorios, entre otros (Qin y col., 2023). Además, el consumo de carbohidratos de baja digestibilidad como lo es la inulina, puede ser eficaz para reducir el riesgo de diabetes tipo 2, ya que presenta un efecto hipoglucémico (Liu y col., 2019).

A su vez, la inulina también ayuda a mitigar la inflamación del intestino. Gupta y col. (2019) alimentaron ratas con una mezcla de prebióticos con contenido de inulina y encontraron resultados favorables.

Las propiedades anteriormente expuestas sobre la inulina, le confieren al topinambur una gran ventaja a nivel nutricional con respecto a otros tubérculos, que acumulan su energía como almidón, que es un carbohidrato hidrolizable en el sistema digestivo humano.

1.4 DIABETES COMO PROBLEMÁTICA A NIVEL GLOBAL Y NACIONAL

La Organización Mundial de la Salud define la diabetes como: "una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce" (Organización Mundial de la Salud, 2024). El efecto de la diabetes no controlada es la hiperglucemia (aumento del azúcar en la sangre). La diabetes de tipo 1 (denominada diabetes insulinodependiente o juvenil) se caracteriza por la ausencia de síntesis de insulina. La diabetes de tipo 2 (llamada diabetes no insulinodependiente o del adulto) tiene su origen en la incapacidad del cuerpo para utilizar eficazmente la insulina, lo que a menudo es consecuencia del exceso de peso o la inactividad física.

Se observa un fuerte incremento y prevalencia de esta enfermedad en la población adulta. Esto es una consecuencia directa de otros problemas como el sobrepeso y la obesidad. Es importante destacar que los casos de esta enfermedad se producen con un incremento mucho mayor en países de ingresos bajos y medios (Organización Mundial de la Salud, 2016).

En Argentina, según datos de la Federación Internacional de Diabetes (2024), hay un 14% de prevalencia de diabetes en adultos, lo que representa un total de 4,3 millones de casos a nivel nacional. A su vez, se estima que hay 35 millones de personas que padecen de esta condición en la región de Sudamérica, Centroamérica y el Caribe Hispano, y se estima que esta cifra puede aumentar a 52 millones en 2050.

El aumento de pacientes con este tipo de enfermedades ha generado un mayor interés por los alimentos funcionales, que con su aporte de pre y probióticos, antioxidantes, fibras, grasas saludables, benefician la salud de los consumidores. En este contexto, a nivel nacional surge el Estudio panorámico de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT) en 2016 y de su inclusión en el plan Argentina Innovadora 2020 de MINCyT. Debido a su aporte de inulina es posible considerar al topinambur como una fuente de prebióticos (Gupta D. & Chaturvedi, 2020) y ha sido evaluado en animales y peces (Samal y col., 2015; Tiengtam y col., 2015) con buenos resultados; mientras que otros autores realizaron estudios *in vitro*. Por ejemplo, Rubel (2015); estudió el rendimiento de extracción, el contenido de inulina y el grado de polimerización, encontrando que los carbohidratos ricos en inulina extraídos de los tubérculos de topinambur que habían sido almacenados

en frío (por un período de cuatro meses) tuvieron la actividad prebiótica más elevada (incluso mayor en comparación a una inulina de calidad alimentaria comercial).

El efecto prebiótico se debe a que contribuye a la disminución del índice glicémico (GI). Este índice es una medición *in vivo* basada en la respuesta glicémica a los alimentos que contienen carbohidratos. Permite categorizar los alimentos en base a la digestión y absorción de los carbohidratos que contiene. Los alimentos que contienen carbohidratos que se digieren, absorben y metabolizan rápidamente se consideran de alto GI (GI de 70 en escala de glucosa). Mientras que los que lo hacen en forma lenta se se clasifican como de bajo GI (GI de 55 en escala de glucosa). Los valores de GI están normalizados a una cantidad referencial de carbohidratos disponibles y no reflejan las cantidades de carbohidratos presentes normalmente en los alimentos, sino a si son fácilmente digeridos o no. Así, un alimento con bajo contenido de carbohidratos tendrá un mayor GI si esos carbohidratos son digeridos y absorbidos de manera rápida en el intestino delgado (Augustin y col., 2015).

Si bien no existe una lista de requisitos que debe cumplir un alimento para ser categorizado como apto para personas con diabetes, las personas que padecen esta condición deben evitar alimentos con elevada cantidad de azúcares ya que producen picos de glucosa en sangre. Para estos pacientes se recomienda un elevado consumo de fibra dietaria a fin de mejorar el control glicémico (Iizuka y Yabe, 2023). Por lo tanto, alimentos ricos en fibra y de bajo grado de liberación de sacáridos podrían considerarse como aptos para personas con diabetes.

1.5 CARACTERÍSTICAS DEL TUBÉRCULO COMO ALIMENTO

El crecimiento del uso de inulina en los alimentos procesados se puede atribuir mayoritariamente a sus inusuales características de adaptabilidad. Puede utilizarse para reemplazar azúcares, grasas y harinas. El consumo de este fructano tiene un impacto mínimo en el aumento de azúcar en sangre y se categoriza como no insulémico. Por este motivo, es apto para personas con diabetes y representa una potencial ayuda en el manejo de los problemas de salud relacionados con índice glicémico (Liu y col., 2019; Gupta D. & Chaturvedi, 2020).

Las cadenas largas de la inulina son parcialmente solubles en agua o leche formando micro cristales que en la boca generan una textura suave y cremosa dando la sensación

de grasa en la boca. Como agente sustituto de grasas, la inulina puede utilizarse en comidas horneadas, rellenos, lácteos, postres helados y coberturas. Las de cadena larga, o elevado GPn, son menos solubles, por lo que representan mejores sustitutos de grasas que las de cadena corta, o bajo GPn (Gupta y col., 2019). Otra propiedad de la inulina es su poder endulzante que nuevamente depende del grado de polimerización. Las de baja polimerización, al ser fácilmente fermentadas y solubilizadas, poseen propiedades similares al azúcar o jarabe de glucosa, y alcanzan aproximadamente un 30-50% del dulzor de azúcar de mesa. Sin embargo, el tubérculo de topinambur del cual se extrae este fructano es mucho menos dulce en sabor, por lo que se deben aplicar técnicas para incrementar su sensación de dulzor con el fin de sustituir al azúcar. Debido sus beneficios nutricionales, la inulina de cadena corta se utiliza en la producción de chocolate como un agente de bajas calorías. En las industrias chocolateras, la inulina de cadena larga se aplica también como agente endulzante en lugar de la de cadena corta y sacarosa debido a su menor solubilidad y propiedades endulzantes (Gupta y col., 2019).

Por otra parte, Judprasong y col. (2016) determinaron a priori que el tubérculo *Helianthus tuberosus L.* es un alimento que puede consumirse con seguridad, esta afirmación surge a partir del estudio realizado de nutrientes, contaminantes químicos (insecticidas residuales y metales pesados) así como sustancias tóxicas naturales (como nitratos, nitritos, cianuro, oxalato, fitato e inhibidor de tripsina). Se debe aclarar que los residuos de insecticidas deben ser controlados en cada cosecha.

El tubérculo de topinambur se lo usa como fuente de inulina (Srinameb y col., 2015; Temkov y col., 2015). Por otro lado, además de la inulina, los tubérculos contienen compuestos fenólicos tales como los derivados de poliacetileno, sesquiterpenos y cumarinas, que pueden eliminar radicales libres.

Bach y col. (2013), estudiaron el contenido de inulina y el grado de polimerización y encontraron que depende del cultivar, de las condiciones de crecimiento, del tiempo de cosecha, y de la madurez de los tubérculos. Durante el almacenamiento, la inulina se degrada y se forman los polímeros de inulina de cadena más corta y sacarosa. El contenido de compuestos fenólicos en los tubérculos es mayor en los maduros y disminuye durante el invierno. Los principales compuestos fenólicos son los ácidos fenólicos de ácido clorogénico, ácido gálico, ácido salicílico, y el ácido cafeico. El contenido de compuestos fenólicos es 2-12 veces más alto en la piel que en el interior de los tubérculos.

1.6 PRINCIPALES COMPONENTES DEL TUBÉRCULO

En la Tabla 1.1 se compara la composición nutricional del tubérculo de topinambur en comparación con otros tres tubérculos.

Tabla 1.1. Componentes de diferentes variedades de topinambur.

	Tubérculos			
	Topinambur[1]	**Papa[2]**	**Batata[3]**	**Remolacha[4]**
Nutrientes (%)				
Materia seca (% base húmeda)	18,8-23,2	22,8-27,9	28,3	11
Proteína cruda	3,47-12,1	6,9-11,4	4,13	1,6
Azúcares totales	68,6-81,2	16,4-23,7	14,8	8,4
Azúcares reductores		0,8-3,8		
Inulina	67,1-75.2			2,6
Almidones totales	0,6-2,0	14,4-22,4	71,9	
Grasas totales	0,6-2,7	0,1	1,02	0,1
Cenizas	4,9-8,4		1,5	

[1]Wang y col. (2020), [2]Cerón-Lasso y col. (2018), [3]García-Méndez (2016), [4] Rodríguez y col. (2018).

Wang y col. (2020) analizaron la composición de minerales y aminoácidos presentes en diferentes variedades de topinambur, provenientes de distintos países y con tiempo de cosecha variable. Los autores encontraron las siguientes proporciones de minerales y oligoelementos, expresados en mg/100g: 106,68 ± 37,87 de Calcio; 16,72 ± 8,78 de Potasio; 74,81 ± 11,97 de Magnesio; 2384,33 ± 343,62 de Fósforo; 9,65 9,65 ± 5,041 de Sodio; 8,41 ± 6,82 de Hierro; 0,53 ± 0,092 de Cobre y 12,74 ± 26,76 de Zinc. En cuanto a la composición de aminoácidos mayoritarios, también expresada en mg/100g, los resultados fueron los siguientes: 273,36 ± 165,19 de Ácido aspártico; 449,75 ± 376,33 de Serina; 322,66 ± 123,93 de Glicina; 1248,67 ± 2911,76 de Valina; 917,06 ± 2343,50 de Tirosina y 1904,01 ± 614,69 de Arginina.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial de la harina de *Helianthus tuberosus L.* como alimento funcional mediante su elaboración a partir del tubérculo de topinambur, su análisis nutricional y propiedades físicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener harina de topinambur de piel blanca (HTPB) a partir del tubérculo de *Helianthus tuberosus L.* Estimar el rendimiento de la harina.
- Caracterizar la harina obtenida mediante análisis de composición proximal, teniendo en cuenta el contenido de inulina, fibra dietaria, proteínas y compuestos fenólicos, entre otros.
- Determinar las propiedades físicas de la harina de topinambur de piel blanca (HTPB), incluyendo su comportamiento térmico, actividad acuosa, color, y capacidad de absorción de agua y aceite, para evaluar su potencial en la formulación de alimentos funcionales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PREPARACIÓN DE LA HARINA DE TOPINAMBUR

3.1.1 SIEMBRA Y COSECHA

La especie *Helianthus tuberosus L.* es perenne con baja viabilidad de sus semillas, por lo que se reproduce de manera agámica a través de sus tubérculos, que rebrotan en primavera (Rebora, 2008; Ibarguren y Rebora, 2013). El cultivo se adapta a suelos con amplio rango de pH (Kosaric y col., 1984) y a precipitaciones de 310 a 280 mm anuales. Es resistente a heladas y sequías, pero la falta de agua durante la emergencia del cultivo y en el crecimiento del tubérculo (perfloración) puede afectar su rendimiento (Denoroy, 1996). Esta especie posee bajos requerimientos de agroquímicos y tiene la capacidad de producir una gran cantidad de biomasa en períodos de tiempo relativamente cortos (Rebora y col., 2011).

Estudios realizados en INTA San Luis (Rossi y Chicahuala, 2017) sobre el rendimiento de cosecha en condiciones de la región pampeana semiárida central, concluyeron que las densidades de siembra más adecuadas para el año bajo estudio fueron de 20.000 a 30.000 plantas.ha^{-1}, y que el manejo de fertilización y densidad permiten aumentar su rendimiento.

La región pampeana semiárida central de la Argentina se caracteriza por poseer suelos de textura gruesa, con bajos contenidos de materia orgánica, bien drenados y con cierta

susceptibilidad a la erosión eólica (Viglizzo, 1997). Estas características hacen que sea posible evaluar su participación en los sistemas productivos de la región (Rossi y Chicahuala, 2017).

La harina de topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) empleada en este trabajo de tesis se obtuvo a partir de tubérculos de piel blanca frescos, sembrados y cosechados en el predio de Agronomía de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis (FICA – UNSL). En un estudio previo se demostró que esta variedad posee un mayor rendimiento de cosecha que los de piel roja para el clima semiárido de San Luis (68 vs 42,1 Tn/ha, respectivamente) y mayor contenido de inulina (13,05% vs 11,35%, respectivamente) (Rossi y col., 2019).

La siembra en FICA (Figs. 1.4-1.6) se realiza habitualmente en el mes de septiembre, y la cosecha (Fig. 1.7) está comprendida entre los meses de mayo y agosto del año siguiente, dependiendo de manera mayoritaria en la cantidad de precipitaciones en este período. Se realiza una siembra y una cosecha anual.



Fig. 1.4. Tubérculos recientemente sembrados.



Fig. 1.5. Tubérculos en etapa de crecimiento.



Fig. 1.6. Plantas desarrolladas.



Fig. 1.7. Cosecha de tubérculos.

3.1.2 PROCESAMIENTO POST COSECHA

Una vez cosechado el tubérculo si se almacena por un período de tiempo considerable hasta su posterior uso se debe evitar posible descomposición, deshidratación, brote y degradación de carbohidratos, como la inulina. Para conservar los tubérculos adecuadamente luego de cosechados se requieren condiciones de elevada humedad que previene su deshidratación y pérdida de peso, sin embargo, esto promueve el desarrollo bacteriano, acortando su período de utilización (Saengthogpinit y Sajjaanantakul, 2005; Ritsema y Smeekens, 2003). Además, se debe tener en cuenta que el almacenamiento a 3 – 5°C de los tubérculos de topinambur por más de 34 días favorece la degradación de inulina a fructooligosacáridos (Kang y col., 1993).

La degradación de los polímeros de fructosa que conforman el tubérculo puede ocurrir por diferentes condiciones ambientales, así como por enzimas. Esto conlleva a la formación de fructanos de bajo grado de polimerización (GP), como lo son la fructosa y glucosa libres (Schorr-Galindo y Guiraud, 1997; Edelman y Jefford, 1968). Para evitarlo, los tubérculos pueden almacenarse congelados (Kang y col., 1993), pero en estas condiciones se producen pérdidas considerables tanto de agua como de compuestos solubles.

Los tubérculos de topinambur se deterioran rápidamente debido a su elevado contenido de humedad (Ostermann-Porcel y col., 2022). Por todos los motivos expuestos anteriormente, en el presente trabajo se optó por procesar los tubérculos inmediatamente luego de su cosecha para la obtención de harina. Para cada cosecha se determinó el contenido de inulina con la finalidad de tener un seguimiento de la materia prima proveniente de cada periodo.

3.1.3 LAVADO Y SECADO

El tubérculo cosechado fue lavado en una pileta lavadora (Fig. 1.8), cepillado para remover la tierra remanente y cortado en piezas grandes para poder limpiarlo adecuadamente debido a su superficie irregular. Posteriormente fue rallado y secado en un horno deshidratador solar (Corporación Macolla S.A., Argentina) (Figs. 1.9-1.11) entre 70 y 76 °C hasta obtener peso constante.



Fig. 1.8. Pileta lavadora.



Fig. 1.9. Horno deshidratador solar, parte posterior.



Fig. 1.10. Bandejas de horno deshidratador solar.



Fig. 1.11. Horno deshidratador solar, parte frontal.

3.1.4 MOLIENDA Y TAMIZADO

El tubérculo seco fue procesado a potencia media (Nº 2) durante un minuto en un molinillo de café (Liliana, modelo AL 508) y posteriormente se pasó por un tamiz de malla 60 en la escala de Tyler y fue retenido por un tamiz de malla 100 en la misma escala para estandarizar su granulometría. Lo que retuvo el tamiz malla 60 se reservó y etiquetó como rebozador. Lo que pasó por el tamiz malla 60 se guardó etiquetada como

HTPB (Harina de Topinambur de Piel Blanca) en bolsas de polietileno con cierre hermético. La harina obtenida se conservó a 3 – 5 °C hasta su posterior uso.

Cada lote de harina obtenido de diferentes cosechas se rotuló y almacenó por separado para determinar su composición proximal. En el presente trabajo se utilizó la harina de topinambur de cosecha de mayo de 2021 para el desarrollo experimental.

3.2 CARACTERIZACIONES

3.2.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN PROXIMAL

Se determinó la composición proximal tanto del tubérculo fresco de topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) cosechado en diferentes estadios como de la harina obtenida. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

TUBÉRCULO FRESCO DE PIEL BLANCA (TPB)

3.2.1.1DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se realizó mediante la pérdida de peso en estufa a 105 ºC, se pesó 0,5 g de tubérculo fresco de piel blanca (TPB) en crisoles previamente tarados, y se llevó a estufa por 2 horas a 105 ºC. Una vez transcurrido ese período, los crisoles se pesaron y se llevaron nuevamente a estufa por 30 minutos; procedimiento que se repitió hasta la obtención de peso constante. Las determinaciones se realizaron por triplicado. El porcentaje de humedad se calcula como la diferencia entre el peso de la muestra previo y posterior al secado:

$$Humedad\ (\%) = \frac{(m - m_1)}{m} \times 100$$

Siendo:

m = Masa de la muestra antes del secado.

m_1 = Masa de la muestra luego del secado.

3.2.1.2 FIBRA SOLUBLE

Con este método se estima, de forma indirecta, el porcentaje de inulina contenido en TPB. Esta determinación se realizó mediante extracción con agua. Se realizan tres extracciones consecutivas sobre la muestra con la finalidad de extraer toda la fibra soluble contenida en la misma. Parte del extracto se hidroliza para obtener fructosa libre y a partir de la otra parte se obtiene el contenido de fructosa total. Las muestras se llevan a un Espectrofotómetro UV-1800 (Shimadzu, Japón). El contenido de inulina se obtiene a partir de la diferencia determinada entre fructosa total y fructosa libre de las muestras (Diaz y col., 2019).

Se pesó 1 g de TPB y se colocó en tubos de ensayo, a los cuales se añadieron 16 mL de agua destilada (1/16 p/v). Los mismos se llevaron a baño de glicerina termostático a 76 ºC con agitación constante por 90 minutos (Rubel y col., 2018), tapándolos adecuadamente para evitar la evaporación de la solución. Una vez transcurrido este período la solución se centrifugó a 850 ×g por 10 minutos para lograr separación de fases. A continuación se separó la solución del sólido decantado (obteniendo la primera extracción). El sólido fue colocado nuevamente en tubos de ensayo junto con 16 mL de agua, y calentado 90 minutos en baño de glicerina a 76 ºC, se repitió el procedimiento de centrifugación y separación de fases, (segunda extracción). Finalmente, se realizó por tercera vez el procedimiento (tercera extracción), descartando el sólido remanente. En el procedimiento se observó que la solución se aclaró considerablemente con cada extracción realizada, lo que indicó la disminución del contenido de fibra soluble en la muestra analizada.

Los tres filtrados se recogieron y se desproteinizaron mediante la adición de hidróxido de calcio hasta pH 11 y se centrifugaron para eliminar las proteínas precipitadas. Luego, se añadió ácido fosfórico al 80% alcanzando un pH final de 8. El extracto desproteinizado se dividió luego en dos partes iguales: una se usó para la cuantificación de azúcares reductores por el método Somogyi-Nelson (λ=590 nm) (Diaz y col., 2019), utilizando un espectrofotómetro modelo UV-1800 (Shimadzu Corporation, Japón). Este valor corresponde a la fructosa libre en la muestra. La otra parte del extracto desproteinizado se sometió a hidrólisis ácida con ácido clorhídrico 0,05 N durante 40 minutos en un baño de agua hirviendo, y la fructosa liberada se cuantificó por el método Somogyi-Nelson. Este valor corresponde a la fructosa total. En paralelo se realizó un

blanco a partir de agua tri destilada para la determinación de fructosa libre y total en el espectrofotómetro UV-Visible. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

El contenido de inulina se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Fibra\ soluble\ (\%) = k \times (TF - FF)$$

Siendo:

TF = Fructosa Total.

FF = Fructosa Libre.

k = una constante igual a 0,995 utilizada cuando se desconoce el grado de polimerización de la inulina (Saengkanuk y col., 2011).

3.2.2 HARINA DE TOPINAMBUR DE PIEL BLANCA (HTPB)

A la harina obtenida se le realizaron las determinaciones anteriormente citadas para el tubérculo fresco, además de las que se enumeran a continuación (todas, también, por triplicado).

3.2.2.1 CENIZAS

La determinación de cenizas se basó en el método AOAC 942.05 (1990). Previo al procedimiento propio de determinación de cenizas, se calcinaron los crisoles a utilizar, durante 2 horas a 900 ºC, con la finalidad de acondicionarlos al tratamiento térmico al cual se sometieron.

Se pesó 3 g de HTPB en crisoles previamente tarados, y se llevó a llama directa hasta observar que la muestra quedó completamente carbonizada. En este punto se logra remover completamente la materia orgánica contenida en la muestra. Se llevaron los crisoles carbonizados a la mufla a 550 ºC (con rampa de calentamiento de 20ºC/min) durante 2 horas. Posteriormente se enfriaron en desecador y pesaron. Se llevaron nuevamente a la mufla durante 30 minutos, se dejaron enfriar en el desecador y se pesaron, repitiendo el procedimiento hasta la obtención de peso constante. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

La proporción de cenizas contenidas en la muestra se calcula a partir de la diferencia entre el peso de la muestra y el de las cenizas:

$$Cenizas\ (\%) = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

Siendo:

m_1 = Peso de las cenizas remanentes.

m_2 = Peso de la muestra.

3.2.2.2 LÍPIDOS

Para la determinación de lípidos se utilizó el método de extracción por Soxhlet (AOAC 920.39, 1990), el mismo consta de una lixiviación líquido – sólido que utiliza n-hexano como solvente. Para efectuar el procedimiento se pesó 5 g de muestra y se envolvió en papeles de filtro previamente tarados. La muestra se colocó en dedales conectados a balones, previamente tarados, y a una columna de refrigeración con agua para evitar el aumento excesivo de temperatura del sistema. Para cada unidad de extracción se utilizaron 150 mL de hexano (50 mL en el dedal y 100 mL en el balón). Los balones se colocaron en mantos calefactores, evitando que la calefacción exceda los 60 ºC, por un período de aproximadamente 4 horas (tiempo suficiente para que se completen 8 ciclos de evaporación y posterior condensación del hexano en el sistema). De esta manera, la grasa contenida en la muestra queda adherida a las paredes del balón. Finalmente, el balón, luego de haber realizado la recuperación del hexano, se llevó a estufa a 100 ºC por 24 horas y se pesó nuevamente, obteniendo el porcentaje de grasas de la muestra desde la diferencia de pesos del balón antes y después de realizar el procedimiento. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$Materia\ grasa\ (\%) = \left(\frac{B_0 - B_1}{m}\right) \times 100$$

Siendo:

B_1 = Peso inicial del balón.

B_0 = Peso del balón luego de la extracción.

m = Masa de la muestra.

3.2.2.3 PROTEÍNAS

Para esta determinación se utilizó el método de macro-Kjeldahl, realizando una digestión de la muestra seguida de una destilación y finalmente su titulación (AOAC, 1990).

Se realizó la digestión de la Harina de topinambur de Piel Blanca (HTPB) con ácido sulfúrico concentrado junto con sulfato de cobre y potasio. Durante la digestión el nitrógeno orgánico se convierte en iones amonio. Una vez finalizada la misma, se añadió hidróxido de sodio para liberar el nitrógeno contenido en la muestra. Posteriormente el mismo se destiló recogiendo el destilado en exceso de ácido bórico. Finalmente, se tituló con ácido clorhídrico para determinar la cantidad de amonio absorbido por el ácido bórico.

En el primer paso, digestión de la muestra, se colocaron 3 g de HTPB en un balón junto con 10 g de sulfato de potasio, 2 g de sulfato de cobre (catalizadores) y 25 mL de ácido sulfúrico concentrado de concentración 98% p/p y se calentó en un manto calefactor hasta la obtención de color verde claro sin desprendimiento de vapores. A partir de ese momento, se efectuaron 30 minutos más de calentamiento, con esto se asegura de oxidar toda la materia orgánica a iones amonio. Se retiró del manto calefactor y dejó enfriar a temperatura ambiente y se agregaron 90 mL de agua tri destilada.

Seguidamente, se realizó la destilación. En un erlenmeyer recolector se añadieron 50 mL de ácido bórico al 4%, junto con unas gotas de solución indicadora Shiro-Tashiro (la misma se preparó con 0,02 g de rojo de metilo y 0,04 g de verde de bromocresol disueltos en 19 mL de alcohol y 1 mL de agua destilada, conservada en un frasco oscuro en un lugar fresco y seco). Se colocó el erlenmeyer a la salida del condensador para recolectar el amonio destilado. Al balón con la muestra digerida se le agregó 50 mL de una solución de NaOH al 40%. Se comenzó a calentar nuevamente y se continuó con el proceso de destilación hasta que el indicador viró de violeta a verde y se condensó 50 mL de líquido (es decir, que el erlenmeyer recolector alcanzó un volumen aproximado de 100 mL).

Finalmente, se realizó una titulación con ácido clorhídrico 0,1 N con la finalidad de determinar el amonio absorbido por el ácido bórico. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Para calcular el contenido de nitrógeno en la muestra:

$$N_2\ (\%) = \left[\frac{(V_{HCl} \times N)}{m} \times 0{,}014\right] \times 100$$

Siendo:

V_{HCl} = mL de HCl consumidos durante la titulación de la muestra.

N = Concentración (en Normalidad) de la solución de HCl.

m = Masa de la muestra.

Para el cálculo de proteína cruda contenida en la muestra se utilizó un factor de conversión para nitrógeno de 6,25:

$$Proteína\ cruda\ (\%) = 6{,}25 \times N_2(\%)$$

3.2.2.4 FIBRA DIETARIA TOTAL (FDT)

En esta determinación se incluye la cuantificación de los fructanos, polisacáridos no almidón, almidones resistentes y oligosacáridos no digeribles por métodos distintos o bien la utilización de los métodos de AOAC para análisis de fibra dietética (AOAC 985.29 o 991.43) con análisis complementarios de los diferentes oligosacáridos (Rubel, 2015).

En el presente trabajo se realizó mediante la utilización de un KIT MEGAZIME para fibra (AOAC 991.43, 1990). A continuación, se detalla el procedimiento del mismo.

Se pesó 1g de HTPB seca en un erlenmeyer y se añadió buffer fosfato 0,08 M para llevar a pH 6. Se agregaron 50 µL de enzima α-amilasa termoestable (3000 unidades/mL, método ceralfa). El erlenmeyer se colocó en baño con agitación a 100 ºC durante 15 minutos. Una vez transcurrido ese período, se enfrió a temperatura ambiente, se ajustó el pH a valor de 7,5 utilizando NaOH 0,275 N y se agregaron 100 µL de enzima proteasa. Se llevó a baño con agitación a 60 ºC durante 30 minutos, para solubilizar y lograr la despolimerización de las proteínas. Luego se ajustó el pH a valor de 4,5 utilizando HCl 0,325 N y se agregaron 200 µL de enzima amiloglucosidasa. Nuevamente se incubó a 60 ºC durante 30 minutos para hidrolizar los azúcares a fragmentos de glucosa.

Se continuó el análisis adicionando 280 mL de etanol al 95% y se dejó precipitar a temperatura ambiente durante 1 hora. Finalmente se realizó el filtrado con sucesivos enjuagues del recipiente utilizando 3 enjuagues de 20 mL de etanol al 78%, 2 enjuagues con etanol al 95% y 2 enjuagues con 10 mL de acetona. El residuo se colocó en un crisol y se secó en estufa bajo vacío a 70ºC durante toda la noche. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

El porcentaje total de fibra dietaria total contenida en la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$FDT(\%) = \left[\frac{R - p - A - B}{m}\right] \times 100$$

$$B = RB - PB - CB$$

Siendo:

R = Peso del residuo de la muestra.

m = Peso de muestra seca.

p = Peso de proteínas del R.

A = Peso de cenizas del R.

B = Blanco.

RB = Residuo del blanco.

PB = Peso de proteínas del blanco.

CB = Peso de cenizas del blanco.

3.2.2.5 FIBRA DETERGENTE ÁCIDA

La fibra detergente ácida contenida en HTPB se determinó siguiendo el protocolo 973.18c (AOAC, 1990). Dicho análisis se realiza para cuantificar el contenido de lignocelulosa de la muestra a analizar.

Se preparó la solución detergente ácida se agregando 20 g de bromuro de etiltrimetilamonio a 1 L de H_2SO_4 1 N. A continuación, se colocó 1 g de HTPB en un balón y se añadió 100 mL de la solución anterior. El balón se colocó en un manto calefactor, y se conectó a una columna de refrigeración con agua. La solución se llevó a ebullición, cuando se alcanzó la misma se disminuyó el calentamiento y se mantuvo en hervor por una hora.

Posteriormente, se filtraron los sólidos contenidos en el balón bajo vacío en un crisol Gooch previamente tarado. Se lavó repetidas veces con agua tridestilada a aproximadamente 80 °C y luego con acetona hasta obtener líquido de lavado sin color. Finalmente, se realizó un lavado final con hexano.

El crisol con el residuo se llevó a estufa a 105 °C durante toda la noche. Transcurrido ese período se dejó enfriar en desecador y se pesó en una balanza analítica. A partir del residuo obtenido es posible determinar el contenido de lignina. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

El porcentaje de Fibra Detergente Ácida contenida en la muestra se calculó a partir del peso del residuo obtenido. Los resultados se expresaron como % p/p sobre base seca.

$$FDA(\%) = \left[\frac{(P_2 - P_{1)}}{P_3}\right] \times 100$$

Siendo:

P_1 = Peso del crisol.

P_2 = Peso del crisol con el residuo.

P_3 = Peso de la muestra seca.

3.2.2.6 FIBRA DETERGENTE NEUTRO (FDN)

Le determinación de fibra detergente neutro incluye celulosa, hemicelulosa y lignina, como componentes mayoritarios, el método utilizado en el presente trabajo es el propuesto por Van Soest y col. (1991).

Se preparó la solución de detergente neutro agregando 30 g de SDS (laurilsulfato de sodio); 18,6 g de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético); 4,6 g de Na_2HPO_4, 6,8 g de borato de sodio decahidratado y 10 mL de etilenglicol a 1 L de agua tridestilada. El pH se ajustó a 7.

Se colocó 1 g de HTPB en un balón y se añadió 100 mL de la solución de detergente neutro. El balón se llevó a manto calefactor y se conectó a una columna de refrigeración con agua. Se calentó hasta alcanzar la ebullición en pocos minutos, posteriormente se disminuyó el calentamiento y la solución se mantuvo en hervor durante 1 hora. Los

sólidos contenidos en el balón se filtraron bajo vacío en un crisol Gooch, previamente tarado. El residuo obtenido se enjuagó numerosas veces con agua caliente, aproximadamente a 90 °C, y posteriormente con acetona. El crisol se llevó a estufa a 105 °C toda la noche, se dejó enfriar en un desecador y se pesó. El contenido de fibra detergente neutro de la muestra se calculó en base al peso del residuo obtenido. Los resultados se expresaron como % p/p sobre base seca. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$FDN(\%) = \left[\frac{(P_2 - P_1)}{P_3}\right] \times 100$$

Siendo:

P_1 = Peso del crisol.

P_2 = Peso del crisol con el residuo.

P_3 = Peso de la muestra seca.

3.2.2.7 CONTENIDO TOTAL DE FENOLES (TPC)

Mediante esta técnica se determinó el contenido de fenoles de HTPB, como indicador de su capacidad antioxidante. El procedimiento utilizado fue el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Kaur y col., 2017).

Se pesó 200 mg de HTPB a 25 ºC, por triplicado, y se colocaron en tubos de ensayo. Se añadieron a los mismos 4 mL de metanol acidificado (1:80:10 de HCl/CH_3OH/H_2O v/v/v, respectivamente) y se realizó un blanco únicamente con metanol acidificado. Se dejó reposar por 2 horas en ausencia de luz, en un lugar fresco y seco. Una vez transcurrido este período se añadieron 200 µL de dicha solución a 1,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (Biopack. Lote: 1462015. Serie: 42754) previamente diluido con agua tridestilada en una proporción 1/10. Se dejó reposar por 5 minutos en ausencia de luz y luego se le añadieron a la solución 1,5 mL de carbonato de sodio en una concentración de 60 g/L. A continuación, se dejó reposar nuevamente en ausencia de luz por 90 minutos y se determinó su concentración en el espectrofotómetro UV-Vis (modelo UV-1800, Shimadzu Corporation, Japón) a una longitud de onda de 725 nm utilizando una curva patrón de ácido gálico (en un rango de 0 a 900 mg/L). Las

determinaciones se realizaron por triplicado. El contenido de compuestos fenólicos se expresó como equivalentes de ácido gálico (mg GAE) cada 100 g de muestra (base seca).

3.2.3 DETERMINACIONES FÍSICAS DE HTPB

Se realizaron determinaciones físicas a la Harina de Topinambur de piel blanca (HTPB) con la finalidad de obtener información sobre su descomposición térmica, color, capacidad de desarrollo de microorganismos y capacidad de absorción y retención de agua y aceite. Estos datos son de utilidad a la hora de realizar la formulación de galletitas.

3.2.3.1 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC), ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL (DTA) Y TERMOGRAVIMETRÍA (TG)

Se estudiaron las características físicas y térmicas de HTPB mediante DSC/DTA/TG, con el objetivo de clarificar el efecto de la temperatura en sus propiedades (Afoakwah y col., 2015). En la curva de DSC (calorimetría diferencial de barrido) se esquematiza el flujo de calor (W/g) versus la temperatura (ºC). Los parámetros que pueden obtenerse de este estudio son temperaturas de eventos térmicos que pueden estar relacionados principalmente a reacciones de descomposición, fusión y cristalización (Drzeżdżon y col., 2019) de los componentes de la harina, como fibras, proteínas, carbohidratos, entre otros. En la curva de DTA (análisis térmico diferencial) se muestra el delta de temperaturas (ºC) de la muestra en relación a un material de referencia inerte (alúmina, Al_2O_3) vs temperatura (ºC). Esta diferencia de temperaturas indica si la muestra presenta procesos endotérmicos y/o exotérmicos al calentarse, así como posibles transiciones de fase, como por ejemplo la temperatura de transición vítrea (T_g), que indica hasta qué temperatura es posible almacenar la muestra sin que sufra cambios fisicoquímicos (Diaz y col., 2019). Finalmente, mediante el estudio de TG (análisis termogravimétricos), se determina la pérdida de componentes en la muestra debido al incremento de temperatura. Se grafica el peso (%) y la derivada del peso (%/ºC) en función de la temperatura (ºC).

Los análisis se realizaron en el equipo SDT Q600, TA Instruments. Las determinaciones de TGA-DTG y DSC DTA se realizaron con 5 mg de muestra en atmósfera de nitrógeno con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min hasta llegar a 600°C. Las determinaciones se realizaron por duplicado.

3.2.3.2 COLOR

La determinación de color de la harina se realizó por triplicado con un colorímetro tri estímulo Chroma meter CR300 a temperatura ambiente, previamente calibrado con cinta blanca y negra, parte del mismo equipo. Se obtuvieron como resultado los parámetros L*, a* y b* en escala de índice CIELAB. L* es el índice de luminosidad, su rango de valores está comprendido desde cero para color negro hasta 100 para blanco perfecto. Por otra parte, los valores de a* positivos indican color rojo y los negativos, verde. Finalmente, b* tendrá valores positivos para color amarillo y negativos para azul (Dar y col., 2019). De esta manera es posible cuantificar el color de la harina de topinambur y compararla con otros productos, como harina de trigo blanca, para evaluar sus diferencias.

3.2.3.3 ACTIVIDAD ACUOSA

Se determinó la actividad acuosa de HTPB (AOAC 978.18, 1990) con la finalidad de conocer la capacidad de preservación del alimento y el potencial de su desarrollo microbiano. Se realizó por triplicado utilizando equipo Aqua Lab Serie 3, a temperatura ambiente.

3.2.3.4 ABSORCIÓN DE AGUA Y ACEITE

Las determinaciones de absorción de agua y aceite se realizaron para comprender la proporción en la que la harina de topinambur es capaz de retener estos solventes en base a su propio peso. Considerando que luego se utilizará esta harina en la formulación de galletitas, estas determinaciones brindan información relevante a tener en cuenta a la hora de desarrollar el producto propuesto.

Para su determinación se pesaron, por triplicado, muestras de 0,5 g de HTPB en tubos de centrífuga, previamente tarados, y se les añadió 5 mL de agua a cada uno, se tomó el peso del tubo nuevamente. Se agitaron manualmente durante 5 minutos y se dejaron reposar 10 minutos más. A continuación se llevaron a centrífuga a 850×g y se separaron las fases, se descartó el solvente y volvió a pesarse el tubo con el sólido remanente. El mismo procedimiento se efectuó para aceite. Los resultados se determinaron mediante el siguiente cálculo:

$$WHC(\%) = \frac{F - C}{C - G} \times 100$$

Siendo:

F = Peso del tubo con la muestra húmeda.

C = Peso del tubo con la muestra seca.

G = Peso del tubo.

La misma ecuación se empleó para la determinación de OHC (%) (capacidad de retención de aceite).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO DE HARINA Y ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN PROXIMAL

Una vez cosechado, lavado y rallado el tubérculo, se determinó su pérdida de peso después del secado, que fue de un 74,38 ± 0,84%. Es decir, que se obtienen aproximadamente 260 g de producto seco por cada kg de tubérculo fresco. Además, el rendimiento de la harina luego del tamizado fue de 58,59 ± 2,00%. Por lo tanto, cada 1 kg de tubérculos frescos, luego de rallar secar, moler y tamizar, se obtienen aproximadamente 150 g de HTPB. Estos resultados son similares a los reportados por Ostermann-Porcel y col. (2022), que obtuvieron un rendimiento de harina de topinambur del 16% calculado como gramos de harina por cada 100 gramos de tubérculos procesados. Los autores realizaron el secado del tubérculo utilizando dos métodos diferentes: en horno a 70,5 ºC, similar a la técnica aplicada en este trabajo, con un rendimiento del 16%; y mediante liofilización, con un rendimiento de 25%. Estos

resultados demuestran la eficiencia del secado, que proporciona considerables pérdidas de peso durante el procesamiento de los tubérculos. Si bien los autores reportaron un mayor rendimiento de harina de topinambur en los tubérculos secados mediante liofilización, mencionan que esta técnica tiene un elevado costo energético asociado.

En el presente trabajo, durante la cosecha de mayo del año 2021 se procesaron aproximadamente 7 kg de tubérculos frescos, de los cuales se obtuvieron 1,04 kg de harina. La harina se almacenó a temperatura de 3 – 5 ºC en bolsas de polietileno con una densidad de 50,51 ± 0,14 g/m^2 hasta su posterior uso.

TUBÉRCULO FRESCO

Se realizaron determinaciones de humedad y fibra soluble sobre el tubérculo fresco, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Composición de Tubérculo Fresco.

	Base Húmeda	Base Seca
Humedad (g/100 g)	74,38 ± 0,84	–
Fibra soluble (inulina) (g/100 g)	13,10 ± 0,78	51,13 ± 3,07

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3).

El contenido de humedad (Tabla 1.2) encontrado en los tubérculos fue similar al valor reportado por Diaz y col. (2019) de 73,1 ± 1,5%. Por otra parte, Sennoi y Puttha (2021) analizaron el contenido de inulina en 5 variedades de tubérculos de topinambur, desarrolladas por la Universidad de Khon Kaen, en Tailandia. Encontraron que los tubérculos recién cosechados presentaron un contenido de inulina que varió entre 35,85 y 47,80% en base seca. En este aspecto, se observa que los tubérculos analizados en el presente trabajo presentaron mayor contenido de inulina en la misma base. Es posible que estas variaciones puedan atribuirse a diferencias en las condiciones climáticas, de suelo y de especie de los tubérculos cuyo contenido de inulina se compara.

HARINA DE TOPINAMBUR

A continuación se muestran los resultados obtenidos sobre la composición de harina de topinambur en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Composición de Harina de topinambur de Piel Blanca.

	Base Seca
Humedad (g/100 g)	9,36 ± 0,35
Cenizas (g/100 g)	8,65 ± 0,04
Lípidos (g/100 g)	0,59 ± 0,01
Proteínas (g/100 g)	9,91 ± 0,02
Fibra Dietaria Total (FDT) (g/100 g)	17,70 ± 0,02
Carbohidratos* (g/100 g)	53,79 ± 0,01

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). *Estimado por diferencia.

Los valores de fibra soluble (inulina) hallados para HTPB fueron de 13,82 ± 0,40%. Por otra parte, el contenido de fibra detergente ácida (FDA) y neutra (FDN) fue de 4,41 ± 0,40% y 7,28 ± 0,37%, respectivamente. A su vez, el contenido de fenoles totales (TPC) fue de 635,30 ± 15,3 mg GAE/100 g. Estos resultados están expresados en base seca. A partir de los resultados obtenidos es posible inferir que el elevado contenido de fibra de HTPB, su aporte de prebióticos e interesante perfil de compuestos fenólicos, le confieren a esta harina propiedades funcionales.

Gupta y col. (2020) estudiaron la composición de harina de topinambur de tubérculos cosechados en India, blanqueados con agua hirviendo y con autoclave. Los autores realizaron secado en horno a 60 ºC de los tubérculos y los molieron para obtener harina. Para los tubérculos blanqueados el contenido de humedad y lípidos fue de 9,85 ± 0,47% y 0,78 ± 0,14%, respectivamente, similares a los hallados en el presente estudio (Tabla 1.3). Para los tubérculos con los dos tratamientos el contenido de cenizas, fibra y proteínas reportado por los autores fue menor que el obtenido para HTPB, y el de carbohidratos fue mayor (5,28 ± 0,40%; 8,26 ± 0,30%; 5,94 ± 0,28 y 69,55 ± 0,27%, respectivamente, para los tubérculos con autoclave y de 5,68 ± 0,19%; 7,93 ± 0,18%; 6,50 ± 0,39% y 69,40 ± 0,18%, respectivamente, para los blanqueados).

A su vez, El-Gindy (2016) analizó harina de topinambur de tubérculos cosechados en Egipto, secados a 40 ºC. El autor reportó un contenido de proteínas de 7,60 ± 0,70% y fibra de 3,81 ± 0,10%, menores a los determinados para HTPB; y de grasas de 1,58 ± 0,03 y carbohidratos de 74,57 ± 3,10%, mayores a los obtenidos para HTPB (Tabla 1.3).

Estas diferencias en los resultados obtenidos en el presente trabajo con estudios previos pueden deberse a distintos factores, como el tratamiento de los tubérculos en el caso de

los estudios realizados por Gupta y col. (2020) y las condiciones climáticas y demográficas donde se cosecharon los tubérculos de ambos estudios. En todos los casos, los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que los tubérculos de topinambur presentaron mayor contenido de fibra y proteínas y menor aporte de carbohidratos que los analizados en India y Egipto.

Por otra parte, Díaz y col. (2019) analizaron la composición de harina de topinambur de tubérculos cosechados en el predio de FICA – UNSL y secados a 60 ºC. Los autores reportaron un similar contenido de grasas (0,53 ± 0,01%) y FDA (3,95 ± 0,01%) a los obtenidos en el presente trabajo (Tabla 1.3); un menor contenido de fenoles totales (272 ± 22 mg GAE/100 g de tubérculo seco) y mayor contenido de inulina (48,97 ± 3,40%). A su vez, los autores determinaron contenido de fenoles totales sobre la piel y pulpa del tubérculo, por separado. Encontraron que el contenido de compuestos fenólicos en la piel (511 ± 11 mg GAE/100 g base seca) fue aproximadamente diez veces mayor al de la pulpa (49,60 ± 0,30 mg GAE/100 g base seca). Los autores indican que la incorporación de la piel del tubérculo puede contribuir a incrementar el contenido de compuestos fenólicos y bioactivos en la harina de topinambur. Sin embargo, indican que el uso de tubérculos sin pelar puede impartir propiedades indeseadas en la harina, como color oscuro y sabor amargo. En el presente trabajo la HTPB se elaboró a partir de tubérculos con piel y, en consecuencia, se observó como resultado un considerable contenido de fenoles totales.

Estos resultados indican que existe una variabilidad entre diferentes cosechas del tubérculo, atribuibles a factores como cantidad de precipitaciones, tiempos de cosecha, entre otros. En el Anexo A del presente capítulo se encuentran los valores de inulina obtenidos para la harina de topinambur de las diferentes cosechas anuales realizadas en el marco del proyecto de investigación de FICA – UNSL en el cual se desarrolló este trabajo.

4.2 DETERMINACIONES FÍSICAS HTPB

A continuación se muestran los resultados obtenidos para DSC (Fig. 1.12) y DTA (Fig. 1.13) y Termogravimetría (Fig. 1.14).

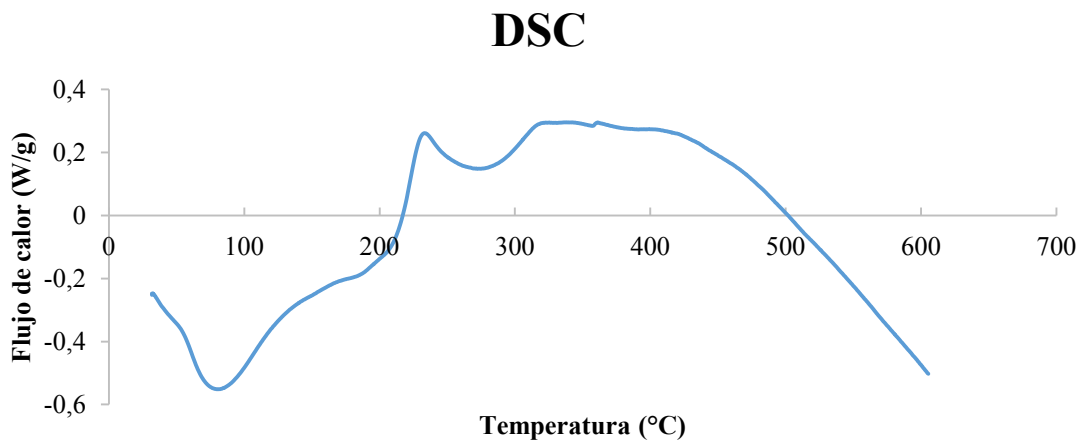


Fig. 1.12. Calorimetría diferencial de barrido obtenida para HTPB.

En la curva de DSC se observan dos picos endotérmicos y un pico exotérmico. Las temperaturas de pico, calculadas a partir del gráfico, resultaron ser de 72 °C y 262 °C para los picos endotérmicos y de 229 °C para el exotérmico. El pico de 72 ºC puede atribuirse, de acuerdo a estudios previos, a la fusión de estructuras cristalinas, en particular las formadas por la inulina (Rubel y col., 2018; Panchev y col., 2011). Por otra parte, el pico endotérmico a 262 ºC puede relacionarse con la descomposición de materia orgánica remanente, como proteínas y lípidos, por procesos de pirólisis. Finalmente, el pico exotérmico a 229 ºC puede asociarse a la reacción de descomposición de las cadenas de polisacáridos que tiene lugar a esa temperatura (Afoakwah y col., 2015). La temperatura de inicio del primer pico endotérmico es de 30,71 ºC, similar a la reportada por Díaz y col. (2019). En la curva de DTA (fig. 1.13) pueden observarse los mismos picos endotérmicos que en la de DSC, a 68°C y 261 °C, respectivamente. Dichos resultados se asemejan a los reportados por Afoakwah y col., (2015) y Díaz y col., (2019).

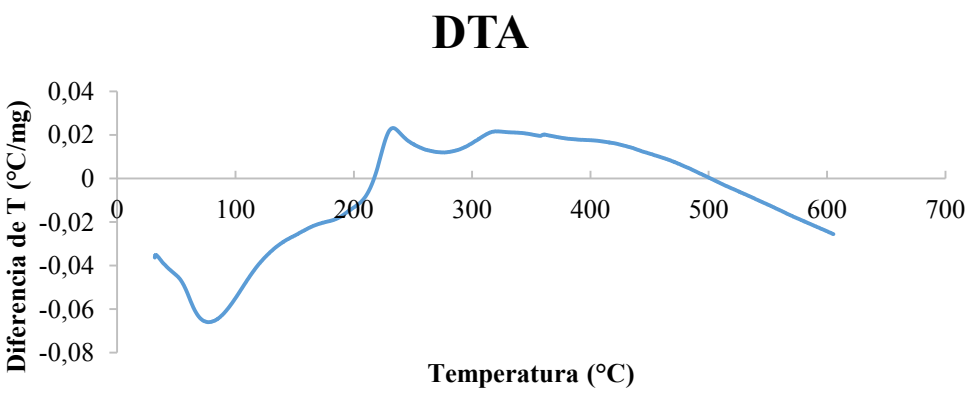


Fig. 1.13. Análisis Térmico Diferencial obtenido para HTPB.

La temperatura de transición vítrea (T_g) puede observarse desde la curva de DTA (Fig. 1.13), la misma se encuentra a 48,5 °C, de manera coincidente con los resultados presentados por Chiavaro y col. (2007) que reportaron una rango de 44,7 a 55,5 °C para la temperatura de transición vítrea en una muestra de inulina comercial (Raftilosa®), los autores observaron un incremento progresivo de este parámetro con el peso molecular. Por otra parte, Panchev y col. (2011) informaron valores de transición vítrea en un rango entre 51 – 55 °C para inulina extraída a partir de topinambur. La temperatura de transición vítrea de la inulina depende de la fuente de su extracción, del contenido de humedad y cristalinidad de la muestra (Kawai y col., 2011). Además, Leyva-Porras y col. (2017) analizaron los valores de T_g de muestras de inulina con diferente grado de polimerización, los autores reportaron que al disminuir el grado de polimerización de este fructooligosacárido el rango de T_g se vuelve más amplio y se desplaza hacia temperaturas menores. Díaz y col. (2019) estudiaron las propiedades térmicas de harina de topinambur y reportaron un valor de T_g de 34,25 ± 0,23 ºC, para harina con un contenido de inulina de 48,97 ± 3,40%. En el presente trabajo, el contenido de inulina de la harina obtenida fue de 13,82% y su T_g fue mayor (48,5 ºC). En base a estos estudios se puede observar que el grado de polimerización de inulina en harina de topinambur podría presentar considerable influencia sobre la temperatura de transición vítrea de la harina obtenida. Por otra parte, no habría una tendencia clara definida en cuanto a la relación entre el contenido de inulina de la harina y su temperatura de transición vítrea.

La determinación de esta temperatura es de suma utilidad para el correcto almacenamiento del alimento. A mayores temperaturas que T_g se favorecen cambios

fisicoquímicos, tales como pegajosidad, colapso de la estructura, apelmazamiento, endurecimiento, aglomeración, pérdida de compuestos volátiles, pardeamiento y oxidación (Díaz y col., 2019). Por este motivo la HTPB se almacena a temperaturas de 3 – 5 ºC, para evitar estos cambios fisicoquímicos indeseables.

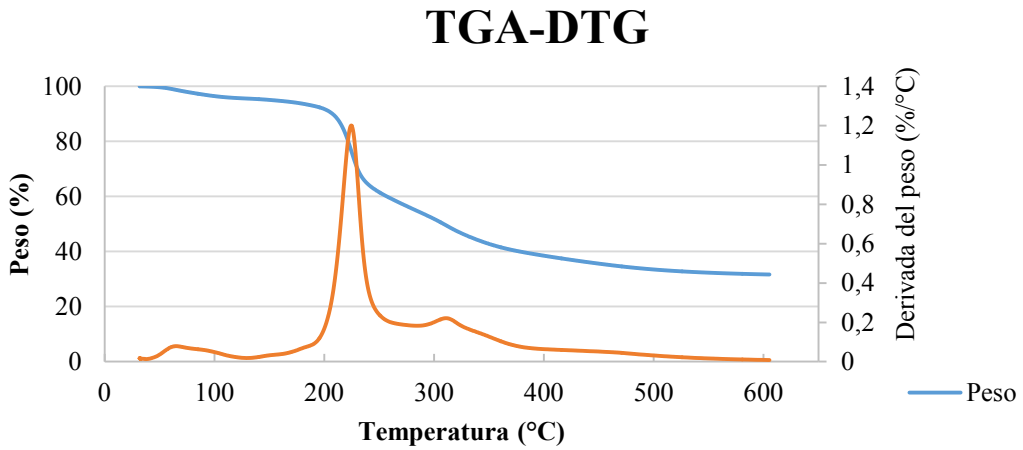


Fig. 1.14. Estudio de termogravimetría obtenido para HTPB.

Entre las características térmicas de HTPB también se estudiaron sus propiedades termogravimétricas (Fig. 1.14). Se observó una pérdida de peso de la muestra con el incremento de temperatura de la misma. Esto puede estar relacionado a la remoción de agua absorbida por la harina, así como por la descomposición térmica de los polisacáridos que contiene y otros nutrientes.

La pérdida de peso de la HTPB puede seccionarse en tres etapas para una mayor facilidad de estudio:

- 20 – 210 °C: Se observa una pérdida de peso de la muestra de hasta casi el 10% de la misma. Ésta puede atribuirse a la evaporación de la humedad contenida.
- 210 – 380 °C: En este rango se encuentra la mayor proporción de pérdida de peso, la misma es de aproximadamente un 40% del peso inicial de la muestra. La misma puede deberse a la pérdida de carbohidratos, como por ejemplo inulina.
- 380 – 600 °C: Se observa una pérdida de peso de aproximadamente 10%. Puede atribuirse a la descomposición de la materia orgánica remanente en la muestra.

Estos resultados sugieren que la muestra posee estabilidad térmica hasta una temperatura aproximada de 200-210 °C, por lo que, dentro de estos valores, puede ser añadida de manera adecuada a productos alimenticios.

Los resultados para estas determinaciones son similares a los obtenidos por Afoakwah y col. (2015) y Díaz y col. (2019).

En cuanto al color de la harina, en la Fig. 1.15 se muestra una foto comparativa con harina de trigo blanca.



Fig. 1.15. Izq.: HTPB. Der.: Harina de trigo 0000.

El color de HTPB fue, en escala CIELAB, L^* = 73,94 ± 0,07; a^* = -0,45 ± 0,08 y b^* = 21,50 ± 0,02. En la Fig. 1.15 se observa el color de la harina en comparación con harina de trigo 0000 (Blancaflor, Molinos Rio de la La Plata S.A., CABA, Argentina), cuyos resultados de color fueron L^* = 93,91 ± 0,05; a^* = -0,27 ± 0,01 y b^* = 4,94 ± 0,05. Se puede concluir que la HTPB es más oscura (menor L^*), y con una tonalidad marrón en comparación a la harina comercial (mayor b^*). Estas características pueden atribuirse, en parte, a la incorporación de la piel del tubérculo en la elaboración de harina, que favorecería la obtención de un color más oscuro.

El valor de actividad acuosa fue 0,40 ± 0,01, medida a 26,5 ºC; este valor bajo indica que no se favorece el crecimiento bacteriano, ya que la harina presenta baja actividad higroscópica (Mazza, 1984). Mazza (1984) realizó isotermas de adsorción a 10, 25 y 40 ºC con harina de topinambur, el autor concluyó que a baja y media actividad acuosa (a_w < 0,52), la harina de topinambur se vuelve menos higroscópica con un aumento de la

temperatura. De esta manera, el autor reporta que las muestras de harina a 40 y 25 ºC presentaron menor adsorción de agua que a 10 ºC.

Los ensayos de absorción de agua y aceite se realizaron con la finalidad de estudiar la capacidad de retención de agua y aceite por parte de las harina y posteriormente estimar la hidratación de las masas en la formulación de galletitas (Takeuchi y Nagashima, 2011). Con respecto a la determinación de absorción de agua y aceite en la harina HTPB, los valores promedios respectivamente fueron de 219,15 ± 3,50% y 103,53 ± 3,24%, respectivamente. Estos valores encontrados son menores a los valores reportados por Afoakwah y col. (2015), pero para harina obtenida con otras condiciones. Se puede concluir la que HTPB posee una elevada capacidad de retención de agua en comparación con harinas convencionales, así por ejemplo al realizar la determinación sobre harina de trigo integral (Pureza, Molinos Cañuelas, Buenos Aires, Argentina), el resultado obtenido fue 92,27 ± 1,28%. Este fenómeno está relacionado al alto contenido de fibra de HTPB, en comparación con la harina de trigo, que permite mayor retención de agua en su estructura (Takeuchi y Nagashima, 2011).

5. CONCLUSIONES

Se estudiaron las características del tubérculo *Helianthus tuberosus L.* y su aplicación como ingrediente en alimentos. A priori, los resultados obtenidos en la caracterización de la harina demuestran que este cultivo posee una composición nutritiva muy interesante. Particularmente, se destaca por su considerable contenido de inulina, una fibra soluble con propiedades prebióticas, así como por su bajo contenido de grasas. De esta manera es posible catalogarlo como un ingrediente funcional, saludable y versátil.

El procesamiento de tubérculos de topinambur de piel blanca (proveniente de cosechas de FICA – UNSL) para la elaboración de harina mediante su lavado, rallado, secado y tamizado permitió la obtención de un producto alimenticio con un rendimiento adecuado (150 g cada 1000 g de tubérculos frescos).

Se observó que la harina obtenida conservó en su composición propiedades bioactivas, como su contenido fenólico (de 635,30 mg GAE/100 g) y de inulina (13,82%). El contenido de esta fibra en la harina tiene el potencial de aportar beneficios clínicos y nutricionales. Por otra parte, la harina presentó un elevado contenido de fibra dietaria total (17,70%), proteínas (9,91%) y un bajo aporte de grasas (0,59%). Por lo tanto, es oportuno indicar que puede incorporarse en formulaciones buscando un impacto positivo en la salud de los consumidores. Esto convierte a la harina de topinambur de piel blanca en un atractivo sustituto de harina de trigo para la elaboración de alimentos para personas con problemas de diabetes.

Por otra parte, a partir de las determinaciones físicas realizadas se observó que es posible calentar la harina a temperaturas menores a 200 °C sin una pérdida significativa de los carbohidratos que lo componen, especialmente la inulina, que es el de mayor interés en este caso. Esto favorece su incorporación en diferentes tipos de productos horneados y formulaciones. Además, es posible guardar el alimento a temperaturas menores a 48,5 °C sin que se presencie una transición vítrea, que afecta las características organolépticas del mismo. Se comprobó que la harina posee un nivel de actividad en agua lo suficientemente bajo (a_w = 0,40) a temperatura ambiente, como para evitar el desarrollo microbiano. Esto permite conservarlo sin que presente descomposición alguna por un período de tiempo considerable. Por otra parte, se observó que este ingrediente posee gran capacidad de absorción de agua y aceite, por lo que tiene el potencial de contribuir a la estructura final de productos alimenticios y

aporta información valiosa a la hora de realizar la formulación de galletas. Además, presentó color más oscuro con respecto a harina de trigo blanca. Debido a estas características físico-químicas podemos concluir que este tubérculo es una materia prima de características interesantes para incorporar en la elaboración de productos alimenticios funcionales. Estimulando, de esta manera, el consumo de alimentos beneficiosos para la salud.

Por otra parte, es importante destacar que el tubérculo de *Helianthus tuberosus L.* es un recurso agrícola adaptable a diversas condiciones climáticas y de suelo. Esto lo convierte en una alternativa agrícola interesante para el desarrollo de productos alimenticios funcionales, ampliando sus oportunidades de uso.

En conclusión, los resultados obtenidos en cuanto a su composición nutricional y propiedades físicas indican que es posible desarrollar productos innovadores en la industria alimentaria a base de harina obtenida a partir de este tubérculo. Además, es posible lograr sostenibilidad del proceso al utilizar un cultivo propio.

En síntesis, la harina de topinambur de piel blanca puede considerarse como un ingrediente funcional con muchas ventajas, con potencial para mejorar la calidad de vida de los consumidores, en especial aquellos que requieren dietas ricas en fibra, contribuyendo al conocimiento sobre alimentos saludables del que se dispone actualmente.

6. REFERENCIAS

Afoakwah, N. A., Dong, Y., Zhao, Y., Xiong, Z., Owusu, J., Wang, Y., & Zhang, J. (2015). Characterization of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) powder and its application in emulsion-type sausage. *LWT-Food Science and Technology*, *64*(1), 74-81. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.030

Alexander, C., Swanson, K. S., Fahey Jr, G. C., & Garleb, K. A. (2019). Perspective: physiologic importance of short-chain fatty acids from nondigestible carbohydrate fermentation. *Advances in Nutrition*, *10*(4), 576-589.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15º Edición. 1990.

Augustin, L. S., Kendall, C. W., Jenkins, D. J., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W., Björck, I., Brand-Miller, J. C., Brighenti, F., Buyken, A. E., Ceriello, A., La Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S. W., Sievenpiper, J. L., Trichopoulou, A., Wolever, T. M. S., Baer-Sinnott, A. & Poli, A. (2015). Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and cardiovascular diseases*, *25*(9), 795-815.

Bach, V., Jensen, S., Clausen, M. R., Bertram, H. C., & Edelenbos, M. (2013). Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus L.*). *Food chemistry*, *141*(2), 1445-1450. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.04.028

Cerón-Lasso, M., Alzate-Arbeláez, A. F., Rojano, B. A., & Ñuztez-Lopez, C. E. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja). *Información tecnológica*, *29*(3), 205-216.

Chen, F. J., Long, X. H., & Li, E. Z. (2019). Evaluation of antifungal phenolics from Helianthus tuberosus L. leaves against Phytophthora capsici Leonian by chemometric analysis. *Molecules*, *24*(23), 4300.

Chen, Q., Wang, X., Wang, Y., Guo, T., Guan, P., Hou, J., & Chen, Z. (2024). Effects of inulin with different polymerization degrees on the structural and gelation properties of potato protein. *Food Chemistry: X*, *22*, 101405.

Chiavaro, E., Vittadini, E., & Corradini, C. (2007). Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *European Food Research and Technology*, *225*, 85-94. DOI 10.1007/s00217-006-0385-y

China Feed Database. China feed ingredients and nutritional value table (30th edition, 2019). China Feed. 617(21), 20-1.

Código Alimentario Argentino (2025). Código Alimentario Argentino. Argentina.Gob.ar. Recuperado el día 21 de abril de 2026 de https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario

Dar, J. A., Wani, A. A., Ahmed, M., Nazir, R., Zargar, S. M., & Javaid, K. (2019). Peel colour in apple (Malus× domestica Borkh.): An economic quality parameter in fruit market. *Scientia Horticulturae*, *244*, 50-60.

Denoroy, P. (1996). The crop physiology of *Helianthus tuberosus L.*: a model oriented view. *Biomass and bioenergy*, *11*(1), 11-32. https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00006-2

Diaz, A., Bomben, R., Dini, C., Viña, S. Z., García, M. A., Ponzi, M., & Comelli, N. (2019). Jerusalem artichoke tuber flour as a wheat flour substitute for biscuit elaboration. *Lwt*, *108*, 361-369. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.082

Drzeżdżon, J., Jacewicz, D., Sielicka, A., & Chmurzyński, L. (2019). Characterization of polymers based on differential scanning calorimetry based techniques. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *110*, 51-56.

Edelman, J., & Jeeeord, T. G. (1968). The mechanisim of fructosan metabolism in higher plants as exemplified in *Helianthus tuberosus L.*. *New Phytologist*, *67*(3), 517-531. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1968.tb05480.x

El-Gindy A. (2016). Technological and Biological studies on Jerusalem Artichoke Tubers and Barley. *European Journal of Food Science and Technology. 4(3)*, 1-15. ISSN 2056 - 5801(online)

Federación Internacional de Diabetes (2024). Argentina. Federación Internacional de Diabetes. Recuperado el día 15 de mayo de 2026 de https://idf.org/es/our-network/regions-and-members/south-and-central-america/members/argentina/

García-Méndez, A. D., Pérez-Darniz, M. Y., García-Méndez, A. A., & Madriz-Iztúriz, P. M. (2016). Caracterización postcosecha y composición química de la batata (Ipomoea batatas (L.) Lamb.) variedad Topera. *Agronomía Mesoamericana*, 287-300.

Ghali, E. N. H. K., Chauhan, S. C., & Yallapu, M. M. (2024). Inulin-based formulations as an emerging therapeutic strategy for cancer: a comprehensive review. *International journal of biological macromolecules*, *259*, 129216.

Gupta N. & Chaturvedi N. (2020). A comparative study on proximate and mineral composition of unprocessed and processed underutilized Jerusalem Artichoke Tuber Flour. *International Journal of Pharmacetical Sciences and Research 11*(9), 4648-4654. ISSN (Online): 0975-8232.

Gupta, D. & Chaturvedi, N. (2020). Prebiotic Potential of underutilized Jerusalem artichoke in Human Health: A Comprehensive. *J. Adv. Pharm. Bull*, *5*, 97-103.

Gupta, N., Ashok, K. J., Deep, P. & Hitesh K. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules 132*, 852–863. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188.

He, S., Chen, H., Xi, H., Sun, G., Du, B., & Liu, X. (2025). Gut Microbiota-Derived Butyric Acid Alleviates Glucocorticoid-Associated Osteonecrosis of the Femoral Head via Modulating Inflammatory Cytokines in Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells. *Mediators of Inflammation*, *2025*(1), 8742817.

Hughes, R. L., Alvarado, D. A., Swanson, K. S., & Holscher, H. D. (2022). The prebiotic potential of inulin-type fructans: a systematic review. *Advances in Nutrition*, *13*(2), 492-529.

Ibarguren, L. y Rebora, C. (2013). El cultivo de topinambur: generalidades sobre su ecofisiología y manejo. *Horticultura Argentina 32* (77), 35-41.

Iizuka, K., & Yabe, D. (2023). Dietary and nutritional guidelines for people with diabetes. *Nutrients*, *15*(20), 4314.

Judprasong K., Archeepsudcharit N., Chantapiriyapoon K., Tanaviyutpakdee P., Temviriyanukul P. (2016). Nutrients and natural toxic substances in commonly consumed Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tuber. *Food Chemistry 238*, 173-179. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.116

Kang, S. I., Han, J. I., Kim, K. Y., Oh, S. J., & Kim, S. I. (1993). Changes in soluble neutral carbohydrates composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers according to harvest date and storage temperature. *Applied Biological Chemistry*, *36*(4), 304-309.

Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *9*, 14-20. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.12.002

Kawai, K., Fukami, K., Thanatuksorn, P., Viriyarattanasak, C., & Kajiwara, K. (2011). Effects of moisture content, molecular weight, and crystallinity on the glass transition temperature of inulin. *Carbohydrate Polymers, 83*(2), 934-939.

Kosaric, N.; Cosentino, G. P.; Wieczorek, A. & Duvnjak, Z. (1984). Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass, 5*(1), 1-36. https://doi.org/10.1016/0144-4565(84)90066-0

Leyva-Porras, C., Saavedra–Leos, M. Z., López-Pablos, A. L., Soto-Guerrero, J. J., Toxqui-Terán, A., & Fozado-Quiroz, R. E. (2017). Chemical, thermal and physical characterization of inulin for its technological application based on the degree of polymerization. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(1), e12333.

Liu, Y., Li, Y., Zhang, W., Sun, M., & Zhang, Z. (2019). Hypoglycemic effect of inulin combined with ganoderma lucidum polysaccharides in T2DM rats. *Journal of Functional Foods*, *55*, 381-390. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.036

Mazza, G. (1984). Sorption isotherms and drying rates of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *Journal of Food Science*, *49*(2), 384-388. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12428.x

Nizioł-Łukaszewska, Z., Furman-Toczek, D., & Zagórska-Dziok, M. (2018). Antioxidant activity and cytotoxicity of Jerusalem artichoke tubers and leaves extract on HaCaT and BJ fibroblast cells. *Lipids in Health and Disease*, *17*(1), 280.

Organización Mundial de la Salud (2016). Informe Mundial sobre la diabetes. Resumen de orientación. World Health Organization 2016. WHO/NMH/NVI/16.3 Recuperado el 11 de febrero de 2026 de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204877/WHO_NMH_NVI_16.3_spa.pdf;jsessionid=1B2553FBCA86FCAF1244D4067A3E9F72?sequence=1

Organización Mundial de la Salud (14 de noviembre de 2024). *Diabetes*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes

Ostermann-Porcel, M. V., Rinaldoni, A. N., & Campderrós, M. E. (2022). Assessment of Jerusalem artichoke as a source for the production of gluten-free flour and fructan concentrate by ultrafiltration. *Applied Food Research*, *2*(2), 100201.

Panchev I., Delchev N., Kovacheva D., Slavov A. (2011). Physicochemical characteristics of inulins obtained from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *European Food Research and Technology, 233*, 889–896. DOI: 10.1007/s00217-011-1584-8

Qin, Y. Q., Wang, L. Y., Yang, X. Y., Xu, Y. J., Fan, G., Fan, Y. G., Ren, J. N., An, Q. & Li, X. (2023). Inulin: Properties and health benefits. *Food & function*, *14*(7), 2948-2968.

Rebora, C. 2008. Topinambur (*Helianthus tuberosus L.*): usos, cultivos y potencialidad en la región de cuyo. *Horticultura Argentina, 27*(63), 30-37.

Rebora, C.; Lelio, H.; Ibarguren, L. & Gómez, L. 2011. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) regado con aguas residuales urbanas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo 43*(2), 83-90.

Ritsema, T. y Smeekens, S. (2003). Fructans: Beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology, 6*(3), 223-230. DOI: 10.1016/s1369-5266(03)00034-7

Rodríguez, J. P. P., Flor, T. Y. A., & Gutiérrez, S. V. (2018). Viabilidad del uso de tubérculos como materia prima para la elaboración de galletas. *Espíritu Emprendedor TES*, *2*(1), 38-52.

Rossi R. y Chicahuala M.S. (2017). Evaluación productiva de topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) bajo diferentes densidades y fertilización en el semiárido central de la Argentina. *Horticultura Argentina 36*(90).

Rossi R., Chicahuala M., Comelli N. A., Mora D., Monasterio M., Costanzo M. M., Quiroga J. M. (2019). Differences of yield and inuline content in tubers of *Helianthus tuberosus L.* for two cultivars. *XXXVII Reunión Científica Anual de la Sociedad de Biología de Cuyo*. Sociedad de Biología de Cuyo, San Luis.

Rossini, F., Provenzano, M. E., Kuzmanović, L., & Ruggeri, R. (2019). Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.): A versatile and sustainable crop for renewable energy production in Europe. *Agronomy*, *9*(9), 528.

Rubel Irene (2015). *Estudio de las Propiedades físico-químicas, organolépticas y nutricionales de productos panificados desarrollados utilizando ingredientes no tradicionales con propiedades funcionales.* [Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Sur]. http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2695

Rubel, I. A., Iraporda, C., Novosad, R., Cabrera, F. A., Genovese, D. B., & Manrique, G. D. (2018). Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers and application of different drying methods. *Food Research International*, *103*, 226-233. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.10.041

Saengkanuk, A., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanothai, A., & Srijaranai, S. (2011). A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers. *European Food Research and Technology*, *233*, 609-616. DOI: 10.1007/s00217-011-1552-3

Saengthongpinit, W., & Sajjaanantakul, T. (2005). Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers. *Postharvest biology and Technology*, *37*(1), 93-100. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2005.03.004

Samal, L., Chaturvedi, V. B., Saikumar, G., Somvanshi, R., & Pattanaik, A. K. (2015). Prebiotic potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) in Wistar rats: effects of levels of supplementation on hindgut fermentation, intestinal morphology, blood metabolites and immune response. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(8), 1689-1696. DOI: 10.1002/jsfa.6873

Schorr-Galindo, S. & Guiraud, J. P. (1997). Sugar potential of different Jerusalem artichoke cultivars according to harvest. *Bioresource Technology, 60*(1), 15-20. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00175-7

Sennoi, R., & Puttha, R. (2021). Inulin content of Jerusalem artichoke ('Helianthus tuberosus L.' L.) tubers stored at 5 degreesC in a refrigerator for different durations. *Australian Journal of Crop Science*, *15*(12), 1395-1398.

Shariati, M. A., Khan, M. U., Hleba, L., de Souza, C. K., Tokhtarov, Z., Terentev, S., Konovalov S., Arduvanova F., Batishcheva N., Shigapov I., Ekaterina S. & Kantimerova, M. (2021). Topinambur (the Jerusalem artichoke): Nutritional value and its application in food products: An updated treatise. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences, 10*(6), e4737-e4737.

Shao, T., Gu, X., Zhu, T., Pan, X., Zhu, Y., Long, X., Shao, H., Liu M. & Rengel, Z. (2019). Industrial crop Jerusalem artichoke restored coastal saline soil quality by reducing salt and increasing diversity of bacterial community. *Applied Soil Ecology*, *138*, 195-206.

Shao, T., Liu, W., Yuan, P., Li, X., Xu, H., Liu, C., Chen, K., Li, L., Han, J. & Wang, G. (2021). Enhanced antitumor activity of inulin-capped Se nanoparticles synthesized using Jerusalem artichoke tubers. *Glycoconjugate Journal*, *38*(5), 599-607.

Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., ... & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate polymers*, *147*, 444-454.

Song, Y., Wi, S. G., Kim, H. M., & Bae, H. J. (2016). Cellulosic bioethanol production from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) using hydrogen peroxide-acetic acid (HPAC) pretreatment. *Bioresource technology*, *214*, 30-36.

Srinameb B., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanothai A. y Srijaranai S. (2015). Preparation of Inulin Powder from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) Tuber. *Plant Foods for Human Nutrition, 70*(2), 221-6. DOI: 10.1007/s11130-015-0480-y

Starovoytov, V., Starovoytova, O., Aldoshin, N., & Manohina, A. (2017). Jerusalem artichoke as a means of fields conservation. *Acta technologica* agriculturae, 20(1), 7-10. DOI: 10.1515/ata-2017-0002

Takeuchi, J., & Nagashima, T. (2011). Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry, 126*(3), 922-926. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080

Temkov M., Petkova N., Denev P. & Krastanov A. (2015). Characterization of inulin from *Helianthus tuberosus L.* obtained by different extraction methods – Comparative study. *Food Science, Engineering and Technology, 62*, 461 – 464.

Tiengtam, N., Khempaka, S., Paengkoum, P., & Boonanuntanasarn, S. (2015). Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus). *Animal Feed Science and Technology*, *207*, 120-129. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.05.008

Tungland B. (2018). Capítulo 8 – Nondigestible Fructans as Prebiotics. En Tungland B. *Human Microbiota in Health and Disease* (349-379). Academic Press.

Van Soest P. J., Robertson J. B., Lewis B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*, 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Vergara D. M., Gonzáles S. M. E. (2017). Ácidos grasos de cadena corta (ácido butírico) y patologías intestinales. *Nutrición Hospitalaria, 34*(4). http://dx.doi.org/10.20960/nh.1573

Viglizzo E.F. (1997). El agro, el clima y el agua en la La Pampa Semiárica: Revisando Paradigmas. INTA/CONICET.

Wang, Y., Zhao, Y., Xue, F., Nan, X., Wang, H., Hua, D., Liu, J., Yang, L. & Xiong, B. (2020). Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) as a neotype feed resource. *Animal Nutrition*, *6*(4), 429-437. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.09.001

Yin, P., Du, T., Yi, S., Zhang, C., Yu, L., Tian, F., Chen, W. & Zhai, Q. (2023). Response differences of gut microbiota in oligofructose and inulin are determined by the initial gut Bacteroides/Bifidobacterium ratios. *Food Research International*, *174*, 113598.

Yang L., He Q. S., Corscadden K., Udenigwe C.C. (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports, 5*, 77–88. DOI: 10.1016/j.btre.2014.12.004

Yuan X.Y., Cheng M.C., Gao M.Z., Zhuo R.J., Zhang L.X., Xiao H.B. (2013). Cytotoxic constituents from the leaves of Jerusalem artichoke *(Helianthus tuberosus L.*) and their structure–activity relationships. *Phytochemistry Letters, 6*, 21–25.

CAPÍTULO 2: FORMULACIÓN DE GALLETITAS SALUDABLES A PARTIR DE HARINA DE TOPINAMBUR (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*).

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ALIMENTOS FUNCIONALES

Se consideran como funcionales aquellos alimentos integrales, fortificados, enriquecidos o mejorados que proveen beneficios a la salud cuando se consumen en niveles eficaces como parte de una dieta diaria variada, más allá de su aporte de nutrientes esenciales, como por ejemplo, vitaminas y minerales. Sin embargo, para poder relacionar el consumo de un alimento funcional o ingredientes funcionales con beneficios a la salud, es necesario que los mismos estén soportados por evidencia científica significativa. Recientemente, los alimentos funcionales han ganado un creciente interés en el ámbito científico y público debido a su potencial para conferir beneficios fisiológicos que van más allá del valor nutricional básico (Fekete y col., 2025).

Esta tendencia tiene ya varios años gestándose. Durante la década de 1970 algunas enfermedades comenzaron a relacionarse con el exceso de alimentación, por lo que la "sobrenutrición" se volvió una gran preocupación para la salud pública. Se empezó a hacer énfasis en la importancia de dietas bajas en grasas saturadas, y con mayor aporte de vegetales, legumbres, frutas y granos integrales para reducir el riesgo de sufrir enfermedades crónicas, como las cardíacas, cerebrovasculares, cáncer, osteoporosis y diabetes. A su vez, empezaron a identificarse componentes de plantas y animales fisiológicamente activos, los mismos se denominan fitoquímicos y zooquímicos, respectivamente. Estos compuestos tienen el potencial de reducir el riesgo de algunas enfermedades crónicas. Pueden incorporarse en alimentos funcionales para incrementar su valor nutricional y sus beneficios a la salud (Siddiqui y col., 2024).

En el siglo XXI, uno de los mayores desafíos para la salud pública a nivel mundial es el aumento de casos de enfermedades no transmisibles (ENT), entre las que se encuentran las enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidad y algunos tipos de cáncer. Muchos factores relacionados con el estilo de vida, principalmente la alimentación, juegan un papel fundamental en el desarrollo de estas condiciones crónicas. En

consecuencia, el enfoque de la ciencia sobre la nutrición se ha ampliado más allá del sustento básico para abarcar aspectos hacia la prevención de enfermedades. En este contexto, el concepto de alimentos funcionales comprende un nexo entre los hábitos alimentarios tradicionales y la promoción de los beneficios a la salud (Fekete y col., 2025).

No existe una definición universalmente aceptada para este tipo de alimentos. El concepto surgió por primera vez en Japón en 1980 donde se desarrolló un sistema de regulaciones para aprobar determinados tipos de alimentos beneficiosos previamente documentados con la intención de mejorar la salud de su población. Posteriormente, el desarrollo de los alimentos funcionales se extendió al norte de Europa y a América del Norte, ganando popularidad (Lang, 2007).

Se han propuesto numerosas definiciones para esta relativamente novedosa categoría de alimentos. Básicamente, se definen los alimentos funcionales como cualquier alimento modificado, o ingrediente alimentario, que puede proveer un beneficio a la salud más allá de los nutrientes tradicionales que contiene. Si bien existen diferentes definiciones para este tipo de alimentos, hay un punto en común en el que las mismas coinciden: "pueden proporcionar beneficios a la salud más allá de la nutrición básica" (Khaneghah, 2018).

Debido a la falta de un concepto preciso sobre alimentos funcionales, Temple (2022) propuso la siguiente definición: "Son nuevos alimentos que han sido formulados de manera que contengan sustancias o microorganismos vivos con un posible valor para mejorar la salud o prevenir enfermedades, y en una concentración que sea segura y suficientemente alta para lograr el beneficio previsto. Los ingredientes añadidos pueden incluir nutrientes, fibra dietaria, fitoquímicos, otras sustancias, o probióticos".

Una dieta adecuada ayuda a reducir significativamente los factores de riesgo cardiovascular principalmente asociados a la prediabetes y la diabetes mellitus tipo 2 (Nachón y col., 2023). Numerosas investigaciones indican que el consumo de determinados alimentos, particularmente los de origen vegetal, pueden estar relacionados a una disminución del riesgo de enfermedades crónicas (Stanaway y col., 2022). Los institutos de investigación académica, gubernamental y privada a nivel global realizan un gran esfuerzo para identificar cómo los alimentos funcionales e ingredientes alimentarios pueden ayudar a prevenir enfermedades crónicas u optimizar

la salud, reduciendo así los costos en materia de salud y mejorando la calidad de vida de los consumidores.

Los alimentos funcionales proveen un gran número de beneficios a la salud al mejorar el funcionamiento del estómago e intestino grueso mediante la incorporación de prebióticos y probióticos como ingredientes funcionales.

Las bacterias probióticas, de acuerdo a la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), son las células microbianas vivas que tienen el potencial de brindar beneficios a la salud del consumidor cuando se ingieren en cantidad suficiente (Olveira, y González-Molero, 2016). Entre los aportes más importantes de estos microorganismos se destacan sus efectos antibacterianos, estabilización del balance microbiano intestinal, eliminación o reducción de agentes patógenos, mejora de tolerancia a la lactosa y del sistema inmunológico. Entre las bacterias benéficas más estudiadas se encuentran los lactobacilos y bifidobacterias. Los lactobacilos mejoran la salud intestinal, mejoran las defensas inmunológicas y atenúan los malestares digestivos. Las bifidobacterias, por su parte, ayudan a reducir la inflamación, protegen al intestino de agentes patógenos y contribuyen al balance inmunológico (Kaur, 2025).

Los prebióticos, por su parte, se definen como carbohidratos no digeribles que abandonan la porción superior del tracto intestinal digestivo (intestino delgado) y promueven la actividad y crecimiento de bacterias benéficas en el tramo inferior del intestino (colon) (Khaneghah, 2018). La mayoría de los estudios en prebióticos se enfocan en fructanos, tales como los galactooligosacáridos y fructooligosacáridos, como la inulina, que tienen la capacidad de fermentar y producir cambios en la composición y/o en la actividad de la flora intestinal, beneficiando la salud del individuo (Olveira, y González-Molero, 2016). Los alimentos con contenido de prebióticos, como la inulina u oligofructosa, contribuyen a la protección del intestino contra el estrés oxidativo. La inulina, mediante la producción de ácidos grasos de cadena corta, atenúa las reacciones de oxidación provenientes de especies reactivas del oxígeno y protege al intestino de los procesos inflamatorios mediante la estimulación de las defensas en contra de estas especies (Oniszczuk y col., 2021).

Por otra parte, hay productos alimenticios que contienen una matriz prebiótica como soporte para el crecimiento y desarrollo de microorganismos probióticos. Estos productos se denominan simbióticos.

En resumen, los alimentos funcionales poseen un gran potencial para favorecer la salud. Sus beneficios van más allá de lo nutricional y hoy en día los mismos son ampliamente estudiados en el campo de la tecnología de los alimentos.

A nivel nacional, se expresa el interés por el auge de este tipo de alimentos a partir del estudio panorámico de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva en su capítulo 5 (MINCyT, 2016) y de su inclusión en el plan Argentina Innovadora 2020 de MINCyT.

1.2 GALLETITAS COMO ALIMENTOS FUNCIONALES

Los productos panificados, al admitir la incorporación de diversos ingredientes como fibras, prebióticos, probióticos, ácidos grasos de cadena corta y antioxidantes, son una alternativa interesante para formular alimentos funcionales.

Dentro de la producción de panadería y repostería, el desarrollo de productos alimenticios con harinas compuestas se ha incrementado y es el centro de atención entre los investigadores. Este tipo de alimentos se define como una mezcla de harinas, almidones y otros ingredientes con la intención de reemplazar total o parcialmente el uso de harina de trigo en productos panificados (Hasmadi y col., 2020). Se ha encontrado que la harina compuesta utilizada para la producción de alimentos tiene la capacidad de conservar las mismas características de los productos elaborados a partir de trigo. Los efectos positivos del uso de este tipo de mezclas se evidencian en las propiedades funcionales y fisicoquímicas, así como en los beneficios para la salud que aporta el alimento en cuestión. Las harinas compuestas contienen productos alimenticios no tradicionales como base para la producción de alimentos con diferentes características y cualidades, suelen utilizarse para la producción de panes fermentados, productos de panadería sin levaduras, pastas, snacks, entre otros (Chandra y col., 2015).

Las principales ventajas del uso de las harinas compuestas se relacionan con factores nutricionales y económicos (Chandra y col., 2015). El incremento en el número de aplicaciones de estas mezclas en panadería y pastelería ha estimulado un creciente número de estudios sobre los efectos de diferentes tipos de materiales utilizados para producir harinas, en cuanto a sus propiedades funcionales y fisicoquímicas. Estas harinas resultan de la mezcla de dos o más variedades diferentes de harinas, generalmente harina de trigo mezclada con otras harinas provenientes de diferentes

cultivos autóctonos como cereales, legumbres, tubérculos y pseudocereales. Esta diversificación de ingredientes puede mejorar el perfil nutricional mediante la incorporación de fibra dietaria, proteínas, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos, como fenoles y flavonoides, en la dieta (Olamiti y Ramashia, 2025). Cuando se utilizan harinas compuestas, es deseable lograr características similares a las obtenidas con productos elaborados a partir de harina de trigo. Se puede concluir que las harinas compuestas muestran un gran potencial como aditivos funcionales en productos de panadería en cuanto a su contribución en las propiedades nutricionales de alimentos panificados y al uso de otros cultivos nativos no convencionales.

En este contexto de incorporación de harinas alternativas, o no convencionales, las galletitas son una opción muy apropiada dentro del campo de los productos panificados. Este producto horneado de gran popularidad ha sido ampliamente estudiado y modificado mediante la incorporación de harinas compuestas a fin de lograr las características deseadas en cuanto a sus propiedades físicas, funcionales y nutricionales (Mamat y col., 2025). Son los productos horneados más consumidos por todos los sectores de la sociedad a nivel mundial (Goswami y col., 2015). Particularmente, en Argentina, el consumo de galletitas se calcula en 11 kg por persona por año, siendo uno de los productos más populares de la canasta familiar (Ámbito, 2024). Las principales razones para la popularidad de estos alimentos son su capacidad de incorporación de ingredientes con buenas propiedades nutricionales y amplia disponibilidad en diversas formas.

Sin embargo, la mayoría de las galletitas presentes en el mercado actual proporcionan un elevado contenido calórico (Goswami y col., 2015). Las enfermedades crónicas relacionadas con la alimentación y la malnutrición abren la puerta al concepto de nuevas técnicas de procesado de alimentos, en las cuales las harinas compuestas consisten en una solución efectiva. Al enriquecer la harina de trigo con ingredientes funcionales como tubérculos (Sibian & Riar, 2020) se puede reducir el riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la dieta y alergias, debido a la incorporación de una variedad de compuestos bioactivos, como ácidos grasos omega-3, antioxidantes, probióticos, prebióticos y fitoquímicos (Obayomi y col., 2024). Se ha demostrado que la utilización de diversas harinas puede mejorar la calidad nutricional de un producto (Sibian & Riar, 2020).

Entre las ventajas de la producción de galletitas se puede mencionar el proceso de elaboración de estos snacks, que es simple, y además estos alimentos poseen una larga vida útil y tienen el potencial de contener componentes alimentarios de elevado valor nutricional. A su vez, la adición del tubérculo topinambur (*Helianthus tuberosus L.*), con elevado contenido de inulina, a productos a base de cereales puede ser una forma eficaz de mejorar sus propiedades nutricionales.

En este contexto de necesidad de alimentos de elevado aporte nutricional, y la gran demanda del público en general por las galletitas, se plantea la elaboración de este tipo de productos, reemplazando una cantidad considerable de harina de trigo por HTPB (Harina de Topinambur de Piel Blanca) para la elaboración de un alimento funcional apto para personas con diabetes.

Las galletitas se encuentran definidas en el art. 760 del Capítulo IX del Código Alimentario Argentino (CAA) (CAA, 2025). Consiste en un grupo amplio y variado, pueden estar elaboradas con harina de trigo u otras mezclas, leudantes y pueden adicionarse varios ingredientes que se listan en dicho artículo, así como en el art. 760 bis.

1.2.1 INGREDIENTES DE GALLETAS

Entre algunos de los ingredientes que se utilizan en la elaboración de galletitas podemos encontrar:

Harina de trigo

La harina de trigo es la más frecuentemente usada en la elaboración de galletitas, pero su calidad proteínica es inferior al resto de los cereales, con pobre aporte en los aminoácidos lisina, metionina y treonina (Goubgou y col., 2021). Es posible incorporar harina de trigo integral (HTI) en las formulaciones ya que ofrece mayores beneficios a la salud, en comparación a la harina refinada, por ejemplo, aporta mayor contenido de fibra dietaria, micronutrientes y fitoquímicos, ya que retiene los componentes del salvado y germen del grano que se concentran en el exterior del grano (Hou y col., 2024). El consumo de alimentos integrales se ha relacionado con un menor riesgo de

enfermedades cardiovasculares, enfermedades inflamatorias del colon e hipertensión (Ndanuko y col., 2016).

Huevo

El huevo es un ingrediente esencial en muchos productos horneados debido a su aporte a la estructura, apariencia, textura y sabor que logra en el alimento final. Es un agente aglutinante natural y aumenta la viscosidad en las masas. La yema aporta lecitina, un emulsionante, que otorga al producto horneado buena palatabilidad, sensación y textura en la boca. También contribuye con el sabor y el color, debido a las reacciones de Maillard entre los aminoácidos y los azúcares reductores (Sahi, 2016).

Aceite de maíz

El aceite de maíz contiene baja cantidad de ácidos grasos saturados (AGS) y alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). En los productos horneados, la materia grasa contribuye a lograr productos con texturas deseables, en particular en las galletitas, ayuda a la palatabilidad del producto, su sensación en boca, textura, color, sabor y apariencia general. En resumen, la incorporación de materia grasa en galletas ayuda a mejorar su calidad (Zbikowska y col., 2022; Blanco Canalis y col., 2018).

Agua

La calidad del agua posee un gran impacto sobre los productos y las operaciones en los sistemas de producción de alimentos. Frecuentemente se subestima la importancia de la calidad del agua en la producción de alimentos. Esta subestimación es generalmente la causa principal de varios problemas como seguridad alimentaria y calidad de los productos finales (Bhagwat, 2019).

Levadura

Desde hace aproximadamente 2000 años es ampliamente conocida la aplicación de las levaduras en la fermentación alcohólica y la industria panadera. Los microorganismos que componen las levaduras son una fuente de nuevos ingredientes nutritivos y aditivos de excelentes propiedades funcionales y nutricionales. En la actualidad ha aumentado su relevancia, con el empleo de innovadoras técnicas de elaboración y fraccionamiento principalmente aportadas por la biotecnología. Durante la fermentación, las levaduras liberan gases. Los mismos se disuelven en la fase acuosa, hasta que la misma se satura con dióxido de carbono. Una vez alcanzado este punto de saturación, el dióxido

producido se difunde en la fase gaseosa insaturada incrementando el volumen del producto panificado. Generalmente, las levaduras se utilizan con este fin pero, a su vez, la fermentación brinda a los productos de panadería la mayoría de sus compuestos aromáticos característicos, que representan un importante parámetro de calidad en este tipo de alimentos (Heitmann y col., 2017).

Goma xántica

La goma xántica se utiliza debido a sus cualidades emulsionantes y reológicas para aumentar la viscosidad y estabilidad en masas. Entre sus propiedades más importantes se destacan su elevada solubilidad, viscosidad, naturaleza emulsionante, estabilidad térmica y resistencia a variaciones de pH (Chaturvedi y col., 2021).

Cremor tártaro

El cremor tártaro se utiliza como agente leudante ayudando a la masa a incrementar su volumen mediante la liberación del dióxido de carbono proveniente del polvo de hornear o leudante químico. Este comportamiento imparte características específicas al producto final. La cantidad y tipo de agentes de fermentación a utilizar en la elaboración de galletas tiene influencia sobre algunos de sus atributos, como sabor, propiedades texturales, color y aromas (Canali y col., 2020).

Bicarbonato de sodio

El bicarbonato de sodio, junto al crémor tártaro, contribuye al levado de la masa, especialmente de aquellas que no poseen la suficiente elasticidad como para retener las burbujas en su estructura por más de pocos minutos. Este tipo de agentes está compuesto principalmente por sales inorgánicas y son ingredientes importantes en la formulación de galletas. En particular, los agentes leudantes químicos tienen amplio uso en los productos panificados (Canali y col., 2020).

Sal

La incorporación de sal en alimentos puede atribuirse a tres grandes factores: preservación, propiedades de procesamiento y mejora de su percepción sensorial. Actualmente, su uso se debe principalmente a que es necesaria para el procesamiento de ciertos productos y por sus propiedades sensoriales únicas. El contenido de sal en galletas tiene el potencial de influir principalmente sobre su humedad y textura (Ayed y col., 2021).

1.2.2 HARINA DE AMARANTO

Como se mencionó anteriormente, es posible incorporar ingredientes no convencionales en la formulación de productos panificados con el objetivo de mejorar su perfil nutricional. Actualmente se ha centrado la atención en nuevas materias primas con mejores propiedades nutritivas y funcionales para ser añadidas en los alimentos a base de cereales (León y col., 2022). Por ejemplo, harinas a base de antiguos cereales de poco uso (como mijo, sorgo, espelta, farro, escanda, kamut, entre otros), de pseudo-cereales (como amaranto, trigo sarraceno, quinoa y kanawa) y leguminosas (como arvejas, alubias, lentejas, soja, entre otras) (Sharma y col., 2022).

Particularmente, entre las harinas provenientes de pseudo-cereales, es posible destacar el uso de amaranto en la incorporación de productos panificados. Esto se debe a que el amaranto es una fuente de proteínas no convencional, la composición de sus aminoácidos es bien balanceada, con alto contenido de aminoácidos esenciales y, a su vez, elevada biodisponibilidad. También contiene aceites insaturados, fibra dietaria, tocoferoles, tocotrienoles, compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas y minerales (López y col., 2019). En comparación a otros granos, el amaranto posee gran cantidad de proteína, fibra dietaria, calcio, hierro y magnesio (Soriano-García y Aguirre-Díaz, 2019).

La harina de amaranto puede ser utilizada como reemplazo de trigo en la producción de pastas, fideos, cereales para el desayuno, pan, galletas, panqueques, entre otros (Olawoye y Gbadamosi, 2020). De acuerdo con estudios realizados por Tanimola y col. (2016) y Singh y Punia (2020), las semillas de amaranto contienen cerca de 14,7% de proteínas; un 5,80% de grasas, con elevado contenido de ácidos grasos insaturados; un 2% de cenizas y un contenido de carbohidratos totales entre 61,43 y 71% de carbohidratos totales. Con respecto a su contenido de minerales, presentan zinc (6,27 mg/100 g), manganeso (5,96 mg/100 g) magnesio (18,23 mg/100 g), cinco veces más hierro que el trigo (11 mg/100 g) y mayor concentración de calcio que la leche (33,29 mg/100 g). El principal atractivo del uso de semillas de amaranto es su contenido de aminoácidos esenciales como lisina, vitaminas, minerales y fitoquímicos en comparación con harina de trigo. Además, el amaranto es más rico en ácido fólico y Vitamina C que la mayoría de los cereales. Es alto en tocoferol, tiamina, riboflavina y piridoxina. Otras de sus ventajas consisten en que este pseudo-cereal puede sobrevivir

en ambientes hostiles, madura más rápido que muchos cereales, raíces y tubérculos y crece durante todo el año (Ayeni y col. 2024).

Algunos autores han concluido que incorporar harina de amaranto en galletitas permite un aumento significativo en los valores de proteínas, fibra cruda y cenizas, respecto de los controles con 100% trigo, pero que se modifican algunas características organolépticas como aroma, sabor y color (Ayeni y col., 2024; Zlatev y col., 2022,; Karki, 2016). De todas formas, los autores concluyen que es posible elaborar galletas adecuando el contenido de amaranto y obtener propiedades comparables a galletas elaboradas con harina de trigo. De esta manera es evidente que una incorporación de harina de amaranto en galletas puede relacionarse directamente con una mejora de su perfil nutricional y por lo tanto es un ingrediente de gran atractivo a la hora de elaborar este tipo de alimentos.

1.3 FORMULACIÓN

Con el objetivo lograr una buena calidad en el producto obtenido, es necesario determinar una proporción óptima de mezcla de ingredientes y técnicas de cocción. Se requiere de mucho esfuerzo para lograr la optimización de la mezcla de harina compuesta utilizada para cualquier producto de panadería. Se utilizan superficies de respuesta para combinar diferentes tipos de ingredientes, y poder maximizar la calidad en la composición del producto alimenticio. En cuanto a la técnica de horneado, es importante tomar en cuenta la variación de agentes estructurales tales como hidrocoloides, emulsificantes, proteínas, enzimas, almidones, grasas y aceites, entre otros. De esta manera, es posible desarrollar nuevos productos alimenticios, en base a la información existente y a la obtenida de manera experimental mediante un análisis sistemático del proceso, los ingredientes involucrados y los factores que afectan al producto final. Por ejemplo, el análisis del efecto de variables como temperatura, hidratación, tipos de harinas, entre otras, sobre la calidad del alimento elaborado (Akkozha y col., 2023).

1.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y SUPERFICIES DE RESPUESTA

El diseño multivariado de experimentos (DME) y la optimización de los procesos utilizando la metodología de superficies de respuesta (MSR) son sumamente importantes en diversas aplicaciones. Su implementación conlleva una disminución en el tiempo de trabajo y requiere de menores esfuerzos, así como recursos, que el uso de procedimientos univariados para propósitos similares (Goicoechea, 2018). La aplicación de estas herramientas permite la recolección de información valiosa y, a su vez, minimiza la cantidad de experimentos realizados, probando ser útil para el desarrollo, mejora y optimización de una gran variedad de procesos (Myers y Montgomery, 2016).

Para implementar DME y MSR se debe seguir una serie de pasos, como se indica a continuación (Goicoechea, 2018):

1. Identificación de las respuestas influenciadas por variables controladas y sin controlar.
2. Estudio de cribado, en el cual se cuenta con un considerable número inicial de factores con potencial capacidad de influenciar en una o varias respuestas. Los mismos se reducen mediante el uso de diseños de cribado, y se someten a evaluación estadística (principalmente ANOVA o análisis de varianza).
3. Construcción de la superficie de respuesta, en donde se ven reflejados los datos obtenidos. Este modelo se realiza por lo general mediante técnicas de reducción de varianza, tales como muestreo relevante o de importancia, la simulación direccional y el muestreo de hipercubos latinos (Song y Kawai, 2023).
4. En el caso de tener gran cantidad de respuestas involucradas, deben optimizarse en forma simultánea siguiendo un criterio apropiado.

Existen dos estrategias diferentes que pueden implementarse para el paso de optimización, el enfoque univariado y el multivariado. En el primer caso, se toma un factor como variable dejando al resto constante, y no se tienen en cuenta las interacciones entre factores. En el enfoque multivariado, se realiza el estudio de varios factores en simultáneo con un número pre definido de experimentos, modificando al mismo tiempo los niveles de todos los factores involucrados en el proceso.

1.3.1.1 VARIABLES DE RESPUESTA

El proceso puede ser afectado por variables con y sin controlar, y sus efectos pueden observarse como variaciones en una o varias respuestas. Como se mencionó anteriormente, el primer paso para la implementación de DME y MSR es la selección de una o más variables que pueden proveer la información necesaria durante la evaluación del proceso, y que serán sometidas a la optimización. Esta variable se denomina respuesta y, dependiendo del objetivo que se persigue, puede ser necesario realizar el estudio de más de una respuesta. Si ese es el caso, se nombra como optimización de múltiples respuestas.

1.3.1.2 FACTORES Y SUS NIVELES – DISEÑO DE CRIBADO (SCREENIN DESIGN)

El segundo paso consiste en una cuidadosa detección y examinación de todos los factores que puedan afectar al proceso, y de aquellos con los cuales el experimentador pueda implementar modificaciones. En sí, los factores pueden dividirse en cuantitativos, cualitativos y relacionados con mezclas.

Se realizan experimentos de cribado para determinar las variables experimentales e interacciones que poseen una influencia significativa en una o más respuestas, y así disminuir el número de factores a tener en cuenta. En los diseños de cribado, generalmente se examinan los factores en dos niveles (-1, +1). El rango entre los niveles es el mayor intervalo en el cual el factor puede variar dentro del sistema bajo estudio, y se selecciona en base a información bibliográfica o conocimientos previos (Goicoechea, 2018).

Los diseños completo factorial, fraccional y de Plackett-Burman con dos niveles de cada factor (k), son los más utilizados para la selección de factores debido a sus ventajas económicas y de eficiencia. En particular, el diseño fraccional factorial es el que se utiliza más comúnmente para cribado. El mismo permite realizar la evaluación de un gran número de factores con pocos experimentos, mediante el fraccionamiento de un diseño factorial completo 2^k en uno 2^{k-p}, donde p representa el número de generadores p de diseño independiente elegidos para fraccionar el mismo. Por ejemplo, si se desean examinar cinco factores, es posible un diseño factorial de media fracción con 2^{5-1}=16

experimentos, o un diseño factorial de un cuarto de fracción con 2^{5-2}=8 experimentos. En la siguiente figura se muestra el espacio experimental de un diseño factorial completo 2^3 (A) y uno fraccional factorial 2^{3-1} (B), en donde se involucran 8 y 4 experimentos, respectivamente (Fig. 2.1).

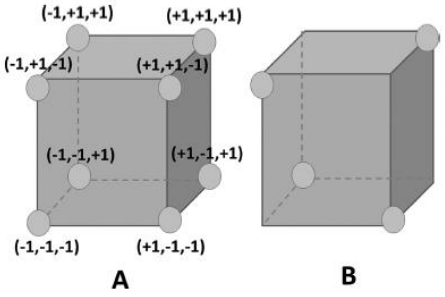


Fig. 2.1. Representación de (A) diseño factorial completo 2^3 y (B) diseño fraccional factorial 2^{3-1}. Ambos de 3 factores (Goicoechea, 2018).

1.3.1.3 DISEÑOS PARA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA

Existen diversos diseños disponibles para su implementación cuando se necesita modelar una superficie de respuesta de segundo orden. El experimentador se encarga de seleccionar el diseño apropiado. Se deben tener en cuenta diferentes criterios, como la necesidad de realizar un número reducido de experimentos, las zonas prohibidas en la región experimental, la confianza en los parámetros a ajustar, entre otros (Goicoechea, 2018).

- Diseño factorial completo (DFC): es una extensión del factorial completo 2^k representado anteriormente.
- Diseño central compuesto (DCC): es uno de los más utilizados. Se construye a dos niveles (-1 y +1), un punto de diseño factorial (Fp), puntos axiales o "estrella" (Sp) y puntos centrales (Cp), con todos los factores en cero.
- Diseño Box-Behnken (DBB): el número de experimentos para este diseño es igual a 2k(k – 1) + Cp. El mismo requiere de menor (o igual) número de experimentos que los dos previamente mencionados.
- Diseño de centroide de mezcla simplex: se utiliza en los casos en los cuales los factores analizados son los componentes de una mezcla, por lo que, sus niveles son dependientes entre sí. Los diseños de mezclas permiten estudiar los efectos

en los cambios de la relación entre variables. Su dominio consiste en una figura regular con tantos vértices como componentes, en un espacio para el cual la dimensión está dada por el número de componentes menos uno. Por ejemplo, para tres componentes la figura es un triángulo y cada lado representa una mezcla binaria. Los puntos internos corresponden a mezclas ternarias. Estos diseños se aumentan normalmente con puntos adicionales en el interior de la región experimental. Debe recalcarse que los modelos usados en los diseños de mezcla difieren de los polinomios usados en superficies de respuesta para variables independientes. Para este caso, existen polinomios de Scheffé, que pueden ser lineales, cuadráticos, cúbicos completos y especiales (Goicoechea, 2018; Patel y col., 2017).

A continuación se observan los esquemas de los espacios experimentales para los diferentes tipos de diseños mencionados (Fig. 2.2).

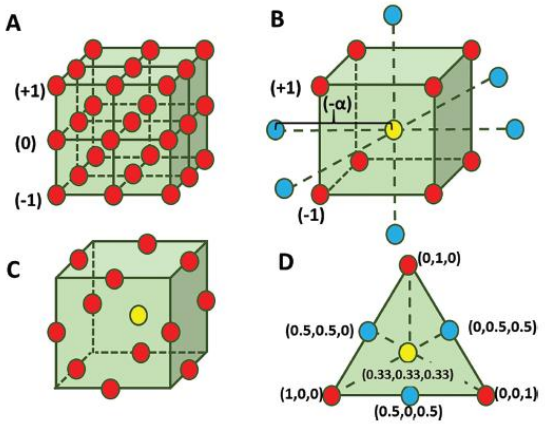


Fig. 2.2. Representación esquemática de (A) Diseño factorial completo, (B) Diseño central compuesto, (C) Diseño de Box-Behnken y (D) Diseño de centroide de mezcla simplex. Todos con tres factores (Goicoechea, 2018).

1.3.1.4 MODELADO DE MINIMOS CUADRADOS (MC)
CRIBADO

Los diseños de cribado se utilizan para filtrar un gran número de procesos o parámetros de diseño a fin de identificar los parámetros más importantes que tendrán un impacto significativo en el rendimiento del proceso. En primer lugar, deben identificarse los parámetros clave. Posteriormente se realizan experimentos con parámetros para

comprender y analizar la naturaleza de las interacciones entre ellos mediante la aplicación de diseños factoriales y métodos de superficie de respuesta. Este procedimiento involucra el desarrollo de test estadísticos, remoción de variables poco significativas del modelo inicial, y el análisis de residuos para evaluar la eficiencia del modelo. El diseño de Plackett-Burman permite evaluar un gran número de parámetros de proceso/diseño en un número mínimo de ensayos (Antony, 2023).

El efecto de un factor en una respuesta se estima como la diferencia entre la respuesta promedio de los experimentos con signo positivo y la respuesta promedio de los experimentos de signo negativo ($b_{1\text{-}2}$). Este valor está relacionado con los coeficientes del modelo estimado. La respuesta (y) puede describirse, para un cribado factorial experimental de dos factores (x_1 y x_2), con el modelo de regresión (Ec. 2.1).

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1-2}x_1x_2 + e \text{ (Ec. 2.1)}$$

Donde b_0 es el efecto medio global, b_1 y b_2 representan los efectos de los factores x_1 y x_2, b_1 es el efecto de la interacción entre ambos factores, y *e* es el error aleatorio de dos componentes, que representa otras fuentes de variabilidad que no se ven reflejadas en el modelo.

Los factores seleccionados de cualquier análisis gráfico deben ser examinados por ANOVA (Análisis de Varianza) (Goicoechea, 2018).

MODELADO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Una vez realizados los experimentos y recolectados los datos pertinentes, se puede construir un modelo matemático para cada respuesta ajustando una función polinómica de segundo (o mayor) orden. La respuesta (y) en un experimento de metodología de superficie de respuesta (MSR) para dos factores (x_1 y x_2), pueden describirse mediante el modelo de regresión (Ec. 2.2).

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1-2}x_1x_2 + b_{1-1}{x_1}^2 + b_{2-2}{x_2}^2 + e \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

Donde b_0, b_1, b_2, $b_{1\text{-}2}$ y e son similares a la Ecuación 2.1, y $b_{1\text{-}1}$ y $b_{2\text{-}2}$ corresponden a los términos cuadráticos.

Generalmente, solo se tienen en cuenta interacciones de segundo orden ya que las de mayor orden no son significativas y pueden ser confundidas con los efectos principales. La significancia de los coeficientes también debe testearse con ANOVA.

El modelo ajustado debe ser capaz de describir adecuadamente el comportamiento de los datos para poder realizar predicciones estadísticas. En el caso donde solo se optimizan dos factores, MSR genera una vista gráfica del sistema, ya que la respuesta puede representarse como una superficie sólida en un espacio tridimensional. En el caso de optimizar más de dos factores, la representación gráfica se realiza para dos de los mismos, manteniendo los otros en valores constantes. Por otra parte, las zonas de contorno consisten en líneas de respuesta constante, correspondiente a una altura específica de la superficie de respuesta.

El modelo puede considerarse como satisfactorio cuando la regresión es significativa ($p<0,05$) y se obtiene una falta de ajuste insignificante ($p>0,05$) para un nivel de significancia del 95%, respectivamente (Goicochea, 2018).

OPTIMIZACIÓN

La representación gráfica del modelo provee una forma adecuada de encontrar el punto óptimo, como puede ser un máximo, un mínimo, un objetivo, o una región de interés. Existen dos tipos de gráficos que pueden ser de ayuda: las superficies de respuesta en espacio tridimensional (Fig. 2.3 A) y los gráficos de contornos (Fig. 2.3 B), que representan la proyección de la superficie en un plano como líneas de respuesta constante, donde cada una de las mismas se corresponden a una altura específica de la superficie. Debe destacarse que en ambos tipos de gráficos la respuesta se representa como una función de dos factores. De acuerdo con el criterio de optimización establecido, el óptimo puede encontrarse mediante visualización de los mencionados gráficos (Goicoechea, 2018).

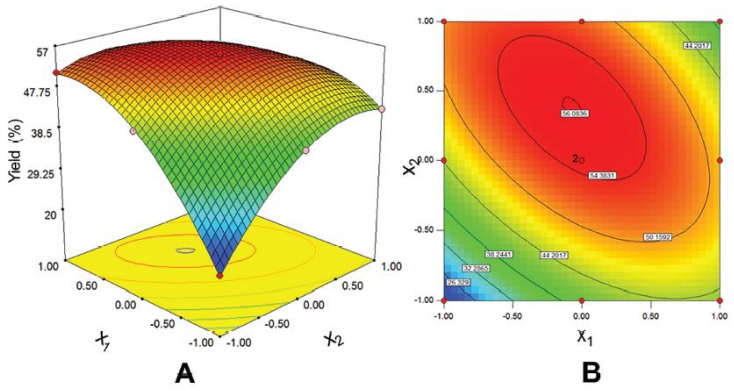


Fig. 2.3. Superficie de respuesta (A) y la zona de contorno (B), correspondientes de la respuesta (%) de rendimiento de una reacción química (Moras y col., 2017).

El diseño experimental y la posterior optimización del mismo se realizan con la finalidad de obtener una formulación de considerable aceptabilidad. Para esto se evaluarán los parámetros texturales del alimento en cuestión.

1.4 PARÁMETROS TEXTURALES

El análisis de textura consiste en una técnica ampliamente establecida en la industria alimentaria para evaluar las propiedades mecánicas y características físicas tanto de ingredientes crudos como de productos terminados. La textura de productos alimenticios influye significativamente en las preferencias de los consumidores y representa un atributo de múltiples parámetros que describe la calidad de los alimentos, en conjunto con el sabor, aspecto y propiedades nutricionales. Este atributo hace referencia a la percepción sensorial de las características físicas de un alimento en la boca. Puede definirse con términos como “duro”, “suave”, “cremoso”, “crujiente”, entre otros. Estos descriptores están vinculados a propiedades físicas como la densidad, dureza y consistencia. Históricamente, la textura ha sido considerada parte de los atributos sensoriales relacionados con la apariencia en sistemas de puntuación de calidad. Estas características, que pueden definirse como firmeza, deformación, consistencia, se denominan cinestésicos. Los mismos están asociados con el sentido del tacto y hacen referencia a la resistencia del producto a las fuerzas aplicadas durante la masticación en boca o mediante la manipulación física (Pădureţ, 2025). En el desarrollo del presente trabajo se caracteriza el producto alimentario obtenido mediante la

aplicación de dos ensayos de textura: Análisis de Perfil de Textura (APT) para las masas crudas y el Test de Ruptura de tres puntos para las galletitas horneadas.

1.4.1 ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (APT)

El análisis de perfil de textura es un método ampliamente conocido utilizado en la ciencia de los alimentos para determinar propiedades mecánicas. Consiste en un test de doble compresión que consta de dos ciclos de carga y descarga para simular una masticación, obteniendo una curva de fuerza frente a tiempo (Fig. 2.4). Los datos obtenidos en esta prueba pueden utilizarse para extraer una variedad de parámetros texturales como dureza, cohesividad, elasticidad, resiliencia, masticabilidad, que brindan información sobre la experiencia sensorial del alimento (Paredes y col., 2022). En forma general, los parámetros de textura suelen tener correlación con las pruebas sensoriales. Sin embargo, las dimensiones de la muestra y las tasas de carga utilizadas varían según el estudio realizado (Dunne y col., 2025).

Mediante esta doble compresión se obtiene una curva de fuerza frente a tiempo (Fig. 2.4). A partir del gráfico se extrae la dureza (N) como la fuerza máxima (F) registrada durante el primer ciclo de compresión; con las áreas del primer y segundo ciclo (A1 y A2) la cohesividad (adimensional) como el cociente de ellas (A2/A1); la adhesividad (N×s) corresponde al valor absoluto del área negativa luego del primer ciclo (A3), la elasticidad (adimensional) como la relación de las distancias recorridas hasta llegar al máximo de cada pico (D2/D1) y la masticabilidad se calcula como el producto de la dureza, cohesividad y elasticidad (Torres-Salas y col., 2023).

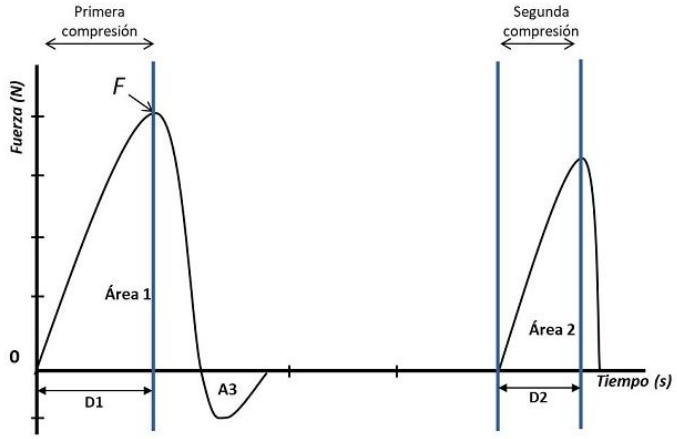


Fig. 2.4. Gráfico de Fuerza vs Distancia recorrida por la sonda. Curva de TPA obtenida a partir de dos ciclos completos de compresión-descompresión. Dureza = F (N); adhesividad = A3 (N·s), cohesividad = A2/A1 (adimensional), elasticidad = D1/D2 (adimensional) y masticabilidad = dureza × cohesividad × elasticidad (N) (Torres-Salas y col., 2023).

1.4.2 TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS

Este test simula la fuerza que deben ejercer los dientes para morder y fracturar una muestra. Permite medir la capacidad de un material de resistir la deformación bajo presión. La fuerza de flexibilidad representa el mayor valor de estrés experimentado por el material en el momento de su ruptura.

Este tipo de test se realiza sobre una muestra con sección transversal plana o rectangular ubicada en sus extremos sobre dos soportes de apoyo paralelos. La fuerza de carga aplicada por la sonda correspondiente se realiza en el centro de la muestra. De esta manera, el alimento posee tres puntos de contacto, dos con los soportes y uno con la sonda (Fig. 2.5).

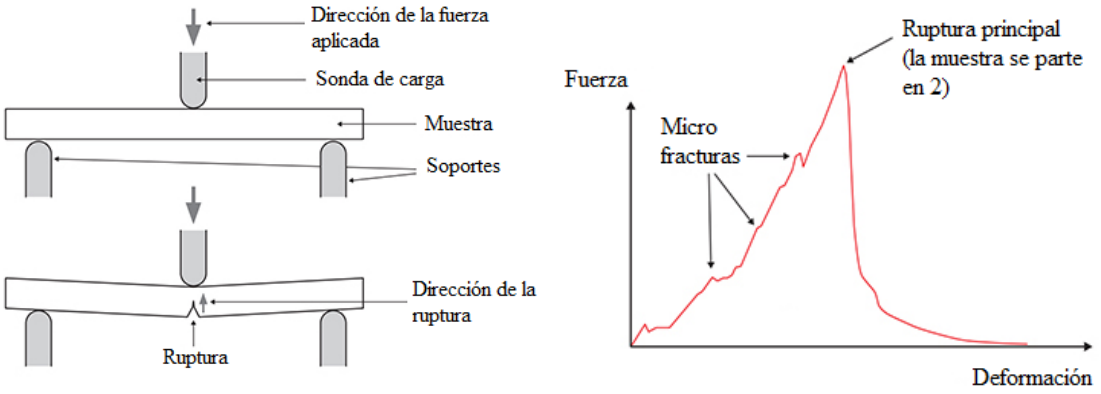


Fig. 2.5. Esquema de Test de ruptura de tres puntos. Izq.: representación del test. Der.: gráfico obtenido de Fuerza vs Deformación (Texture Analysis Professionals, 2017).

De acuerdo con la teoría de la flexión de vigas rectas, el lado cóncavo está en compresión y el lado convexo se encuentra en tensión durante la flexión; a mitad de camino entre los mismos hay un plano, que no está en compresión ni en tensión, conocido como plano neutro. Se ejercen tensiones y flexiones máximas en el centro de la superficie superior e inferior de la muestra. Al doblarse, la muestra acumula energía de deformación, que se disipa en el punto de fractura mediante la formación de grietas (Texture Analysis Professionals, 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Formular galletas saludables, utilizando un diseño de mezclas de harinas de topinambur, trigo integral y amaranto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la metodología de superficies de respuesta y un diseño de mezcla simplex para formular galletas, considerando diferentes proporciones de Harina

de Topinambur de Piel Blanca (HTPB), Harina de Trigo Integral (HTI) y Harina de Amaranto (HA).

- Evaluar las propiedades texturales de los productos elaborados.
- Optimizar el diseño experimental en base a las propiedades texturales de las galletas elaboradas.
- Establecer los tiempos óptimos de cocción de manera de obtener características texturales comparables con productos comerciales.
- Caracterizar los productos obtenidos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente Capítulo se describen las experiencias realizadas para la elaboración de galletitas saludables a partir de Harina de Topinambur de Piel Blanca (HTPB), Harina de Trigo Integral (HTI) y Harina de Amaranto (HA), empleando un diseño experimental de centroide de mezcla simplex.

Como parte de experiencias exploratorias, en las cuales se comenzó a probar algunas variantes a la hora de formular galletas con contenido de harina de topinambur, se realizaron experimentos que incluyeron formulaciones dulces y saladas, con edulcorante (edulcorante stevia, Hileret), incorporación de esencias (de vainilla (Alicante) y de almendras (El Castillo)), incorporación de diversas fuentes de materia grasa (aceite de oliva virgen extra clásico (Natura), margarina (Dánica) y aceite de maíz (Mazola)), agentes leudantes (leudantes químicos, levadura fresca y masa madre), con harina de trigo integral (Pureza) y harina 000 (Morixe). Se realizaron diversos ensayos y análisis sensoriales con los integrantes del Proyecto de Investigación, que tienen mayor tolerancia al sabor característico del topinambur que el público en general.

Las galletas endulzadas con edulcorante y esencias presentaron baja aceptación sensorial, especialmente en cuanto a su sabor, ya que el retrogusto propio del edulcorante (Savaliya y col., 2023) potenció el sabor intenso del tubérculo y, por otro lado, las esencias resultaron muy suaves como para contrarrestar el sabor del topinambur. Por este motivo se decidió no seguir adelante con la formulación de galletas dulces en este trabajo y limitarse a formulaciones saladas. En cuanto a la

materia grasa, se optó por utilizar aceite de maíz ya que, si bien el aceite de oliva presenta mayor estabilidad térmica (Vaskova y Buckova, 2015), encarece considerablemente la elaboración del producto final. Por otra parte, se descartó el uso de margarina en la formulación de galletas ya que las grasas trans que se forman durante la hidrogenación de aceites se han relacionado con enfermedades cardiovasculares (Souad, 2024), y debido a que se busca formular galletas beneficiosas para la salud se decidió no optar por este tipo de materia grasa. Por otra parte, según Tarancón y col. (2015) las grasas insaturadas permitirían mejorar la percepción del sabor de las galletas.

Finalmente, se realizaron numerosas experiencias con masa madre de harina de trigo integral (Pureza, Molinos Cañuelas, Buenos Aires, Argentina) y 000 (Morixe, Morixe Hnos., Buenos Aires, Argentina) (Costanzo y col., 2019a), se observó una textura similar para galletas hechas con los diferentes tipos de masa madre probados: 100% trigo integral y mezcla en iguales proporciones de trigo integral con harina 000. Sin embargo, la incorporación de masa madre en la formulación de galletas representó un desafío extra ya que el proceso de activación y fermentación en este tipo de levaduras presenta mucha variabilidad con factores como absorción de agua, pH, temperatura, entre otros (Katina y col., 2014). Por tal motivo, se optó por estandarizar el uso de agentes leudantes mediante el uso de levadura fresca comercial. De esta manera, los cambios durante la fermentación y horneado pueden atribuirse exclusivamente a la composición de las formulaciones y no a cambios en la actividad del agente leudante.

3.1 INGREDIENTES

Para la elaboración de diferentes formulaciones de galletitas se utilizaron los siguientes ingredientes: harina de topinambur de piel blanca (obtenida como se describió en el Capítulo 1), harina de trigo integral (Pureza, Molinos Cañuelas, Buenos Aires, Argentina), harina de amaranto (Sturla, Burzaco, Argentina), huevos frescos (mercado local), aceite de maíz (Mazola, Aceitera General Deheza S.A., Córdoba, Argentina), agua envasada (purificada, ablandada e ionizada con la información de los análisis químicos pertinentes brindados por el fabricante, Agua Pura, CDA, Villa Mercedes, San Luis), levadura fresca (Calsa, Compañía Argentina de Levaduras S.A.I.C., Lanús, Buenos Aires, Argentina), goma xántica (Alimentos PastelAR S.R.L. fraccionada en Buenos Aires, Origen China), cremor tártaro (Mercado pastelero Cocina con Valentino,

San Luis, Argentina), bicarbonato de sodio (Royal, Mondelez, Argentina) y sal de mesa (Celusal, I.Q. y M. Timbo S.A. Buenos Aires, Argentina).

Se optó por incorporar estas tres harinas: harina de trigo integral, de topinambur y de amaranto en la formulación y no otras, como harina de centeno, avena y/o cebada, ya que contienen gluten y quiso limitarse el uso de ingredientes con este compuesto. Si bien el propósito de este trabajo no fue elaborar un alimento apto para personas con enfermedad celíaca, el gluten puede actuar como un antinutriente. Se consideran antinutrientes aquellos compuestos que impiden que el valor nutritivo de los alimentos sea efectivo, sea por impedimento de absorción de nutrientes, por ser tóxicos o cualquier otro mecanismo de acción (Gupta, 2018). Por este motivo principalmente, se buscó minimizar la cantidad de ingredientes que lo aportan.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

A fin de lograr una correcta distribución de puntos experimentales en donde se combinen las 3 harinas en diferentes proporciones se realizó un diseño experimental de centroide de mezcla simplex para HTPB, HA y HTI. De esta manera, es posible abarcar un amplio espectro de combinaciones farináceas y lograr una adecuada representatividad del modelo. Para esto, se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones: se utilizó entre 25 y 75% de HTPB, entre 0 y 25% de HA y entre 0 y 50% de HTI. Las mismas surgen de experiencias realizadas anteriormente en las cuales se observó que a mayores porcentajes de HTPB el alimento se volvía muy duro, a mayores cantidades de HA la masa se volvía quebradiza y difícil de manejar y a elevados porcentajes de HTI se incrementa el valor de índice glicémico, lo que es indeseable para personas con diabetes (Costanzo y col., 2019b). Como respuestas del diseño se tomaron los parámetros texturales obtenidos para formulación (TPA en masas y test de ruptura de tres puntos en galletitas), actividad acuosa, humedad, color, cambio de tamaño antes y después de la cocción y pH.

Posteriormente, se realizó una optimización del modelo a partir de los parámetros texturales de las galletitas. Se buscó obtener las formulaciones de mejor crocancia a partir de la maximización del módulo de Young y la minimización de la tensión de fractura. Ambos parámetros se obtienen a partir de las determinaciones de ruptura de

tres puntos en galletas, como se detalla en el apartado 3.4.2 del presente Capítulo. A tal fin, se buscó ajustar la respuesta de módulo de Young de manera tal de alcanzar los valores más altos obtenidos en el diseño y, en forma simultánea, que se logren los menores valores de tensión de fractura. El ajuste indicado para estas respuestas se realiza con el objetivo de lograr formulaciones de buena crocancia, un atributo que es deseable en este tipo de alimentos. A su vez, como criterio de la optimización se mantuvieron las restricciones de mezclas de harinas mencionadas: entre 25 y 75% de HTPB, entre 0 y 25% de HA y entre 0 y 50% de HTI.

Es oportuno aclarar que no se buscó optimizar las formulaciones en base a valores de parámetros texturales para muestras comerciales ya que, en forma general, puede existir una considerable dispersión en los resultados obtenidos. Las galletas, al ser un producto con contenido de burbujas de aire en su estructura, pueden dar lugar a gran variabilidad en los resultados texturales dependiendo si la sonda rompe el alimento en una sección con o sin contenido de aire. Por otra parte, el alimento que se busca elaborar posee propiedades y composición considerablemente diferentes a los disponibles en el mercado. Por estos motivos se tomó criterio para la optimización el ajuste mencionado anteriormente.

3.3 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE GALLETITAS

Para la elaboración de las galletas se utilizaron las proporciones de ingredientes detalladas por Díaz y col. (2019) con ligeras modificaciones. Así, cada 100 g de mezcla de harinas se incorporaron: 30 g de aceite, 30 g de huevo, 5 g de levadura fresca, 5 g de agua, 3 g de bicarbonato de sodio, 3 g de goma xántica, 2 g de sal y 1 g de crémor tártaro.

Se incorporaron en un recipiente primero los ingredientes secos y se mezclaron de forma manual, a continuación, se hizo un hueco donde se colocaron los ingredientes húmedos (aceite, levadura fresca disuelta en agua y huevo). Los mismos se incorporaron mediante una batidora manual con batidores en velocidad media por un tiempo de 2 minutos, hasta obtener una masa homogénea. Todo el proceso se realizó en ambiente de temperatura controlada, a 25 ºC, para estandarizar las condiciones de manejo y manipulación de masas e ingredientes.

A continuación, las masas se envolvieron en bolsas de polietileno, se colocaron en recipientes plásticos con tapa individuales, y los mismos se guardaron en una caja de poliestireno expandido con tapa y paredes de aproximadamente 3 cm de espesor. Las masas se dejaron fermentar en estas condiciones por 24 h en un ambiente con temperatura controlada a 25°C.

Una vez completado el proceso de fermentación, las masas se estiraron hasta un espesor de 3 mm con una sobadora de masa (Pastalinda, Buenos Aires, Argentina) y se dejaron reposar por al menos 30 minutos tapadas con bolsas de polietileno. Transcurrido este período las masas se cortaron con un molde cuadrado de 4×4 cm y con un cuchillo se cortaron a la mitad (marcando la distancia media con otro molde rectangular no cortante de 2cm de ancho y 4 cm de largo). Es decir, que se obtuvieron masas de 4×2×0,3 cm (largo × ancho × espesor), las mismas se pincharon con tenedor y se realizó medición de largo, ancho, espesor (con calibre) y peso (con balanza analítica) de 3 conjuntos de 3 masas cortadas, para cada formulación.

Se precalentó el horno eléctrico ATMA (HG5010AE, China) por al menos 40 minutos a 150 °C, verificando la temperatura con un termómetro de acero inoxidable. Se usó siempre la misma bandeja, con número similar de muestras para cada tanda de horneado, colocándola en la misma altura del horno.

Una vez transcurrido el tiempo de cocción (de 7, 8 o 10 minutos, detallado para cada experiencia realizada) se sacaron las galletitas del horno, se dejaron reposar por al menos 15 minutos en la placa de horneado, y posteriormente se repitieron las mediciones de largo, ancho, espesor y peso de 3 conjuntos de 3 galletitas para cada formulación.

Una vez que las galletitas estuvieron a temperatura ambiente, las mismas se guardaron en bolsas de polipropileno con cierre hermético (Ziploc, SCJohnson, Argentina) para su posterior análisis.

3.4 DETERMINACIÓN DE TEXTURA

3.4.1 EN MASAS (APT)

Luego de la fermentación, cada masa se estiró hasta un espesor de 1 cm y se cortó con un cortante circular de 3 cm de diámetro. Las masas se llevaron al texturómetro BROOCKFIELD TEXTURE PRO.CT (EE.UU.), en donde se sometieron a ensayos de textura TPA con una sonda cilíndrica de 5,08 cm de diámetro y 2 cm de espesor (Fig. 2.6). El ensayo consistió en 2 ciclos de compresión al 20% y un tiempo de relajación de 20 segundos entre ciclos. La celda de carga empleada fue de 25 Kg y la velocidad del ensayo, de 0,8 mm/s. Se realizó la determinación sobre al menos cuatro discos de cada muestra a temperatura controlada de 25 ºC. Los parámetros estudiados fueron dureza, cohesividad, adhesividad, resiliencia y elasticidad, como se mencionaron anteriormente en la introducción.

Dureza o Firmeza

Pico de fuerza durante el primer ciclo de compresión. Es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación preseleccionada. Puede determinarse para los dos ciclos de compresión.

Cohesividad

Relación entre las áreas de la primera y segunda curva de compresión (Área 2 / Área 1). Puede definirse como la fuerza de los enlaces internos que dan el cuerpo al producto (Rosenthal y Thompson, 2021).

Adhesividad

Es el área negativa del primer ciclo completo de compresión que representa el trabajo requerido por el émbolo (o sonda) para despegarse de la superficie de la muestra.

Elasticidad

Se estima como la relación entre la altura de la muestra en el punto de inicio de la segunda compresión y la altura inicial (antes de la primera compresión). La altura al inicio de la segunda compresión es la suma de la altura residual de la muestra luego de alcanzar la deformación predeterminada y la que recupera durante la subida de la sonda. En resumen, puede definirse como la fracción de la altura que la muestra recupera

durante el tiempo que transcurre entre el final del primer ciclo y el comienzo del segundo.

Resiliencia

Se define como la tendencia de un producto a volver a su altura original luego de la primera compresión. Se mide en la retirada de la primera penetración, antes de que se inicie el período de espera. La resiliencia se puede medir con una sola compresión, siempre y cuando la velocidad de compresión y de levantamiento de la sonda sean iguales. Se calcula como la relación entre la energía del recorrido descendente de la primera compresión y la energía del recorrido ascendente de la primera compresión.



Fig. 2.6. Análisis de Perfil de Textura (APT) en masas.

3.4.2 EN GALLETITAS (TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS)

El test de ruptura de tres puntos se realizó con el objetivo de estudiar las propiedades texturales de las galletas elaboradas: la influencia de su composición farinácea, especialmente referida al contenido de HTPB, y de las condiciones de horneado mediante comparaciones texturales en relación a estas variables. Como atributo sensorial deseado en este tipo de alimentos se busca que las muestras tengan una textura crocante. A tal fin, se determinaron los parámetros estrés de fractura (σ), tensión de fractura (ε) y módulo de Young (E). Los mismos se calcularon mediante las siguientes ecuaciones (Young, 1989):

$$\sigma = \frac{3FL}{2db^2} \ [MPa] \text{ (Ec. 2.3)}$$

Donde F es la fuerza máxima de ruptura (N), L es la distancia entre los soportes (m), d es el ancho de la muestra (m) y b es el espesor de la misma (m).

$$\varepsilon = \frac{6by}{L^2} \text{ (Ec. 2.4)}$$

Donde *y* es la distancia recorrida por la sonda hasta la ruptura (m).

$$E = \frac{sL^3}{4db^3}\ [MPa] \quad \text{(Ec. 2.5)}$$

Donde *s* es la pendiente del gráfico *F* vs *y*, en la porción lineal antes de la ruptura (N/mm).

Estas ecuaciones se basan en las siguientes condiciones: la muestra es homogénea, tiene forma recta o casi recta y la sección transversal es uniforme; todas las cargas y deformaciones son perpendiculares a su eje, lo que implica que la deformación máxima debe ser pequeña; la tensión está relacionada linealmente con la deformación; y la flexión debida al peso de la propia viga es insignificante (Baltsavias y col., 1997).

A partir de los parámetros en estudio es posible determinar si una muestra presentará crocancia o tendrá textura gomosa. El estrés de fractura (σ, Ec. 2.3), al estar directamente relacionado a la fuerza de ruptura, da una idea de la firmeza de la muestra. Por otra parte, la tensión de fractura (ε, Ec. 2.4) es una medida de cuánto puede deformarse una muestra hasta el punto de ruptura. De esta manera, al ser directamente proporcional a la distancia que recorre la sonda (*y*), puede utilizarse como un indicador de la gomosidad de la muestra: a mayor distancia recorrida hasta la ruptura, menor será la rigidez de la muestra, por lo que muestras crocantes presentarán valores bajos de este parámetro. Finalmente, el módulo de Young (E, Ec. 2.5), al calcularse en base a la pendiente de la fuerza aplicada para lograr la ruptura vs la distancia que recorre la sonda, presentará valores más elevados para muestras con mayor crocancia (a mayor fuerza requerida y menor distancia recorrida por la sonda la galleta tenderá a ser más crocante).

El ensayo de ruptura de tres puntos se realizó en todos los casos luego de transcurridas 24 horas desde el horneado. Se utilizó el texturómetro BROOCKFIELD PRO.CT (EE.UU.) con celda de carga de 25 kg. Se realizó para al menos 8 muestras de cada formulación (boca abajo) con una sonda cuchillo de 60 mm y velocidad de test de 0,5 mm/s (Fig. 2.7).

Para cada ensayo individual se realizó la medición con calibre de largo, ancho y espesor de cada galletita sometida al mismo.



Fig. 2.7. Test de Ruptura de tres puntos para galletitas.

3.5 OTRAS DETERMINACIONES

Con el objetivo de caracterizar las galletas y mezclas de harina elaboradas, se realizaron diversas determinaciones sobre los productos obtenidos, varias de ellas ya se han descripto con anterioridad en el Capítulo 1, como actividad acuosa, color, humedad y absorción de agua, por triplicado. Para la determinación de pH (AOAC 943.02, 1990) se colocaron 10 g de muestra a 100 mL de agua destilada, se mezcló y dejó decantar, y luego de 30 minutos se midió e el pH de la solución sobrenadante, al menos por duplicado. Para medir el cambio durante el horneado, se midió el peso y el tamaño de las masas y de las galletitas, empleando balanza y calibre respectivamente. Y el cambio en las galletitas antes y después del horneado se estima como la diferencia de su peso y volumen, en al menos tres conjuntos de tres galletitas, determinados con un calibre y balanza, respectivamente (Fig. 2.8).

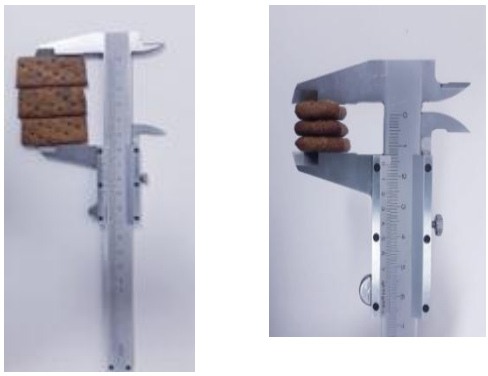


Fig. 2.8. Medición de tamaño de las galletitas con calibre.

También se determinó el índice de blanqueamiento (Wi, Ec. 2.6) (Zucco y col., 2011), de pardeamiento (Bi, Ec. 2.7), la diferencia total de color entre muestras (ΔE, Ec. 2.9) y el índice de saturación del color (SI, Ec. 2.10) (Kasim, R. y Kasim, M. U., 2015).

$$W_i = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \text{ (Ec. 2.6)}$$

$$B_i = \frac{100(x_i - 0{,}31)}{0{,}172} \text{ (Ec. 2.7)}$$

$$x_i = \frac{a^* + 1{,}75L^*}{5{,}645L^* + a^* - 0{,}3012b^*} \text{ (Ec. 2.8)}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0{}^* - L^*)^2 + (a_0{}^* - a^*)^2 + (b_0{}^* - b^*)^2} \text{ (Ec. 2.9)}$$

$$SI = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \text{ (Ec. 2.10)}$$

Donde $L_0{}^*$, $a_0{}^*$ y $b_0{}^*$ son los parámetros de color de la muestra control.

3.6 ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de los resultados obtenidos se utilizaron los lenguajes de programación Rstudio 4.2.1 (R Core Team, 2022) y Python 3.9 (Van Rossum & Drake, 2009). Se llevaron a cabo análisis de estadística descriptiva e inferencial. Adicionalmente, se realizaron análisis de varianza y con la varianza del error se calculó la menor diferencia significativa mediante el test de Fisher, para evaluar diferencias significativas entre muestras.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1.1 EXPERIMENTOS

Del diseño de tres componentes (HTPB, HTI y HA), con las restricciones HTPB entre 25 y 75% de HTPB, HA entre 0 y 25% y HI entre 0 y 50%, se obtuvo un total de 18 experimentos (8 puntos aleatorios del modelo, 5 para la falta de ajuste y 5 réplicas). Las proporciones de las diferentes harinas se muestran como fracciones entre 0 y 1. Los diferentes factores (tipos de harinas) se designan como A, B y C. (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Experimentos para el diseño.

N° Experimento	A (HTPB)	B (HTI)	C (HA)
1	0,75	0,15	0,10
2	0,39	0,50	0,11
3	0,25	0,50	0,25
4	0,50	0,50	0,00
5	0,75	0,25	0,00
6	0,74	0,01	0,25
7	0,52	0,23	0,25
8	0,38	0,37	0,25
9	0,58	0,33	0,08
10	0,63	0,21	0,16
11	0,63	0,12	0,25
12	0,49	0,34	0,17
13	0,25	0,50	0,25
14	0,50	0,50	0,00
15	0,75	0,25	0,00
16	0,74	0,01	0,25
17	0,75	0,00	0,25
18	0,25	0,50	0,25

A continuación se muestra, en forma gráfica, la distribución de dichos puntos. La zona verde corresponde al espacio experimental, y la gris a las restricciones mencionadas (Fig. 2.9).

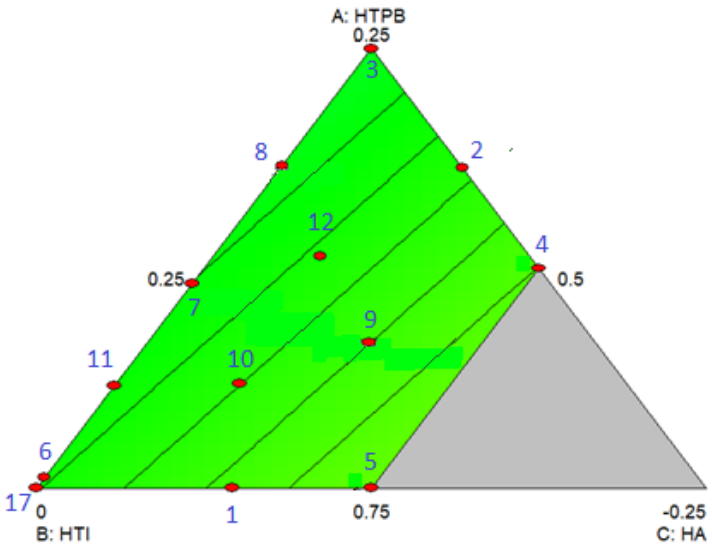


Figura 2.9. Puntos experimentales del diseño centroide de mezcla simplex teniendo en cuenta las restricciones: HTPB entre 25 y 75%, HA entre 0 y 25% y HI entre 0 y 50%.

La zona en verde indica la zona operativa para los diversos experimentos ensayados. Los números azules indican el Nº de experimento de la Tabla 2.1.

4.1.2 SUPERFICIES DE RESPUESTA Y CONTORNO

Para el diseño obtenido, se realizaron las formulaciones correspondientes con la metodología indicada en el apartado 3.3. En base a experiencias anteriores el tiempo de horneado de las mismas fue de 7 minutos a 150 °C (Costanzo y col., 2019b). Las galletas se hornearon a esta temperatura a fin de evitar la descomposición de polisacáridos, como inulina, provenientes de HTPB. Como se observó en el Capítulo 1 (apartado 4.2), esta fibra presenta estabilidad térmica hasta 200 ºC aproximadamente, por lo que, en todas las experiencias realizadas, la temperatura de horneado se mantuvo en 150 ºC a fin de evitar esta degradación indeseable.

Las respuestas de cada parámetro se muestran como superficies tridimensionales y de contorno construidas a partir de los valores medios obtenidos de cada formulación ensayada. Los valores de respuesta se representan con un gradiente de color que va desde azul a rojo, indicando menor a mayor valor respectivamente. En el Anexo B se encuentra la tabla con los resultados obtenidos a partir de los cuales se construyeron las superficies de respuesta y contorno.

4.1.2.1 PARÁMETROS TEXTURALES DE LAS MASAS (APT)

En la Fig. 2.10 se muestran las superficies de respuesta y contorno del parámetro de firmeza en masas.

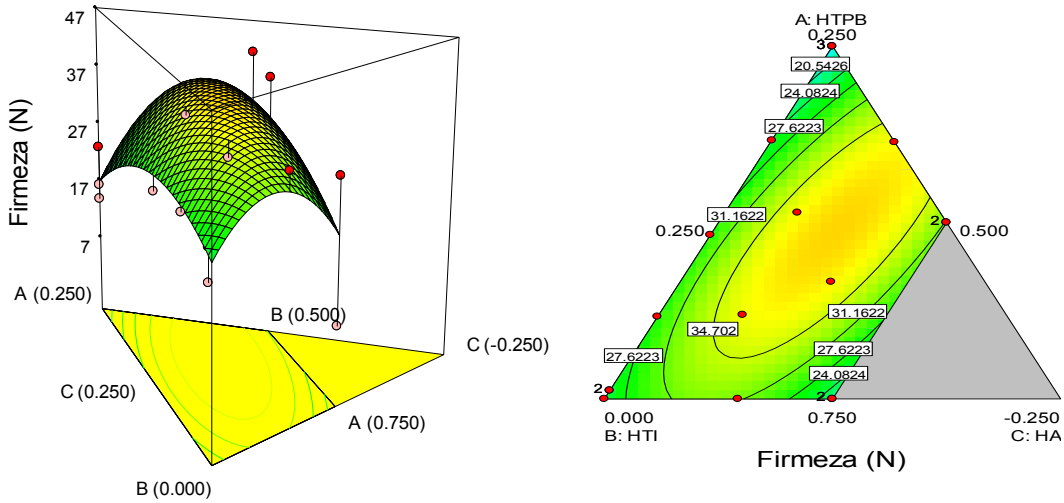


Fig. 2.10. Firmeza (N) de las masas. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.).

La firmeza media de las masas varió entre 17 y 46 N. En forma general, las propiedades texturales de los productos a base de harinas vienen determinadas por las cantidades de almidón, proteínas y agua utilizadas en su fabricación (Dhal y col., 2023). Los valores de firmeza media más altos corresponden a las formulaciones con valores intermedios de HTPB, HTI y HA y disminuyen para las composiciones extremo de cada tipo de harina. Hay que tener en cuenta que cambios en el contenido de humedad generan grandes modificaciones en la textura de las masas (Yang y col., 2019), que las harinas utilizadas poseen distinta capacidad de retención de agua (Agrahar-Murugkar y col., 2015) y a todas se les agregó la misma cantidad de este ingrediente. Yovchev y Le-Bail (2021) elaboraron masas de harina de trigo con contenido incremental de harina de topinambur y encontraron que las masas con contenido de este tubérculo presentaron menor humedad que la de harina de trigo. Por lo tanto, el contenido de humedad de las masas varía en función a las proporciones de harinas utilizadas. En la matriz de las masas, las moléculas de agua actúan como un lubricante de bajo peso molecular que está estrechamente relacionado con la hidratación del gluten. En este contexto, la adición de fibras en las masas con contenido de trigo afecta a la movilidad del agua y a su distribución entre los principales ingredientes (proteínas, almidón y pentosanos), lo que afecta directamente las propiedades físicas y mecánicas de la masa. De esta manera, la inulina contenida en HTPB tiene la capacidad de formar una red inulina-proteína que proporcionaría una mayor firmeza a estructura de la masa (Yovchev y Le-Bail, 2021). Es importante destacar que la muestra con mayor contenido de HTPB presentó una

firmeza de 31,14 ± 17,89 N, por lo tanto su valor máximo de firmeza fue mayor a las medias registradas para las composiciones intermedias (Fig. 2.10). Este comportamiento podría indicar que las mezclas con mayor contenido de harina de topinambur mostraron una elevada firmeza debido a su gran capacidad de retención de agua dado el mayor contenido de inulina.

En las Figuras 2.11 y 2.12 se muestran los resultados obtenidos para resiliencia y elasticidad de las masas, respectivamente.

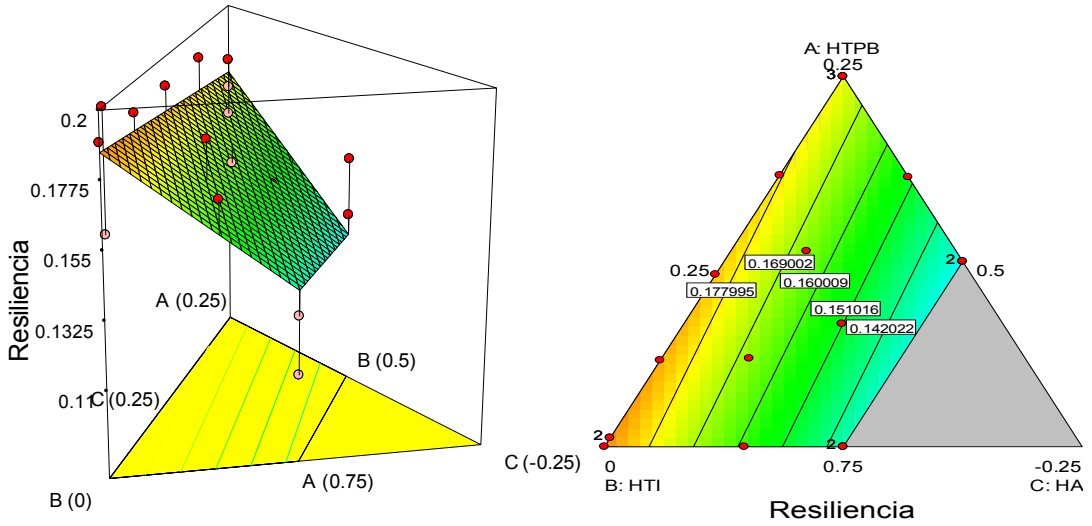


Fig. 2.11. Resiliencia de las masas. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.).

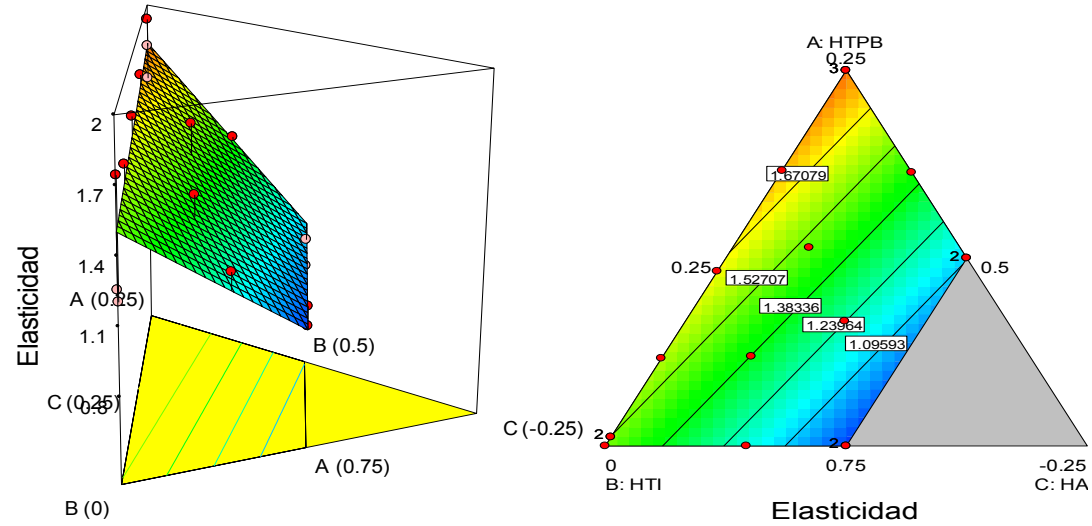


Fig. 2.12. Elasticidad de las masas. Superficie de respuesta (izq.) y controno (der.).

La resiliencia y elasticidad de las masas son parámetros que están relacionados entre sí. La resiliencia es la capacidad de un material de recuperar su altura original luego de una compresión, es decir, de sufrir una deformación elástica. Por lo tanto es esperable que

estas dos variables presenten comportamientos similares. Los valores hallados de resiliencia media se encuentran entre 0,14 y 0,18 (Fig. 2.11), se puede observar que este parámetro incrementa junto con la disminución de HTPB y aumenta con el incremento de HA. Estas tendencias se replican al estudiar la elasticidad (Fig. 2.12), que tomó valores entre 0,97 y 1,79. La disminución de este parámetro en las masas con el incremento de HTPB fue reportado también por Lee y col. (2016). Los autores atribuyen este comportamiento a una menor proporción de glutenina (un polímero presente en el gluten) en las masas al disminuir la cantidad de harina de trigo en su formulación. Esta tendencia también puede deberse al elevado contenido de fibra de HTPB, que absorbe mayor proporción de agua, y da como resultado una masa más rígida, menos elástica y, por lo tanto, menos resiliente. En forma general, estudios previos han vinculado la incorporación de harinas de elevada capacidad de retención de agua con una disminución en la elasticidad y propiedades visco elásticas de masas (Rosell y col., 2006 como se citó en Lee y col., 2016). Esta tendencia fue atribuida a los grupos hidroxilos presentes en las fibras dietarias, particularmente en la inulina. Estos grupos contribuyen en gran medida a prevenir la sinéresis y a modificar la textura de los productos formulados.

Por otra parte, en la Figura 2.13 se muestran las superficies de respuesta y contorno para el parámetro de cohesividad.

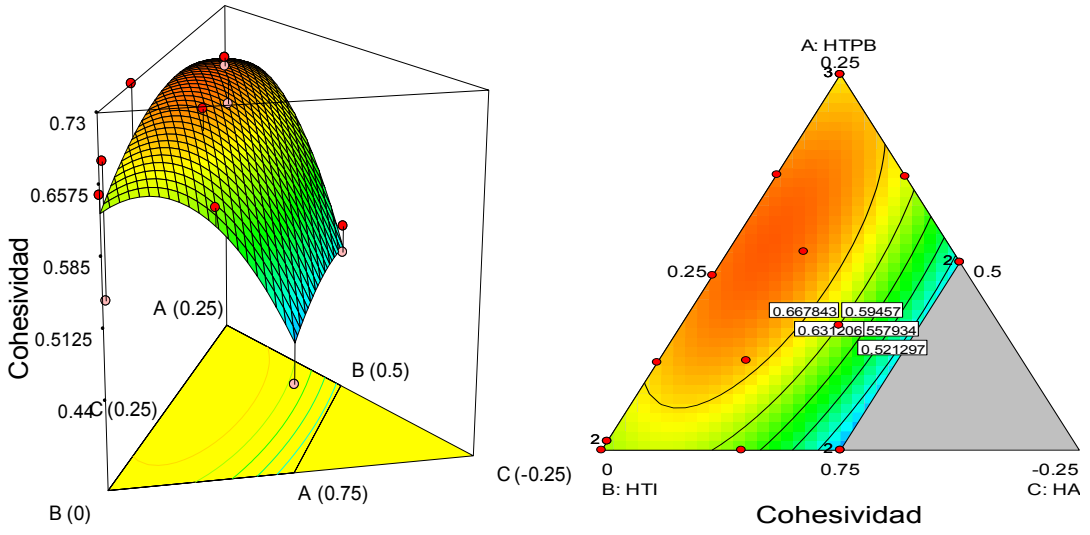


Fig. 2.13. Cohesividad de las masas. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.).

Se observa que la cohesividad media decrece en formulaciones con mayor contenido de HTPB, esta tendencia es acorde a los resultados publicados por Lee y col. (2016), que

estudiaron el efecto del agregado de harina de topinambur como reemplazo parcial de harina de trigo en masas. La cohesividad está relacionada a la fuerza de los enlaces internos en la matriz de las masas. En este contexto, la adición de fibras puede favorecer la ruptura de la matriz de almidón-gluten debido a las interacciones entre la estructura de las fibras y las proteínas del trigo (Rubel y col., 2015). De esta manera, la incorporación de inulina en masas mediante el uso de HTPB puede causar un descenso en la cohesividad de las masas.

Finalmente, en la Figura 2.14, se muestran los resultados obtenidos de adhesividad de las masas.

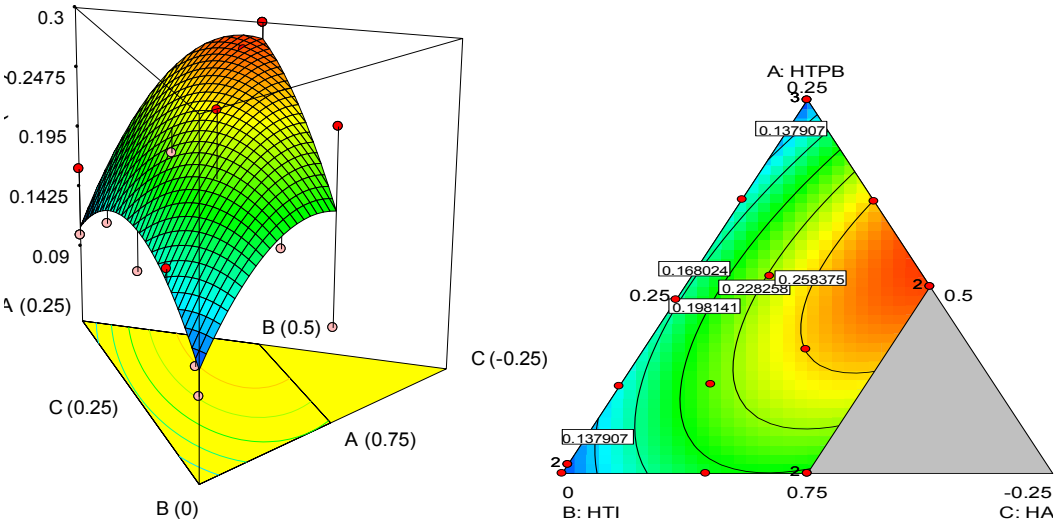


Fig. 2.14. Adhesividad (N×s) de las masas Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.).

La adhesividad representa el trabajo realizado por la sonda para despegarse de la muestra luego de la compresión. Se encontraron valores comprendidos entre 0,09 y 0,30 N×s. Si bien se observó una tendencia incremental con el contenido de HTI, a priori, no habría un comportamiento definido en función del contenido de HTPB. Diversos estudios muestran tendencias que difieren entre sí: Lee y col. (2016) reportaron una disminución de este parámetro a medida que aumentó el contenido de harina de topinambur en masas, mientras que Rubel y col. (2015) indican que la adición de inulina en masas no impacta su adhesividad. Por lo tanto, la variabilidad en cuanto al comportamiento de la adhesividad en diferentes estudios indica que esta propiedad no presentaría una tendencia definida en relación al contenido de HTPB.

4.1.2.2 PARÁMETROS TEXTURALES DE LAS GALLETITAS (TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS)

En las Fig. 2.15 y 2.16 se muestran las superficies de respuesta y contorno obtenidas para los parámetros de módulo de Young y estrés de fractura de las galletas, respectivamente.

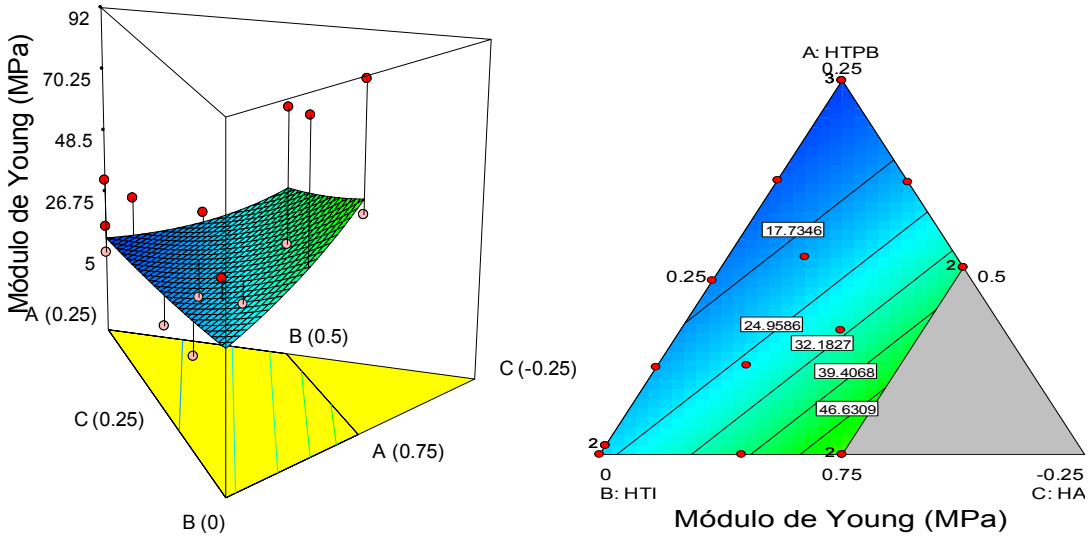


Fig. 2.15. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para Módulo de Young (MPa).

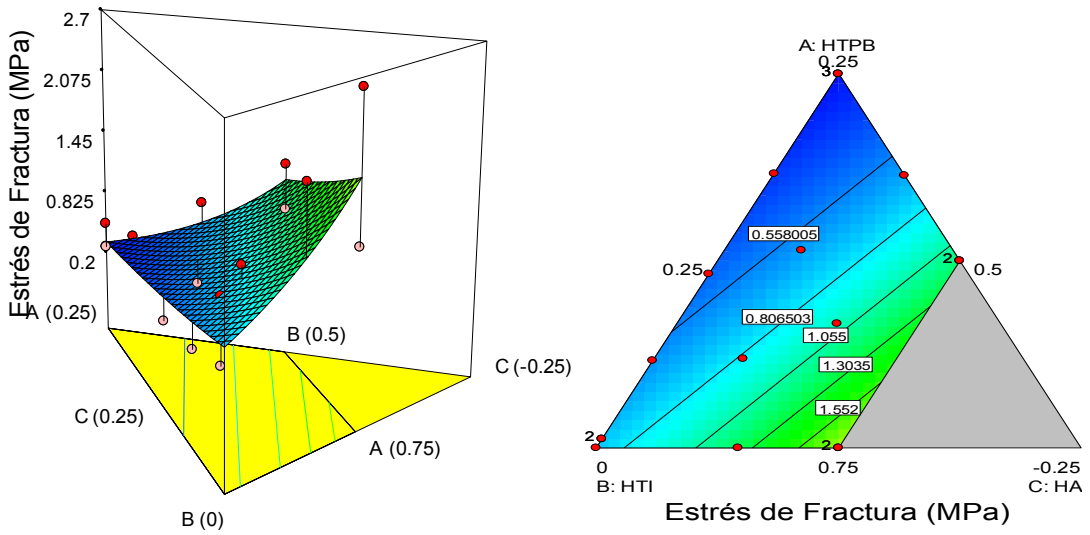


Fig. 2.16. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para Estrés de Fractura (MPa).

Al estudiar los parámetros texturales de las galletas elaboradas se observa un comportamiento similar en el módulo de Young (Fig. 2.15) y el estrés de fractura (Fig. 2.16). Ambos parámetros incrementan con el aumento de HTPB y HTI, es decir, que las

galletitas presentan una textura crocante y firme cuando contienen alta proporción de dichas harinas. Esto puede deberse al elevado contenido de fibra soluble, particularmente en HTPB, lo que provoca un incremento en la dureza del producto final obtenido (Mudgil y col., 2017). Mostafa y col. (2021) estudiaron el efecto del agregado de harina de topinambur en la formulación de galletas como reemplazo de margarina en proporciones entre un 10 y 50%. Los autores también reportaron que el incremento de esta harina causó un aumento en la firmeza de las muestras. En forma general, los componentes presentes en las fibras, como pentosanos, pectinas, hemicelulosas, celulosas y lignina, entre otros, favorecen el aumento en la firmeza de galletas (Jeltema y col., 1983, como se citó en Mudgil y col., 2017). Esto impacta en los parámetros de módulo de Young y estrés de fractura ya que son directamente proporcionales a la fuerza requerida para la ruptura de las muestras.

En la Fig. 2.17 se muestran los resultados obtenidos para tensión de fractura de las galletas.

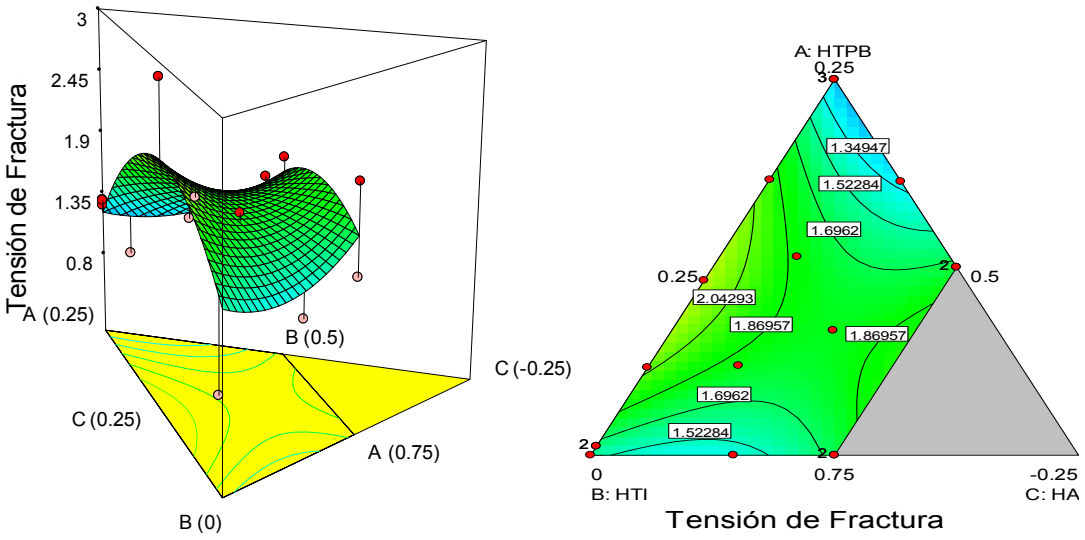


Fig. 2.17. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para Tensión de Fractura.

Para este parámetro, que da idea de la capacidad de deformación del producto, las medias estuvieron comprendidas en un rango entre 0,86 y 2,88. El mayor valor se registra para la formulación con 52% HTPB (23% HTI y 25% HA), mientras que el menor lo presentó la muestra con 74% HTPB (1% HTI y 25% HA). Tomando en cuenta la tendencia de los extremos se puede inferir que un aumento en el contenido de HTPB, dentro de este rango de valores, ocasiona una disminución en la tensión de fractura. Esta

correlación negativa puede explicarse debido al aumento en el contenido de fibra. Muestras con mayor proporción de fibra tenderán a presentar mayor firmeza y, por lo tanto, mayor resistencia a la deformación durante el test de ruptura. Rodriguez-Garcia y col. (2022) al analizar el efecto del agregado de diferentes fibras solubles en galletas como reemplazo parcial de azúcar encontraron que la adición de fibras provocaba una disminución de la distancia recorrida por la sonda hasta la ruptura de las galletas, en comparación a la muestra control. Esto puede traducirse como una mayor resistencia a la deformación por parte de las galletas con contenido de fibra, que se relaciona con la percepción de crocancia. De esta manera, es posible inferir que el agregado de fibra en galletas podría favorecer sus propiedades texturales.

4.1.2.3 OTRAS DETERMINACIONES

En la Fig. 2.18 se muestran los resultados obtenidos para pH de galletas.

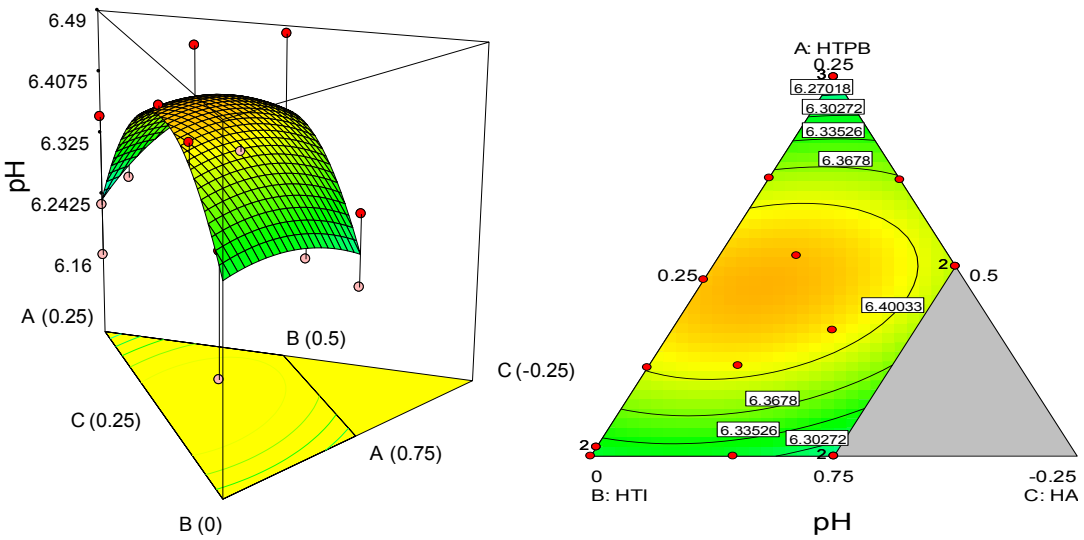


Fig. 2.18. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para pH de galletitas.

Los máximos valores de pH se registran para formulaciones con mayor contenido de amaranto y porcentajes intermedios de las harinas restantes. Sin embargo, los valores hallados para todas las formulaciones se encuentran comprendidas en un estrecho margen de pH comprendido entre 6,16 y 6,49. Es decir, que todas las formulaciones presentaron un pH levemente ácido y, a prori, es posible inferir que la composición

farinácea de las muestras no afectó considerablemente su pH. Kumar y Samsher (2016) elaboraron galletas de harina con contenido de cereales y leguminosas (trigo, maíz, cebada, mijo perlado y garbanzos) en diferentes proporciones y reportaron valores de pH dentro del rango 6,43-6,83, similares aunque levemente más básicos que los obtenidos en el presente trabajo. A su vez, a modo de referencia, en todos los casos se obtuvieron valores de pH dentro del rango establecido por la Food and Drug Administration (FDA, EEUU) para galletas crackers comerciales: entre 5,65 y 7,32 (FDA, 2007).

Las superficies de respuesta y contorno de los parámetros L^*, a^* y b^* se muestran en las figuras 2.19, 2.20 y 2.21, respectivamente.

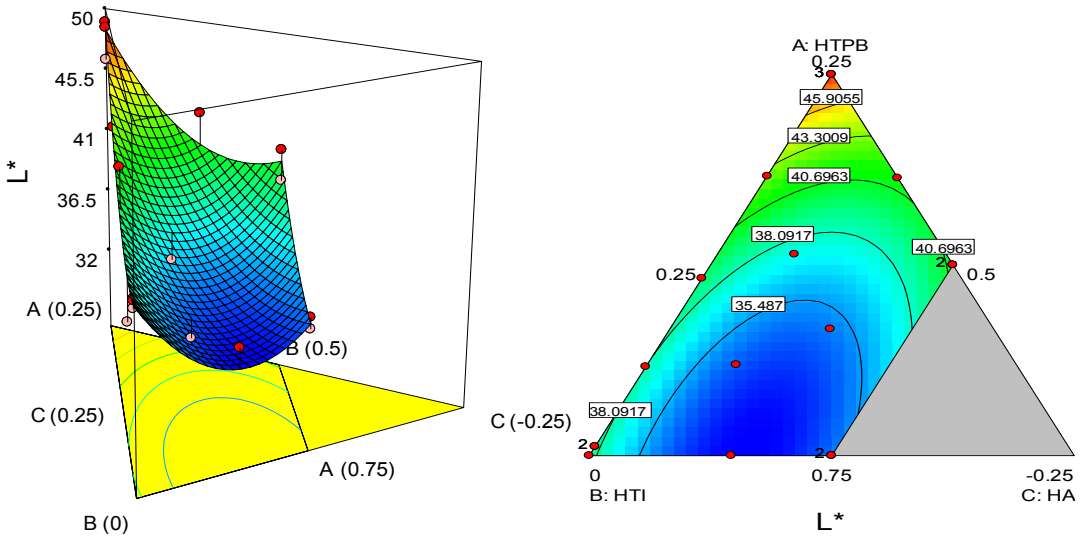


Fig. 2.19. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para L^* de galletitas.

Con respecto al color, L^* (Fig. 2.19), que representa la medida de luminosidad de un producto (Gilabert y Martínez-Verdú, 2007), varió entre 34,34 y 49,03. Se observa un claro aumento de este parámetro con la disminución del porcentaje de HTPB en la formulación. Esto se debe a que la harina de topinambur presenta un color oscuro en comparación a las otras harinas utilizadas: por ejemplo, el parámetro L^* para HTPB es de 73,94 ± 1,2; mientras que para HTI es de 81,55 ± 1,5 y para HA, de 88,53 ± 1,3. Además, se observó que los valores de L^* de las galletas presentaron una disminución en comparación a las harinas. Este comportamiento puede atribuirse a las reacciones de pardeamiento que tienen lugar durante la cocción.

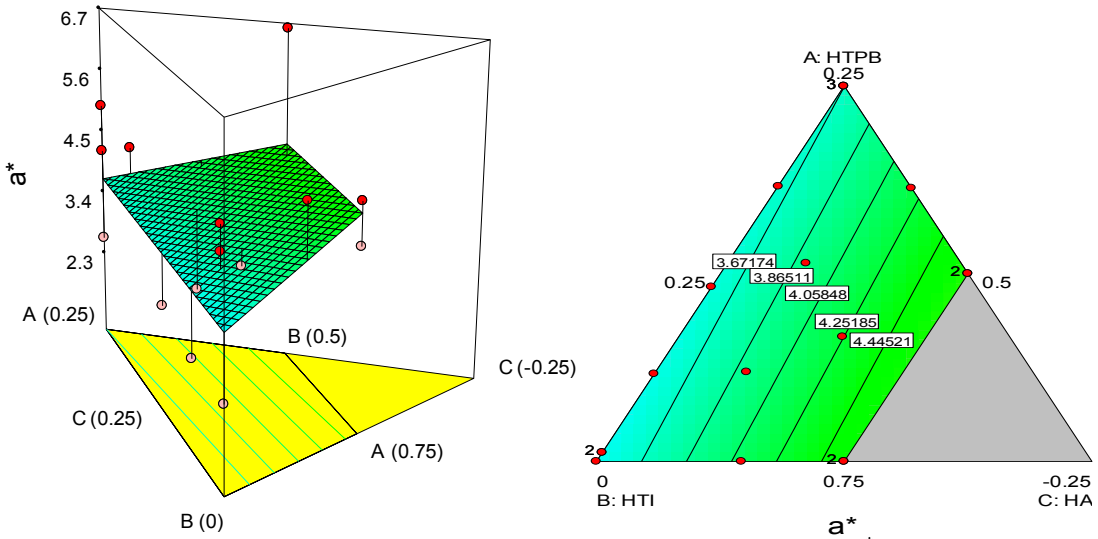


Fig. 2.20. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para a* de galletitas.

Para el índice a* (verde (-) - rojo (+)) (Fig. 2.20), se obtuvieron valores en un rango desde 2,34 hasta 6,62, siendo de mayor magnitud los correspondientes a formulaciones con mayor porcentaje de HTPB y HTI, lo que indica una mayor tonalidad rojiza para estas muestras. Aunque, como se puede apreciar gráficamente, no hubo considerables fluctuaciones de este parámetro en función de la composición de las mezclas de harinas. Las harinas individuales presentaron valores medios de a* levemente negativos de: -0,45 ± 0,08 para HTPB; -0,93 ± 1,44 para HTI y de -4,34 ± 0,91 para HA. Esta tendencia puede explicarse debido a que las reacciones de pardeamiento que tienen lugar durante la cocción de las galletas favorecen las tonalidades rojizas (a* positivos) en comparación a las harinas crudas (a* negativos).

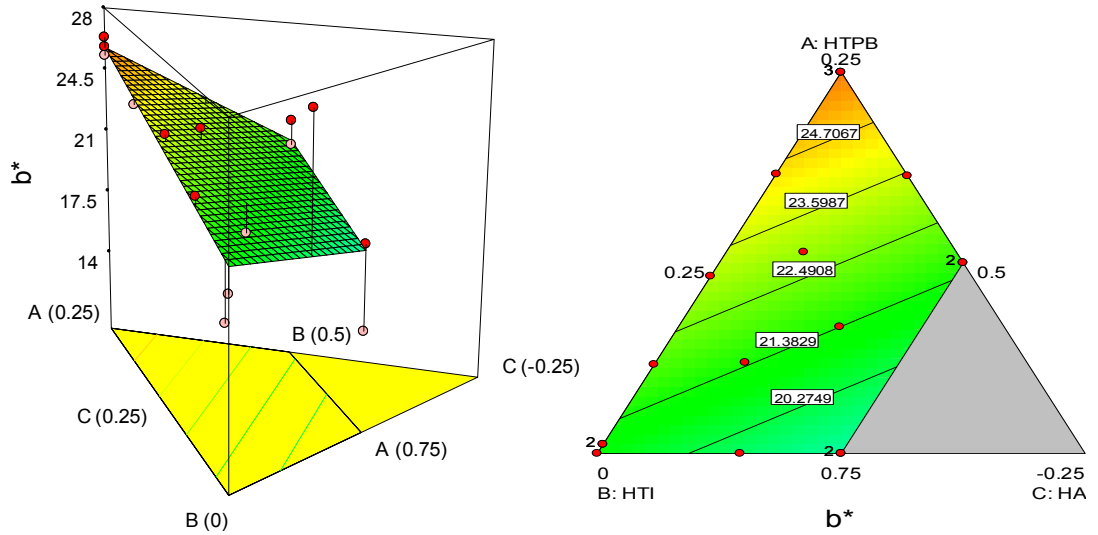


Fig. 2.21. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para b* de galletitas.

El parámetro b^* (azul (-) – amarillo (+)) (Fig. 2.21) varió entre 14,87 y 27,24. Se registraron valores positivos que fueron en aumento con la disminución de HTPB, que indicó una mayor tonalidad amarilla para estas formulaciones. No se observaron grandes cambios ni tendencias marcadas de este parámetro con el contenido de HTI y HA. Para las harinas individuales, los valores de b^* fueron: 4,94 ± 0,05 para HTPB, 9,95 ± 2,31 para HTI y 8,71 ± 1,55 para HA. De esta manera, se observa que la incorporación de HTPB podría favorecer una disminución de b^* en el color de las galletas. Por otra parte, también se puede inferir que la cocción dio como resultado un aumento de este parámetro, que registró mayores valores en galletas que en las harinas crudas.

Finalmente, los resultados de actividad acuosa se muestran en la Fig. 2.22.

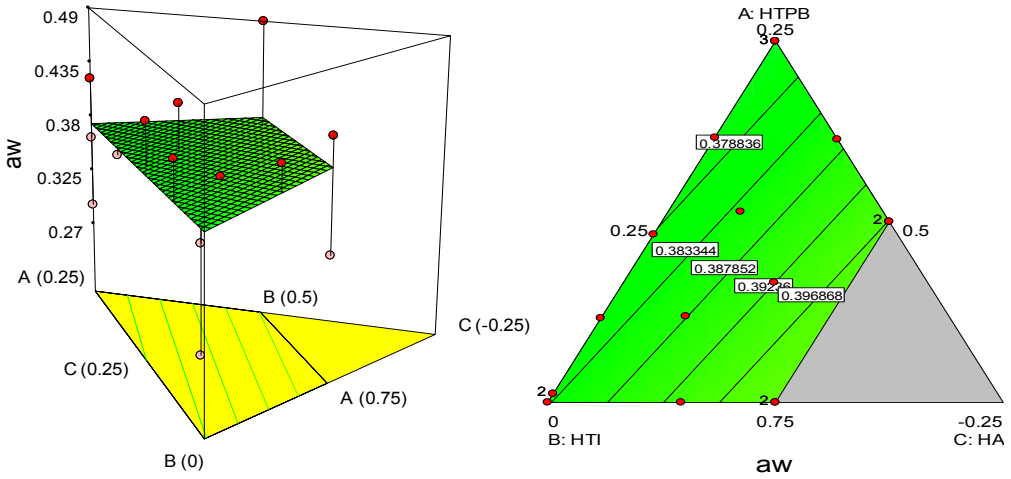


Fig. 2.22. Superficie de respuesta (izq.) y contorno (der.) para actividad acuosa (a_w) de galletitas.

La actividad acuosa media de las formulaciones estudiadas no presentó grandes fluctuaciones. Se puede inferir que la composición de harinas no tuvo una marcada influencia sobre a_w y que, posiblemente, las condiciones de horneado (7 min a 150 °C) influyeron en este comportamiento.

4.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL MODELO

Una vez analizadas las superficies de respuesta, se realizó una optimización numérica del modelo propuesto. Para esto se tomó en cuenta el comportamiento de dos respuestas: maximización del módulo de Young (**E**), cuyas medias estuvieron comprendidas entre 5,12 MPa y 91,02 MPa y reducción de tensión de fractura (**ε**), que tomó valores entre 0,86 y 2,88. Este ajuste se realizó con el objetivo de elegir las formulaciones de textura más crocante. Otros autores también han utilizado la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) a fin de describir el efecto de la composición de galletas sobre respuestas texturales, como la dureza, y optimizar las proporciones de los ingredientes utilizados (Panghal y col., 2011).

Para estas dos respuestas seleccionadas, las ecuaciones obtenidas en el modelo de regresión fueron:

$$log_{10}\boldsymbol{E} = 1{,}90648x_{HTPB} + 1{,}20545x_{HTI} - 0{,}23089x_{HA} \quad \text{(Ec. 2.11)}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = 0{,}10516x_{HTPB} - 3{,}21913x_{HTI} + 14{,}52950x_{HA} + 13{,}18741x_{HTPB}x_{HTI} - 11{,}38356x_{HTPB}x_{HA} - 14{,}41153x_{HTI}x_{HA} \quad \text{(Ec. 2.12)}$$

Donde x_{HTPB}, x_{HTI} y x_{HA} son las proporciones de cada harina que están comprendidas por valores entre cero y uno. La Ec. 2.11 representa el módulo de Young, la ecuación es lineal y se aplicó una transformación logarítmica para un mejor ajuste. Se observa que el módulo de Young se correlacionó positivamente con la proporción de HTPB y HTI y en forma levemente negativa con HA.

La Ec. 2.12 describe la tensión de fractura, el modelo seleccionado que proporcionó el mejor ajuste fue el cuadrático, con combinaciones de las diferentes harinas. No se aplicaron transformaciones a esta respuesta. Se observa que esta respuesta se correlacionó positivamente con la proporción de HA, la mezcla de HTPB-HTI y levemente con HTPB. Por otra parte, tuvo una correlación negativa con HTI y las combinaciones HTPB-HA y HTI-HA.

En ambos casos la regresión de los modelos fue significativa ($p<0{,}05$), se obtuvo un valor de p de 0,041 para módulo de Young y de 0,039 para tensión de fractura. A su vez, la falta de ajuste obtenida no fue significativa ($p>0{,}05$). Este parámetro tuvo un

valor de 0,555 para la ecuación del módulo de Young y de 0,619 para tensión de fractura.

El modelo puede considerarse como satisfactorio cuando la regresión es significativa ($p<0,05$) y se obtiene una falta de ajuste insignificante ($p>0,05$) para un nivel de significancia del 95%, respectivamente (Goicochea, 2018). De esta manera, se verifica que las ecuaciones obtenidas en la regresión cumplen con los criterios requeridos y el Análisis de Varianza (ANOVA) mostró que los modelos son apropiados. Para el módulo de Young solo hay un 4,10% de probabilidad (Prob > F = 0,041) de ocurrencia de alteración de resultados por ruido, mientras que para el parámetro de tensión de fractura esta probabilidad es de un 3.90% (Prob > F = 0.039).

Se realizó una optimización desarrollada mediante métodos numéricos y se obtuvieron tres resultados de mezclas de harinas. Estas mezclas son las predicciones realizadas por los modelos de regresión que mejor se ajustan a los criterios de optimización establecidos: maximizar el módulo de Young y minimizar la tensión de fractura, de manera tal de obtener las formulaciones de mejor crocancia. Las composiciones de harinas optimizadas fueron:

A_{opt}: 75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA

B_{opt}: 45% HTPB + 50% HTI + 5% HA

C_{opt}: 59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA

4.1.4 VALIDACIÓN DEL MODELO

A fin de comprobar que el modelo puede predecir adecuadamente el comportamiento de estas respuestas se elaboraron las galletas con mezclas de harinas de composiciones A_{opt}, B_{opt} y C_{opt} con la metodología descripta en el apartado 3.3 del presente Capítulo. Las condiciones de cocción fueron las mismas del diseño experimental (7 min a 150 ºC), y se realizaron posteriormente las determinaciones texturales descriptas en 3.4.2 (valores experimentales). Los mismos se compararon con los valores predichos por la regresión (valores teóricos) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Valores experimentales y teóricos para galletas con mezclas de harinas de composiciones A_{opt}, B_{opt} y C_{opt}.

	Módulo de Young (E, MPa)	**Tensión de fractura (ε)**
A_{opt} teórico	42,16	1,51
A_{opt} experimental	60,33 ± 24,71	1,61 ± 0,22
B_{opt} teórico	28,13	1,52
B_{opt} experimental	25,33 ± 6,57	1,47 ± 0,31
C_{opt} teórico	38,16	1,87
C_{opt} experimental	31,25 ± 8,74	1,95 ± 0,17

Los valores experimentales corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=8).

Se puede observar que, si bien las medias obtenidas no coinciden con los puntos predichos por el modelo, el rango de valores experimentales obtenidos en todos los casos abarca la predicción de las respuestas simuladas. De esta manera, es posible afirmar que las respuestas utilizadas para optimizar el modelo son válidas.

4.2 EVALUACIÓN Y CAMBIO EN LA FORMULACIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE LAS MASAS ELABORADAS

En los experimentos realizados anteriormente (Tabla 2.1), todas las formulaciones se elaboraron con igual contenido de agua, 5% respecto de la mezcla de harinas. Se observó que las masas presentaron valores elevados de dureza media: entre 20 y 46 N, de acuerdo a los análisis de perfil de textura llevados a cabo. Puede atribuirse este comportamiento a la gran absorción de agua por parte de la HTPB (>200%), con elevado contenido de fibra, que modifica las propiedades de la masa formada (Blanco Canalis y col., 2017). Esto ocasionó que las masas fueran duras y difíciles de manejar. Generalmente, las propiedades de manejo de las masas pueden influir en la calidad de las galletas (Majzoobi y col., 2016). Por este motivo, se decidió estudiar la capacidad de retención de agua y aceite de las premezclas obtenidas en la optimización, con la finalidad de incrementar el porcentaje de hidratación de las masas y buscar disminuir su dureza para un mejor manejo de las mismas.

4.2.1 DETERMINACIÓN DE WHC

En esta etapa se realizó la determinación de capacidad de absorción de agua (WHC) y aceite (OHC) mediante la metodología descripta en el apartado 3.2.3.4 del Capítulo 1 (Takeuchi y Nagashima, 2011) para las respectivas mezclas de harinas de composición A, B y C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Capacidad de retención de agua y aceite de las harinas individuales y mezclas obtenidas en la optimización.

	Composición	WHC (%)	OHC (%)
HTPB	100% HTPB	219,15 ± 3,50	103,53 ± 3,24
HTI	100% HTI	92,27 ± 1,28	92,62 ± 0,52
HA	100% HA	136,06 ± 10,89	106,69 ± 1,76
$\mathbf{A_{opt}}$	75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA	154,54 ± 4,24	98,25 ± 1,24
$\mathbf{B_{opt}}$	45% HTPB + 50% HTI + 5% HA	112,92 ± 4,92	96,67 ± 3,57
$\mathbf{C_{opt}}$	59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA	115,18 ± 13,28	90,88 ± 0,07

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=3).

Se observa claramente que la capacidad de retención de agua aumenta en forma directa con la proporción de HTPB incorporada en la composición. Esta tendencia puede atribuirse a la capacidad de la inulina de formar geles con el agua. En forma general, la composición de carbohidratos, como fibras y almidones, tienen la capacidad de influir sobre la capacidad de hidratación de harinas debido a la presencia de compuestos hidrofílicos (Farooq y Boyle, 2011, como se citó en Ettoumi y Chibane, 2015). Por otra parte, la capacidad de retención de aceite fue menor a la de agua en los tres casos. Este parámetro depende principalmente de la disponibilidad superficial de aminoácidos y componentes hidrofóbicos que tienen capacidad de interactuar con las moléculas de aceite (Ettoumi y Chibane, 2015). De esta manera, es posible inferir que las mezclas de harinas en estudio poseen mayor proporción de compuestos hidrofílicos que lipofílicos.

A fin de obtener masas de menor dureza se fijó un grado de hidratación del 70% (Ec. 2.13) en base a la máxima capacidad de absorción de agua de cada premezcla.

$$\%\ Hidratación\ de\ masa = \frac{Peso\ de\ líquidos\ (g)}{Peso\ de\ Harinas\ (g)} \times 100 \quad \text{(Ec. 2.13)}$$

Debe tenerse en cuenta que los ingredientes que se consideran como parte del peso de líquidos en la masa son el huevo, aceite y agua, pero se varió únicamente la cantidad de agua añadida, manteniendo aceite y huevo constante para las tres formulaciones.

El aumento de hidratación para cada premezcla se estimó como el 70% de su capacidad de retención de agua. De esta manera, la cantidad de líquidos a agregar cada 100 g de mezclas de harinas fue de 108,2 g para A (154,54 g × 0,7); 79,05 g para B (112,92 g × 0,7) y 80,60 g para C (115,18 g × 0,7). Al modificar el contenido de agua, las formulaciones se denominan a continuación A, B y C, en referencia a las galletas A_{opt}, B_{opt} y C_{opt}, obtenidas en la optimización del diseño experimental, pero a las que se les modificó el porcentaje de hidratación.

Teniendo en cuenta que solo se aumentó la cantidad de agua, y que cada 100 g de mezclas de harinas los otros ingredientes líquidos que se agregaron fueron 30 g de aceite y 30 g de huevo, la cantidad de agua a agregar a cada formulación se estima de la siguiente manera:

$$Cantidad\ de\ agua\ de\ A = 108{,}20\ g - 60\ g = 48{,}20\ g$$

$$Cantidad\ de\ agua\ de\ B = 79{,}05\ g - 60\ g = 19{,}05\ g$$

$$Cantidad\ de\ agua\ de\ C = 80{,}60\ g - 60\ g = 20{,}60\ g$$

Así, las cantidades de agua para cada formulación fueron: 48,20 g para A, 19,05 g para B y 20,60 g para C, cada 100 g de mezcla de harinas.

Si bien la optimización del diseño de mezclas permitió identificar formulaciones con textura óptima, las modificaciones realizadas sobre el porcentaje de hidratación, a fin de obtener masas de mejor manejo (A, B y C), no representan estrictamente el punto óptimo matemático estimado anteriormente (A_{opt}, B_{opt} y C_{opt}). A su vez, se requirieron ajustes en el tiempo de cocción a fin de mantener la calidad tecnológica de las galletas.

4.2.2 HORNEADO

Al incrementar la hidratación de las masas, fue necesario aumentar también el tiempo y/o temperatura de horneado con el que se venía trabajando (7 min a 150 °C). De manera tal de lograr un producto final de baja humedad y actividad acuosa, para preservar su vida útil y mejorar sus propiedades texturales.

Se probaron tiempos de horneado de 8 y 10 minutos, manteniendo constante la temperatura de 150 °C (Fig. 2.23). Como se mencionó anteriormente, se optó por

mantener la temperatura en este valor ya que la HTPB posee estabilidad térmica hasta aproximadamente 200 ºC. Por encima de esta temperatura comienza a degradarse la inulina (como se mostró en el apartado 4.2 del Capítulo 1: Análisis Térmico Diferencial y Estudio de termogravimetría). Por este motivo se evitó incrementar la temperatura de horneado. El procedimiento de elaboración de las galletitas fue el mismo que el utilizado anteriormente (apartado 3.3 del presente Capítulo).

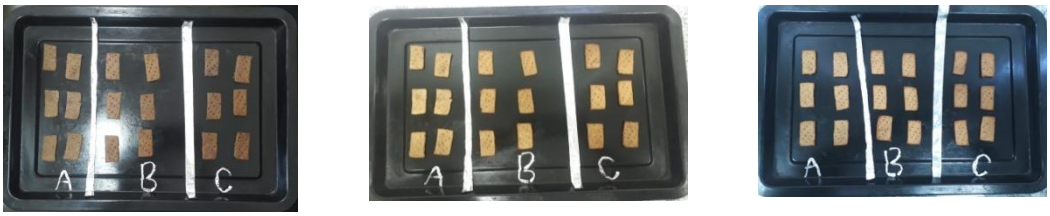


Fig. 2.23. Masas antes de hornear (izq.), galletitas de 8 minutos (medio) y 10 minutos de horneado a 150°C (der.).

4.3 COMPARACIONES TEXTURALES

4.3.1 COMPARACIÓN DE LAS MASAS (APT)

Con la finalidad de evaluar la influencia del aumento en el porcentaje de hidratación de las masas sobre su textura, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros firmeza, resiliencia, cohesividad, adhesividad y elasticidad de las masas de baja y elevada hidratación, al 70% (determinación realizada en texturómetro BROOCKFIELD PRO.CT, condiciones del test detalladas en el apartado 3.4.1 del presente Capítulo). En cada caso, los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (condiciones especificadas en el apartado 3.4.1 del presente Capítulo). En la Tabla 2.4 se comparan los resultados obtenidos.

Tabla 2.4. Textura de las masas correspondientes a las formulaciones elaboradas con alto y bajo nivel de hidratación.

[1]Alto %H	Firmeza (N)	Resiliencia	Cohesividad	Adhesividad (N/s)	Elasticidad
A	$2,05 \pm 0,15^{c,\beta}$	$0,20 \pm 0,01^{a,\alpha}$	$0,63 \pm 0,06^{a,\alpha}$	$0,35 \pm 0,15^{a,\alpha}$	$1,72 \pm 0,23^{a,\alpha}$
B	$5,67 \pm 0,73^{a,\beta}$	$0,14 \pm 0,01^{b,\alpha}$	$0,59 \pm 0,02^{a,\alpha}$	$0,42 \pm 0,15^{a,\alpha}$	$1,38 \pm 0,11^{a,\alpha}$
C	$4,03 \pm 0,74^{b,\beta}$	$0,15 \pm 0,02^{b,\alpha}$	$0,58 \pm 0,06^{a,\alpha}$	$0,39 \pm 0,10^{a,\alpha}$	$1,40 \pm 0,20^{a,\alpha}$
[2]Bajo %H					
$\mathbf{A_{opt}}$	$28,75 \pm 7,35^{a,\alpha}$	$0,16 \pm 0,03^{a,\alpha}$	$0,58 \pm 0,03^{a,\alpha}$	$0,20 \pm 0,04^{a,\alpha}$	$1,12 \pm 0,06^{a,\beta}$
$\mathbf{B_{opt}}$	$34,16 \pm 14,25^{a,\alpha}$	$0,14 \pm 0,01^{a,\alpha}$	$0,58 \pm 0,02^{a,\alpha}$	$0,20 \pm 0,10^{a,\alpha}$	$1,24 \pm 0,07^{a,\alpha}$
$\mathbf{C_{opt}}$	$33,52 \pm 8,11^{a,\alpha}$	$0,14 \pm 0,04^{a,\alpha}$	$0,56 \pm 0,02^{a,\alpha}$	$0,27 \pm 0,05^{a,\alpha}$	$1,12 \pm 0,07^{a,\beta}$

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar ([1]n=4, [2]n=2). Los supraíndices a, b y c indican diferencias significativas entre las medias en una misma columna para el mismo porcentaje de hidratación. Los supraíndices α y β indican diferencias significativas en una misma columna entre parámetros de textura de masas con distinto nivel de hidratación ($p<0,05$).

Los valores de firmeza de las masas al 70% de hidratación fueron notoriamente diferentes a los resultados obtenidos para las formulaciones elaboradas con bajo y constante contenido de agua. Las propiedades texturales de masas dependen en gran medida de la interacción harina-agua (Dhal y col., 2023). Las masas de bajo contenido de agua presentaron resultados de gran dispersión en comparación a las masas de mayor hidratación, esto se debe a que su estructura fue menos homogénea al tener menor proporción de agua, por lo que no se logró una incorporación totalmente uniforme de los ingredientes en su estructura. Se puede observar que, en todos los casos, las masas de elevada hidratación presentaron una firmeza mucho menor a las formulaciones del diseño experimental. Este comportamiento es acorde al reportado por otros autores, que indicaron que las masas presentaban menor rigidez y resistencia al amasado al incorporar mayor cantidad de agua en su elaboración (Hardt y col., 2014; Mastromatteo y col., 2013). Este comportamiento se atribuye a que el agua puede comportarse como un lubricante que favorece los fenómenos de relajación (Mastromatteo y col., 2013) al promover la hidratación de almidones, fibras, pentosanos y otros compuestos presentes en masas. De esta manera da como resultado una menor dureza.

Las masas de formulaciones A y C, con mayor contenido de HTPB, presentaron mayor elasticidad al incrementar el porcentaje de hidratación. Esta tendencia es acorde a la reportada por Hard y col. (2014) que elaboraron masas de harina de trigo con diferentes niveles de hidratación.

Para los parámetros de resiliencia, adhesividad y cohesividad no se encontraron diferencias al nivel de significancia testeado ($\alpha = 0,05$). Estos resultados indican que el porcentaje de agua en las masas influye principalmente en su dureza y en su elasticidad, aunque en menor medida, pero no influyen significativamente al resto de los parámetros en estudio.

Por otra parte, al nivel de significancia testeado, entre las tres masas de elevada hidratación con diferente composición no se observaron diferencias significativas para cohesividad, adhesividad y elasticidad. Sin embargo, la masa B presentó significativamente la mayor firmeza mientras que A, la mayor resiliencia. De acuerdo con las tendencias observadas, un incremento en el contenido de HTPB causó una disminución en la dureza de masas de elevada hidratación y un aumento en su resiliencia. Esto puede deberse al considerable contenido de agua añadido a la formulación A, en comparación a las otras masas. Los valores obtenidos fueron similares a los reportados por Agrahar-Murugkar y col. (2015), que determinaron perfil de textura en masas de harinas compuestas.

Es importante aclarar que las masas obtenidas al aumentar su hidratación fueron más fáciles de manejar que las anteriores elaboradas con bajo contenido de agua (5 g de agua cada 100 g de mezcla de harinas). Al tener una menor dureza se favoreció su amasado, estirado y corte para la elaboración de galletas. Por este motivo se decidió continuar los estudios con las formulaciones de elevada hidratación.

4.3.2 TEXTURA DE GALLETITAS

A fin de comparar los parámetros texturales de las galletas elaboradas y la influencia del tiempo de cocción se realizaron ensayos de ruptura de tres puntos en galletitas con las premezclas A, B y C de elevada hidratación para los dos tiempos de cocción probados: 8 y 10 minutos a 150°C (Tabla 2.5). Se utilizó un test de inferencia estadística a un nivel de significancia del 5%, con el lenguaje de programación Rgui versión 4.0.3 (R Core Team, 2022). Los valores corresponden a los promedios obtenidos de al menos ocho determinaciones ± desviación estándar (con las mismas condiciones detalladas anteriormente en el apartado 3.4.2 del presente Capítulo).

Tabla 2.5. Textura y humedad de galletitas con alta hidratación a dos tiempos de horneado.

Muestra (tiempo de cocción)	σ (MPa)	ε	E (MPa)	F (N)	y (mm)	Humedad (%)
A 8 min	$0,22 \pm 0,34^{a}$	$0,14 \pm 0,04^{a}$	$0,36 \pm 0,46^{a}$	$0,74 \pm 0,12^{b}$	$5,31 \pm 1,27^{a}$	$18,07 \pm 0,64^{a}$
A 10 min	$0,16 \pm 0,03^{b}$	$0,10 \pm 0,01^{b}$	$0,39 \pm 0,10^{a}$	$1,48 \pm 0,19^{a}$	$3,54 \pm 0,23^{b}$	$12,56 \pm 0,61^{b}$
B 8 min	$0,58 \pm 0,18^{b}$	$0,04 \pm 0,01^{a}$	$5,68 \pm 1,92^{b}$	$5,56 \pm 1,81^{b}$	$1,43 \pm 0,40^{a}$	$9,98 \pm 1,19^{a}$
B 10 min	$1,14 \pm 0,38^{a}$	$0,02 \pm 0,01^{b}$	$61,5 \pm 24,61^{a}$	$11,68 \pm 3,64^{a}$	$0,54 \pm 0,21^{b}$	$6,66 \pm 0,35^{b}$
C 8 min	$0,33 \pm 0,14^{b}$	$0,08 \pm 0,02^{a}$	$1,82 \pm 2,11^{b}$	$3,31 \pm 1,39^{b}$	$2,91 \pm 0,69^{a}$	$10,33 \pm 0,16^{a}$
C 10 min	$1,05 \pm 0,22^{a}$	$0,03 \pm 0,01^{b}$	$21,62 \pm 17,95^{a}$	$9,88 \pm 1,64^{a}$	$0,97 \pm 0,34^{b}$	$5,91 \pm 0,18^{b}$

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=8). Las letras diferentes en una misma columna, para una misma formulación, indican diferencias significativas entre las medias de las galletitas a distinto tiempo de cocción ($p<0,05$).

Al comparar una misma formulación con diferente tiempo de horneado se observó que para las formulaciones B y C, las galletitas de diez minutos de horneado presentaron mayor estrés de fractura (**σ**) y módulo de Young (**E**), y en todos los casos mostraron menor tensión de fractura (**ε**), con respecto a las de menor tiempo de cocción. Esto indica que las muestras horneadas por diez minutos tuvieron mejores propiedades texturales que las de ocho minutos. Otro indicio de esta tendencia puede observarse comparando la distancia recorrida por la sonda entre que toca la muestra y se produce la ruptura (**y**). A menor distancia, menos flexibilidad de la muestra, lo que es una característica deseable en este tipo de alimentos, ya que se asocia con la crocancia. Se puede observar en la Tabla 2.5 que este parámetro es significativamente menor para las

muestras horneadas durante diez minutos al nivel de significancia testeado. Este comportamiento puede relacionarse al menor contenido de humedad de las muestras de mayor tiempo de cocción, que también fue significativamente diferente para las tres formulaciones estudiadas. En todos los casos, la disminución del contenido de humedad se relacionó con una mejor crocancia: menor distancia recorrida por la sonda, menor tensión de fractura y una mayor fuerza requerida para la ruptura (**F**). Mandala y col. (2006) analizaron el efecto del contenido de humedad sobre la textura de galletas comerciales. Los autores reportaron que el aumento de humedad causó una disminución en la fuerza de ruptura. A su vez, indican que las galletas con mayor contenido de humedad mostraron un comportamiento gomoso. Los autores atribuyen esta tendencia al contenido de agua, que actúa como plastificante y promueve la disminución de la temperatura de transición vítrea del alimento. De esta manera, a menores temperaturas las galletas muestran cambios considerables en su estructura con el aumento en el contenido de humedad.

Por otra parte, al comparar los parámetros texturales de las diferentes formulaciones en las galletas horneadas a un mismo tiempo, las tendencias son similares para los dos tiempos de cocción. Se observa que la muestra A presentó significativamente menor fuerza de ruptura (**F**) y estrés de fractura (**σ**) que B y C, así como una mayor tensión de fractura (**ε**), lo que indica una textura gomosa de la galletita A respecto de las otras. Además, la formulación B presentó las mejores propiedades texturales: menor tensión de fractura y distancia recorrida por la sonda, así como mayor módulo de Young, parámetros que se relacionan directamente con la crocancia del alimento. Este comportamiento puede atribuirse al contenido de humedad de las muestras. Nuevamente, un menor contenido de humedad se relacionó con una mejora en la crocancia de las formulaciones. A su vez, es posible atribuir el porcentaje de humedad de cada muestra a su contenido de HTPB. A mayor contenido de esta harina, se agregó una mayor cantidad de agua a la formulación para alcanzar el porcentaje de hidratación establecido. De esta manera, la muestra A, que tuvo mayor contenido de HTPB, presentó los mayores valores de humedad, lo que impactó negativamente en su dureza y crocancia. Anteriormente, al analizar la textura de galletas del diseño experimental, se observó que un aumento en el contenido de HTPB causó una mayor dureza de las muestras. Si bien esta tendencia es contraria a la analizada en el presente estudio, es importante tener en cuenta que las muestras del diseño experimental tuvieron bajo y

constante contenido de agua, y todas presentaron una actividad acuosa similar. Mientras que, en el presente análisis, las galletas tuvieron un mayor agregado de agua que dio como resultado muestras con considerables diferencias en su contenido de humedad y, por lo tanto, sobre su textura. De esta manera es posible inferir que el contenido de humedad en galletas puede proporcionar mayor impacto sobre sus propiedades texturales, en comparación a las proporciones de mezclas de harinas utilizadas.

Finalmente, se realizó la determinación de estos mismos parámetros de textura sobre galletas comerciales (Crackers Mini Carrefour, Carrefour, Argentina). El propósito de este estudio fue comparar las formulaciones elaboradas en sus dos tiempos de cocción con un producto del mercado de consumo popular y con similar presentación, a fin de seleccionar las condiciones de horneado más adecuadas. Se obtuvieron valores de σ = 0,55 ± 0,05 MPa; ε = 0,02 ± 0,01; E = 41,91 ± 10,70 MPa; F = 8,34 ± 0,31 N; y = 0,72 ± 0,25 mm. Estos resultados presentan considerable similitud a los obtenidos en las formulaciones elaboradas con diez minutos de cocción. Esto podría estar indicando que las muestras tendrán buena aceptación sensorial por parte de los consumidores, al presentar textura semejante a este producto comercial. En el anexo B se adjuntan gráficos de los ensayos texturales de galletas para las formulaciones optimizadas y las muestras comerciales, a fin de comparar las curvas tipo obtenidas en cada caso.

Teniendo en cuenta los parámetros de textura obtenidos y el análisis realizado, se seleccionó un tiempo de cocción de 10 minutos a 150 ºC para continuar las experiencias, por presentar mejores características texturales en comparación a las muestras horneadas por 8 minutos: mayor módulo de Young y estrés de fractura, menor tensión de fractura y considerable similitud a los parámetros obtenidos en muestras comerciales.

4.4 OTRAS DETERMINACIONES

Para las formulaciones A, B y C con elevada hidratación y de diez minutos de cocción se determinó pH (AOAC 943.02, 1990) (el pH del agua utilizada fue de 7,20), humedad, actividad acuosa (AOAC 978.18, 1990), color y cambio de tamaño y peso (diferencia de volumen y peso antes y después de la cocción, respectivamente) (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Resultados de otras determinaciones para las galletas A, B y C horneadas 10 minutos a 150 ºC.

Muestra	pH	Humedad (%)	a_w	ΔV (cm^3)	ΔP (g)	Peso (g)
A	$6,23 \pm 0,03^a$	$12,56 \pm 0,61^a$	$0,52 \pm 0,01^a$	$0,10 \pm 0,03^a$	$0,73 \pm 0,23^a$	$1,89 \pm 0,53^a$
B	$6,23 \pm 0,01^a$	$6,66 \pm 0,35^b$	$0,32 \pm 0,01^c$	$0,16 \pm 0,01^a$	$0,76 \pm 0,07^a$	$2,12 \pm 0,20^a$
C	$6,22 \pm 0,02^a$	$5,91 \pm 0,18^b$	$0,45 \pm 0,01^b$	$0,17 \pm 0,09^a$	$0,74 \pm 0,29^a$	$2,21 \pm 0,51^a$

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=3). Las letras diferentes en una misma columna indican diferencia a nivel de significancia del 5% ($p<0,05$).

Las muestras tuvieron similar pH, diferencia de volumen y variación de peso por cocción a un nivel de significancia del 5%, lo que indica que la composición de harinas no influye en estas determinaciones. Los valores de pH obtenidos se encuentran en todos los casos dentro del rango presentado por las formulaciones del diseño experimental: entre 6,16 y 6,49. Esto indica que el aumento en el porcentaje de hidratación de las masas y las condiciones de horneado seleccionadas no tuvieron impacto sobre este parámetro. A su vez, el pH de las galletas también se encuentra dentro del rango especificado por la FDA para crackers comerciales: entre 5,65 y 7,32 (FDA, 2007). A priori es posible inferir que la composición de harinas de las muestras en estudio no tuvo influencia sobre la variación en su pH, diferencia de volumen y peso antes y después del horneado.

Las galletitas de la formulación A presentaron mayor humedad y actividad acuosa que B y C. Este comportamiento es esperable y puede explicarse debido a que esta formulación se preparó con mayor cantidad de agua. Es importante recordar que se utilizó 48,20 g de agua cada 100 g de harinas de la formulación A, mientras que se emplearon 19,05 g para la formulación B y 20,60 g para la formulación C.

Por otra parte, se determinó el color de masas A, B y C de elevada hidratación (Tabla 2.7) y de las galletitas de los dos tiempos de cocción (Tablas 2.8 y 2.9). Para la determinación de color de las muestras se calibró previamente el Colorímetro CROMA METER CR 3000. Para el color negro se obtuvieron los valores: L* = 13,89; a* = 2,31 y b* = -3,94. Y para el color blanco: L* = 94,71; a* = -1,20 y b* = -0,29.

Tabla 2.7. Color de las masas de las formulaciones A, B y C en índice CIELAB.

Muestra	L^*	a^*	b^*	Wi	SI
A	$37,38 \pm 2,82^{a}$	$1,25 \pm 0,53^{b}$	$18,24 \pm 0,66^{b}$	$34,77 \pm 2,90^{a}$	$18,29 \pm 0,69^{b}$
B	$33,07 \pm 0,81^{a,b}$	$3,29 \pm 0,25^{a}$	$24,63 \pm 1,55^{a}$	$28,60 \pm 1,11^{b}$	$24,85 \pm 1,56^{a}$
C	$28,63 \pm 1,00^{b}$	$3,04 \pm 0,34^{a}$	$22,32 \pm 1,71^{a}$	$25,16 \pm 0,98^{b}$	$22,53 \pm 1,65^{a}$

Los valores corresponden a promedios ± desviación estándar (n=9). Las letras diferentes en una misma columna indican diferencia a nivel de significancia del 5% ($p<0,05$).

La masa C resultó más oscura que A y B (menor L^*). A su vez, la masa A presentó menor tonalidad rojiza (menor a^*) y amarilla (menor b^*) que B y C. Se observó que la masa A fue más clara (mayor Wi), tuvo un mayor índice de saturación y menor pardeamiento que B y C. Esto indica que a mayor contenido de harina de topinambur, las masas presentarán mayor intensidad de color.

Para la diferencia total de color entre las muestras (ΔE), de acuerdo con Mokrzycki y Tatol (2011), a mayor valor, más notoria será la diferencia de color entre muestras. Así, si ΔE está entre 0 y 1 el observador no notará diferencia; si tiene valores entre 1 y 2, solo observadores experimentados podrán identificar diferencias de color; si está entre 2 y 3,5 observadores no experimentados también podrán notar diferencias; para ΔE entre 3,5 y 5 habrá una clara diferencia de color y si es mayor a 5, el observador detectará dos colores diferentes.

Al determinarse diferencia total de color (ΔE): entre las masas A y B se observó que la diferencia fue de 8,04 ± 2,60; entre A y C fue de 9,87 ± 2,90 y entre B y C de 5,09 ± 0,70. En todos los casos ΔE fue mayor a cinco, por lo que la diferencia de color se percibe claramente por el ojo humano de un espectador (Mokrzycki y Tatol, 2011).

En las Tablas 2.8 y 2.9 se presentan los resultados obtenidos para color de la cara frontal de las galletas de 8 y 10 minutos de cocción, respectivamente.

Tabla 2.8. Color frontal de galletitas (horneadas 8 minutos a 150 ºC).

Muestra	L^*	a^*	b^*	Wi	SI	Bi
A	$45,60 \pm 2,11^{a}$	$1,12 \pm 0,59^{b}$	$14,06 \pm 1,10^{b}$	$40,50 \pm 1,08^{a}$	$23,91 \pm 2,40^{a}$	$72,71 \pm 5,36^{b}$
B	$35,84 \pm 2,96^{b}$	$3,94 \pm 1,31^{a}$	$20,36 \pm 4,15^{a,b}$	$32,41 \pm 1,70^{b}$	$20,75 \pm 4,26^{a,b}$	$88,14 \pm 17,19^{a}$
C	$34,72 \pm 4,45^{b}$	$3,07 \pm 1,66^{a}$	$16,98 \pm 3,32^{a}$	$32,34 \pm 3,38^{b}$	$17,32 \pm 3,38^{b}$	$70,94 \pm 9,14^{b}$

Los valores corresponden a promedios ± desviación estándar (n=9). Las letras diferentes en una misma columna indican diferencia a nivel de significancia del 5% ($p<0,05$).

Las galletas de formulación A fueron más claras que B y C (mayor L^*) y tuvieron menor tonalidad rojiza (menor a^*). A su vez, presentaron mayor Wi. Anteriormente, en las experiencias realizadas durante el diseño experimental (con baja hidratación) se observó que un mayor contenido de HTPB contribuyó a la obtención de un color más oscuro en galletas. Si bien en este análisis la tendencia observada es contraria, este comportamiento puede atribuirse al mayor contenido de agua que lleva esta formulación. La dilución de azúcares en el alimento favorece el retraso de las reacciones de Maillard, que brindan el color pardo o tostado en galletas. Por otro lado la muestra B, con menor cantidad de agua, presentó mayor índice de pardeamiento (Bi). Otros autores encontraron una tendencia semejante con el cambio del nivel de hidratación. Un mayor contenido de agua se vio relacionado con la obtención de galletas más claras, aunque en un sistema diferente con incorporación de harina de soja y proteína de suero (Pérez y col., 2013). A su vez, las formulaciones A y B mostraron mayor saturación de color (SI) que C.

En cuanto a los resultados para diferencia total de color, se obtuvo: 12,60 ± 4,57 entre A y B; 13,18 ± 5,75 entre A y C y 8,16 ± 5,57 entre B y C. Esto indica que las muestras presentaron diferente color en todos los casos.

Tabla 2.9. Resultados de color para galletas de las formulaciones A, B y C de 10 minutos de cocción, cara frontal, en índice CIELAB. Los valores corresponden a promedios de al menos nueve mediciones ± desviación estándar.

Muestra	L^*	a^*	b^*	Wi	SI	Bi
A	$34,12 \pm 1,47^{a,b}$	$3,10 \pm 0,24^{b}$	$14,06 \pm 1,10^{b}$	$32,56 \pm 1,38^{a}$	$14,41 \pm 1,05^{c}$	$58,73 \pm 4,98^{b}$
B	$35,61 \pm 6,52^{a}$	$4,33 \pm 0,28^{a,b}$	$19,06 \pm 5,31^{a}$	$32,37 \pm 4,49^{a}$	$19,56 \pm 5,23^{a}$	$81,78 \pm 9,39^{a}$
C	$30,33 \pm 2,50^{b}$	$5,13 \pm 2,06^{a}$	$15,65 \pm 3,14^{a,b}$	$28,30 \pm 1,80^{b}$	$16,49 \pm 3,62^{b}$	$82,64 \pm 17,96^{a}$

Los valores corresponden a promedios ± desviación estándar (n=9). Las letras diferentes en una misma columna indican diferencia a nivel de significancia del 5% ($p<0,05$).

Para las galletas de 10 minutos de cocción las formulaciones A y B presentaron mayor L^*, lo que indica un color más claro. Por otra parte, los valores más altos de a^* y b^* fueron para las muestras B y C, lo que indicó mayor tonalidad rojiza y amarilla de estas galletas, respectivamente. Las muestras A y B fueron más claras que C (mayor Wi), lo que está en concordancia con los resultados obtenidos para L^*. Las tres muestras

presentaron diferente índice de saturación, siendo B la de mayor saturación. Nuevamente, las galletas A presentaron menor índice de pardeamiento que B y C. Al igual que lo observado para galletas de 8 minutos de cocción, el color más claro de la formulación A puede atribuirse a su mayor contenido de agua, que favoreció el retraso de las reacciones de pardeamiento. De todas formas, se puede observar que el aumento en el tiempo de cocción atenuó esta tendencia. Con respecto a la diferencia total de color (ΔE) fue de 7,0 ± 5,3 entre A y B; 6,5 ± 1,3 entre A y C y de 10,4 ± 6,3 entre B y C. En todos los casos ΔE fue mayor a 5 por lo que las galletas presentaron diferencia de color notoria.



Fig. 2.24. Parte frontal de galletitas horneadas 10 minutos a 150 ºC. Izq.: formulación A. Medio: formulación B. Der.: formulación C.

Se estimó también la diferencia total de color entre las formulaciones con distinto tiempo de horneado (8 y 10 minutos, respectivamente). Para la formulación A la diferencia total de color fue de 15,3 ± 4,6; para B fue de 4,0 ± 1,8 y para C fue de 6,3 ± 1,5. De acuerdo con los resultados obtenidos se detectan diferentes colores entre los dos tiempos de horneado para las muestras A y C ($\Delta E > 5$); mientras que para B observadores no experimentados podrán percibir diferencias de color ($\Delta E < 5$). Se puede concluir que el tiempo de cocción influyó sobre este parámetro, ya que las muestras presentaron diferencias de color observables.

En todos los casos, el color de las muestras en su cara posterior (en contacto con la bandeja de horneado) fue más oscuro que el de la cara frontal (Fig. 2.25). Este comportamiento es esperable ya que el calor de la bandeja en contacto con las galletas promueve su tostado en la parte posterior en comparación con la cara frontal.



Fig. 2.25. Parte posterior de las galletitas horneadas por 10 min. Izq.: formulación A. Medio: formulación B. Der.: formulación C.

5. CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de un diseño de mezcla simplex y de la metodología de superficies de respuesta fue posible obtener un amplio rango de resultados experimentales. Esto permitió alcanzar el objetivo de formular galletitas saludables a partir de harina de topinambur, trigo integral y amaranto, optimizando su composición en función de las propiedades texturales del producto final. Los resultados del diseño experimental indican que la proporción de harina de topinambur fue un factor de gran influencia sobre la textura de las galletitas. El aumento de este componente se asoció con mayores valores de módulo de Young y estrés de fractura, indicando una estructura más rígida y crocante. A su vez, se relacionó con una disminución de la tensión de fractura, que puede traducirse como una menor capacidad de deformación del alimento. Es posible atribuir este comportamiento al alto contenido de fibra soluble de esta harina, en particular inulina, que contribuye a la formación de una matriz más firme y compacta en el alimento. Por otra parte, al evaluar la textura de las masas se observó que presentaron elevada firmeza y la misma fue en incremento a medida que se incorporó mayor proporción de HTPB a la formulación. Además, las determinaciones fisicoquímicas (pH, color y actividad acuosa) se mantuvieron dentro de rangos adecuados, confirmando la estabilidad y calidad tecnológica de las formulaciones desarrolladas.

Mediante la optimización del diseño desarrollado se propuso maximizar el parámetro textural módulo de Young y minimizar el de tensión de fractura, a fin de obtener formulaciones de buena crocancia, un atributo deseable en galletas. Estos dos parámetros se relacionan con una mayor rigidez y menor deformación de las galletas, por lo que fue posible tomarlos como referencia al buscar un alimento con un perfil de textura crocante. A partir de las comparaciones texturales realizadas, se verificó que el modelo de regresión ajustado presentó una buena capacidad predictiva para las variables seleccionadas. De esta manera, fue posible identificar 3 formulaciones con perfiles texturales de buena crocancia combinando en distintas proporciones las tres harinas mencionadas. Las composiciones de estas premezclas se denominaron A_{opt}, B_{opt} y C_{opt}.

Posteriormente, se realizó un aumento del porcentaje de hidratación de las masas a un 70% de su capacidad de retención de agua, a fin de lograr una disminución de su dureza y mayor facilidad de manejo. Esta modificación en la formulación dio como resultado

una clara mejora de las propiedades texturales de las masas en cuestión, que hasta ese momento habían presentado elevada firmeza. Se obtuvieron masas con una dureza considerablemente menor y de fácil manejo a la hora de elaborar las galletas. A su vez, el aumento en el porcentaje de hidratación también contribuyó a mejorar la elasticidad de las masas. Por este motivo se decidió tomar este porcentaje de hidratación a la hora de elaborar las galletas.

Al aumentar el porcentaje de hidratación de las masas, y a fin de obtener un producto estable y de buenas propiedades sensoriales, se probaron dos nuevos tiempos de cocción a 150°C: 8 y 10 minutos. La temperatura se mantuvo constante a 150 ºC para evitar la degradación de inulina. Las galletitas de 10 minutos de cocción presentaron los mejores parámetros texturales, indicando una mayor crocancia con respecto a las de 8 minutos. Un claro indicio de esta tendencia fue un aumento en el módulo de Young y estrés de fractura y una disminución de la tensión de fractura y deformación de las galletas conforme incrementó el tiempo de horneado. Esta tendencia se vio directamente relacionada a la diferencia en el contenido de humedad de las muestras: un mayor contenido de humedad se asoció en todos los casos con una textura más gomosa. Este comportamiento se atribuye al contenido de agua, que tiene la capacidad de actuar como plastificante y favorece una disminución de la temperatura de transición vítrea del alimento, induciendo cambios en su textura. De esta manera, las muestras con mayor cocción presentaron menor contenido de humedad y, por ende, una textura más crocante. Además, se compararon los resultados obtenidos con una muestra comercial de presentación similar. Esta comparación reforzó la tendencia observada: un aumento en el tiempo de cocción proporcionó mejores características texturales en las galletas elaboradas. Por este motivo, se seleccionó el tiempo de cocción de 10 minutos a 150 ºC, al presentar mejores propiedades texturales y mayor similitud con muestras comerciales, con respecto a las galletas de 8 minutos de cocción.

A partir de las experiencias realizadas fue posible concluir que el contenido de agua proporcionó gran influencia sobre los parámetros de textura tanto en masas como en galletas. En todos los casos, un aumento en la cantidad de agua añadida contribuyó a la obtención de masas más blandas y fáciles de manejar. Pero, por otra parte, influyó de manera negativa sobre la textura de las galletas. Un aumento en el contenido de humedad se asoció con muestras más deformables y de menor crocancia. Además, presentó influencia sobre el color de galletas, que tendieron a un menor desarrollo de las

reacciones de pardeamiento conforme aumentó su contenido de humedad, aunque este efecto se vio atenuado conforme aumentó el tiempo de cocción. Por otra parte, con respecto al pH, no se observaron diferencias considerables al variar la cantidad de agua añadida a las galletas y los valores se mantuvieron dentro de los establecidos para este tipo de alimentos. A su vez la muestra A, con mayor contenido de agua, presentó mayor humedad y actividad acuosa que B y C, aunque en todos los casos los resultados obtenidos fueron adecuados para este tipo de alimentos.

Es posible concluir que, para formulaciones de baja hidratación, el contenido de HTPB tuvo gran influencia sobre la textura de masas y galletas proporcionando mayor firmeza y crocancia, respectivamente. Mientas que, al aumentar el porcentaje de hidratación, la textura de los productos obtenidos se vio influenciada en mayor medida en función de la cantidad de agua agregada en masas, que causó una disminución en su dureza, y al contenido de humedad en galletas, que dio como resultado una textura menos crocante.

Cabe destacar que, en todos los casos, las formulaciones seleccionadas A, B y C tuvieron un elevado contenido de HTPB, que varió entre 45% para la muestra B hasta un 75% para la muestra A. De esta manera, se puede concluir que es posible lograr una elevada incorporación de harinas funcionales, particularmente de topinambur, en la formulación de galletas de manera tal de mejorar sus propiedades nutricionales, como el contenido de fibra, sin comprometer su calidad tecnológica.

6. REFERENCIAS

Agrahar-Murugkar, D., Gulati, P., Kotwaliwale, N., & Gupta, C. (2015). Evaluation of nutritional, textural and particle size characteristics of dough and biscuits made from composite flours containing sprouted and malted ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, *52*, 5129-5137. DOI: 10.1007/s13197-014-1597-y

Akkozha, I. S., Iztayev, A., Iztayev, B. A., Mukhtarkhanova, R. B., & Yakiyayeva, M. A. (2023). Accelerated technology for bread preparation using activated water. *Slovak Journal of Food Sciences*, *17*.

Ámbito (7 de diciembre de 2024). Argentina en el segundo país que más snacks consume: ¿ganan las galletitas dulces o saladas? *Ámbito*. Recuperado en junio de 2025 de https://www.ambito.com/lifestyle/argentina-el-segundo-pais-que-mas-snacks-consume-ganan-las-galletitas-dulces-o-saladas-n6090522

Antony, J. (2023). *Design of experiments for engineers and scientists*. Elsevier.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15º Edición. 1990.

Ayed, C., Lim, M., Nawaz, K., Macnaughtan, W., Sturrock, C. J., Hill, S. E., ... & Fisk, I. D. (2021). The role of sodium chloride in the sensory and physico-chemical properties of sweet biscuits. *Food Chemistry: X*, *9*, 100115.

Ayeni, F. A., Malomo, A. A., & Ikujenlola, A. V. (2024). Physicochemical Characteristics of Biscuits Produced from Gluten-Free Amaranth Seed and Tiger Nut Composite Flour. *Acta Universitatis Cinbinesis, Series E: Food Technology*, *28*(1).

Baltsavias A., Jurgens A. y Van Vliet T. (1997). Factors affecting fracture properties of short-dough biscuits. *Journal of Texture Studies 28*, 205-219.

Bhagwat, V. R. (2019). Safety of water used in food production. In *Food safety and human health* (pp. 219-247). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-816333-7.00009-6

Blanco Canalis M.S., León A.E. y Ribotta Pablo D. (2017). Effect of inulin on dough and biscuit quality produced from different flours. *International Journal of Food Studies, 6*, 13 – 23. DOI: 10.7455/ijfs/6.1.2017.a2

Blanco Canalis, M. S., Valentinuzzi, M. C., Acosta, R. H., Leon, A. E., & Ribotta, P. D. (2018). Effects of fat and sugar on dough and biscuit behaviours and their relationship to proton mobility characterized by TD-NMR. *Food and Bioprocess Technology*, *11*(5), 953-965.

Canali, G., Balestra, F., Glicerina, V., Pasini, F., Caboni, M. F., & Romani, S. (2020). Influence of different baking powders on physico-chemical, sensory and volatile compounds in biscuits and their impact on textural modifications during soaking. *Journal of food science and technology*, *57*(10), 3864-3873.

Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of food science and technology*, *52*(6), 3681-3688.

Chaturvedi, S., Kulshrestha, S., Bhardwaj, K., & Jangir, R. (2021). A review on properties and applications of xanthan gum. *Microbial polymers: applications and ecological perspectives*, 87-107.

Código Alimentario Argentino (2025). Código Alimentario Argentino. Argentina.Gob.ar. Recuperado el día 21 de abril de 2026 de https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario

Costanzo M. M., Comelli N. A., Conforti P. A., Quiroga J. M, Ponzi M. I. (2019a) Use of sourdoughs for the elaboration of healthy cookies. XXXVII Reunión científica Annual de la Sociedad Biológica de Cuyo. 5-6 de diciembre, 2019, San Luis, Argentina.

Costanzo M.M., Comelli N.A., Conforti P., Quiroga J.M. y Ponzi M.I. (2019b) Elaboración de galletitas saludables usando harinas de Topinambur y Amaranto. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. CyTAL – ALACCTA. UCA. Buenos Aires, Argentina.

Dhal, S., Anis, A., Shaikh, H. M., Alhamidi, A., & Pal, K. (2023). Effect of mixing time on properties of whole wheat flour-based cookie doughs and cookies. *Foods, 12*(5), 941.

Díaz A., Bomben R., Dini C., Viña S.Z., García M.A., Ponzi M. & Comelli N. (2019). Jerusalem artichoke tuber flour as a wheat flour substitute for biscuit elaboration. *LWT, 108*, 361 – 369. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.082

Ettoumi, L. Y., & Chibane, M. (2015). Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*, *22*(3), 987.

Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*, 283-323.

FDA (2007). US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. PH values of food products. *Journal of Food Engineering, 34*(3): 98-99.

Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J. T., Bálint, M., Fazekas-Pongor V., Csípo T., Rzasa-Duran E. & Varga, P. (2025). Functional Foods in Modern Nutrition Science: Mechanisms, Evidence, and Public Health Implications. *Nutrients*, *17*(13), 2153.

Gilabert, E., & Martínez-Verdú, F. M. (2007). Medida de la luz y el color. *Editorial: Universidad Politécnica de Valencia*.

Goicoechea, Hector Casimiro (2018). Experimental Design; CRC Press - *Taylor & Francis Group*, 187-206.

Goswami, M., Sharma, B. D., Mendiratta, S. K., Pathak, V., Kumar, R. R., Talukdar, S., & Sharma, H. (2015). Standardization of formulation and processing conditions for development of nutritional carabeef cookies. *Nutrition & Food Science, 45*(5), 677-687. DOI: http://dx.doi.org/10.1108/NFS-02-2015-0017

Goubgou, M., Songré-Ouattara, L. T., Bationo, F., Lingani-Sawadogo, H., Traoré, Y., & Savadogo, A. (2021). Biscuits: a systematic review and meta-analysis of

improving the nutritional quality and health benefits. *Food Production, Processing and Nutrition, 3*(1), 26.

Gupta, P. K. (2018). Chapter 15 – Veterinary toxicology. Illustrated toxicology: with study questions. *Academic Press,* 247-517. ISBN 9780128132135, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813213-5.00015-8.

Hardt, N. A., Boom, R. M., & Van der Goot, A. J. (2014). Wheat dough rheology at low water contents and the influence of xylanases. *Food Research International*, *66*, 478-484.

Hasmadi, M., Noorfarahzilah, M., Noraidah, H., Zainol, M. K., & Jahurul, M. H. A. (2020). Functional properties of composite flour: A review. *Food Research, 4*(6), 1820-1831.

Heitmann, M., Zannini, E., Axel, C., & Arendt, E. (2017). Correlation of flavor profile to sensory analysis of bread produced with different Saccharomyces cerevisiae originating from the baking and beverage industry. *Cereal Chemistry*, *94*(4), 746-751.

Hou, Y., Wei, M., Wu, Y., & Ouyang, J. (2024). In vitro digestibility of starch and protein in cooked wheat and oat whole flours: A comparative study. *Food Chemistry*, *440*, 138203.

Jeltema, M. A., Zabik, M. E., & Thiel, L. J. (1983). Prediction of cookie quality from dietary fiber components. *Cereal Chemistry*, *60*(3), 227-230.

Karki, R. (2016). Study on the Preparation of Biscuit and Cake from Amaranthus and Sorghum. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, *9*, 79-84.

Kasim, R., & Kasim, M. U. (2015). Biochemical changes and color properties of fresh-cut green bean (Phaseolus vulgaris L. cv. gina) treated with calcium chloride during storage. *Food Science and Technology, 35*, 266-272.

Katina, K., Hartikainen, K. & Poutanen, K. (2014). Chapter 2 – Process-Induced changes in rye foods – Rye baking. Rye and health. AACC International Press, 2014, 7-21. ISBN 9781891127816. https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-81-6.50002-X.

Kaur, K. (2025). Application and Challenges of Using Probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* to Enhace Overall Health and Manage Diseases. *Diseases, 13*(10), 345.

Khaneghah, A. M. (2018) Probiotics and Prebiotics as Functional Foods: State of Art. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal, 13*(3). DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.13.555884

Kumar, R., & Samsher, C. S. (2016). Studies on proximate analysis of biscuits using multigrain flours during ambient condition. *International Journal of Food Science and Nutrition*, *1*(2), 39-41.

Lang, T. (2007). Functional foods. *BMJ*, *334*(7602), 1015-1016.

Lee, Y. J., Kim, D. B., Lee, O. H., & Yoon, W. B. (2016). Characterizing texture, color and sensory attributes of cookies made with jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) flour using a mixture design and browning reaction kinetics. *International Journal of Food Engineering*, *12*(2), 107-126.

León, A. E., Gómez, M., & Campanella, O. H. (2022). Non-traditional ingredients and processes for the development of grain-based foods. *International Journal of Food Science and Technology*, *57*(8), 4687-4688.

López, D. N., Galante, M., Raimundo, G., Spelzini, D., & Boeris, V. (2019). Functional properties of amaranth, quinoa and chia proteins and the biological activities of their hydrolyzates. *Food Research International*, *116*, 419-429. DOI:10.1016/j.foodres.2018.08.056

Majzoobi, M., Mansouri, H., Mesbahi, G., Farahnaky, A., & Golmakani, M. T. (2016). Effects of sucrose substitution with date syrup and date liquid sugar on the physicochemical properties of dough and biscuits.

Mamat, H., Ibrahim, S. N., Ronie, M. E., Aziz, A. H. A., Kobun, R., Pindi, W., Yin, F. H., Roslan, J., Ridhwan, N. M., Mantihal, S., Zainol, M. K. & Putra, N. R. (2025). Composite Flour as an Innovative Food Ingredient in Bakery Products: A Review. *International Journal of Food*, *2*(1), 11-24.

Mandala, I. G., Ioannou, C. A., & Kostaropoulos, A. E. (2006). Textural attributes of commercial biscuits. Effect of relative humidity on their quality. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(7), 782-789.

Mastromatteo, M., Guida, M., Danza, A., Laverse, J., Frisullo, P., Lampignano, V., & Del Nobile, M. A. (2013). Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by dough water content. *Food Research International*, *51*(2), 458-466.

MINCyT (2016). Alimentos funcionales. Ministerio de Innovación Ciencia y Tecnología. Recuperado en diciembre de 2021 de http://www.mincyt.gob.ar/estudios/alimentos-funcionales

Mokrzycki, W. S., & Tatol, M. (2011). Colour difference Δ EA survey. *Machine Graphics and Vision, 20*(4), 383-411.

Moras B., Rey S., Vilarem G., Pontalier P-Y. (2017). Pressurized water extraction of isoflavones by experimental design from soybean flour and soybean protein isolate. *Food Chemistry 214*, 9–15.

Mostafa, M., Fakharany, A., & Abbas, M. (2021). Replacing effect of Jerusalem artichoke flour (Helianthus tuberosus L.) instead of margarine on shortened biscuit characteristics. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, *35*(2), 259-273.

Mudgil D., Barak S., Khatkar B.S. (2017). Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT, 80*, 537-542. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.009

Myers R.H., Montgomery D.C. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (Wiley Series in Probability and Statistics). Wiley, New York.

Nachón, M. N., Arias, C., Nitsch Montie, C., Penny, E., Melgar Cuellar, F., Araya Fonseca, C., & Montúfar Guardado, R. (2023). Alimentación y riesgo cardiovascular. *Medicina (Buenos Aires)*, *83*, 4-6.

Ndanuko, R. N., Tapsell, L. C., Charlton, K. E., Neale, E. P., & Batterham, M. J. (2016). Dietary patterns and blood pressure in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Advances in Nutrition*, *7*(1), 76-89.

Obayomi, O. V., Olaniran, A. F., & Owa, S. O. (2024). Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. *Journal of Functional Foods*, *119*, 106337.

Olamiti, G., & Ramashia, S. E. (2024). Impact of Composite Flour on Nutritional, Bioactive and Sensory Characteristics of Pastry Foods: A Review. *Current Research in Nutrition & Food Science*, *12*(3).

Olawoye, B., & Gbadamosi, S. O. (2020). Influence of processing on the physiochemical, functional and pasting properties of Nigerian Amaranthus viridis seed flour: a multivariate analysis approach. *SN Applied Sciences*, *2*(4), 607.

Olveira, G., & González-Molero, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y nutrición, 63*(9), 482-494.

Oniszczuk, A., Oniszczuk, T., Gancarz, M., & Szymańska, J. (2021). Role of gut microbiota, probiotics and prebiotics in the cardiovascular diseases. *Molecules*, *26*(4), 1172.

Pădureţ, S. (2025). Textural Evaluation of Milk Products: Instrumental Techniques, Parameters, and Challenges. *Dairy*, *6*(5), 58.

Panghal, A., Navnidhi, C. V., & Khatkar, B. S. (2011). Effects of minor ingredients on quality of cookies. *Annals of Agri-Bio Research, 16*(1), 79-84.

Paredes, J., Cortizo-Lacalle, D., Imaz, A. M., Aldazabal, J., & Vila, M. (2022). Application of texture analysis methods for the characterization of cultured meat. *Scientific Reports*, *12*(1), 3898.

Patel, M. B., Shaikh, F., Patel, V., & Surti, N. I. (2017). Application of simplex centroid design in formulation and optimization of floating matrix tablets of metformin. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *7*, 023-030.

Pérez, S., Matta, E., Osella, C., de la Torre, M., & Sánchez, H. D. (2013). Effect of soy flour and whey protein concentrate on cookie color. *LWT-Food Science and Technology*, *50*(1), 120-125.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rodriguez-Garcia, J., Ding, R., Nguyen, T. H., Grasso, S., Chatzifragkou, A., & Methven, L. (2022). Soluble fibres as sucrose replacers: Effects on physical and sensory properties of sugar-reduced short-dough biscuits. *LWT*, *167*, 113837.

Rosenthal, A. J., & Thompson, P. (2021). What is cohesiveness?—A linguistic exploration of the food texture testing literature. *Journal of Texture Studies*, *52*(3), 294-302. https://doi.org/10.1111/jtxs.12586

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2006). Mixing properties of fibre-enriched wheat bread doughs: A response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, *223*(3), 333-340.

Rubel, I. A., Pérez, E. E., Manrique, G. D., & Genovese, D. B. (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food structure*, *3*, 21-29.

Sahi, S. (2016). Egg as a vital baking ingredient. Campden BRI food and drink innovation. UK.

Savaliya A., Rathi N., & Patani P. (2023). REVIEW ON: BITTERNESS OF ARTIFICIAL SWEETENERS. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology, 30*(19), 1976-1984. https://doi.org/10.53555/jptcp.v30i19.4123

Sharma, S., Sharma, R., & Singh, B. (2022). Influence of bioprocessing treatments on phytochemical and functional properties, in vitro digestibility, protein secondary structure and morphological characteristics of Indian barnyard millet flour. *International Journal of Food Science and Technology*, *57*(8), 4744-4753.

Sibian, M. S., & Riar, C. S. (2020). Formulation and characterization of cookies prepared from the composite flour of germinated kidney bean, chickpea, and wheat. *Legume Science*, *2*(3), e42. DOI: https://doi.org/10.1002/leg3.42

Siddiqui, S., Maheshwari, B., Pant, P., & Srivastava, A. (2024). Phytochemicals In Functional Foods: Fortifying Nutritional Value And Health Benefits. *Reviews in Food and Agriculture (RFNA)*, *5*(2), 112-121.

Singh, A., & Punia, D. (2020). Characterization and nutritive values of amaranth seeds. *Current Journal of Applied Science and Technology*, *39*(3), 27-33.

Song, C., & Kawai, R. (2023). Monte Carlo and variance reduction methods for structural reliability analysis: A comprehensive review. *Probabilistic Engineering Mechanics*, *73*, 103479.

Soriano-García M., Aguirre-Díaz I.S. (2019) Nutritional Functional Value and Therapeutic Utilization of Amaranth. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.86897

Souad, B. (2024). Hydrogenated oils and public health: a scientific analysis of trans fats and disease. Brazilian Journal of Health Review, 7(9), e74771-e74771.

Stanaway, J. D., Afshin, A., Ashbaugh, C., Bisignano, C., Brauer, M., Ferrara, G., Garcia, V., Haile, D., Hay, S. I., He, J., Iannucci, V., Lescinsky, H., Mullany, E., Parent, M. C., Serfes, A. L., Sorensen, R. D. J., Aravkin, A. Y., Zheng, P. & Murray, C. J. L. (2022). Health effects associated with vegetable consumption: a Burden of Proof study. *Nature medicine*, *28*(10), 2066-2074.

Takeuchi, J., & Nagashima, T. (2011). Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry, 126*(3), 922-926. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080

Tanimola, A. R., Otegbayo, B. O., & Akinoso, R. (2016). Chemical, functional, rheological and sensory properties of amaranth flour and amaranth flour based paste. *African Journal of Food Science, 10*(11), 313-319.

Tarancón, P., Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S., & Tárrega, A. (2015). Use of healthier fats in biscuits (olive and sunflower oil): changing sensory features and their relation with consumers' liking. *Food Research International, 69*, 91-96.

Temple, N. J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in nutrition*, *9*, 957516.

Texture Analysis Professionals. (12 de diciembre de 2017). *Physical Property Measurement: Fracture Testing in Bending*. Stable Micro Systems. https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2017/12/physical-property-measurement-fracture_12.html

Torres-Salas, V., Hernández-Montes, A., & Hernández-Rodríguez, B. E. (2023). Análisis sensorial, textural y actividad antioxidante de queso añejo de Zacazonapan durante la maduración. *Biotecnia*, *25*(2), 204-213.

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace.

Vaskova, H., & Buckova, M. (2015). Thermal degradation of vegetable oils: spectroscopic measurement and analysis. *Procedia Engineering, 100*, 630-635.

Yang, Y., Guan, E., Zhang, T., Li, M., & Bian, K. (2019). Influence of water addition methods on water mobility characterization and rheological properties of wheat flour dough. *Journal of cereal science*, *89*, 102791.

Young, W.C. (1989). Roark's Fonnulas for Stress & Strain, 6th Edition, McGraw-Hill, New York, USA

Yovchev, A. G., & Le-Bail, A. (2021). Effect of Jerusalem artichoke flour on wheat dough physical and mechanical properties. *Applied Food Research*, *1*(2), 100026.

Zbikowska, A., Kowalska, M., Zbikowska, K., Onacik-Gür, S., Łempicka, U., & Turek, P. (2022). Study on the incorporation of oat and yeast β-glucan into shortbread biscuits as a basis for designing healthier and high quality food products. *Molecules*, *27*(4), 1393.

Zlatev, Z., Kolev, T., Taneva, I., & Baycheva, S. (2022). INFLUENCE OF AMARANTH (AMARANTHUS SPP.) FLOUR ON THE MAIN CHARACTERISTICS OF BUTTER BISCUITS. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, *23*(4), 273-293.

Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT, 44*(10), 2070-2076.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS SENSORIAL. COMPOSICIÓN Y ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE ALMIDÓN DE LA FORMULACIÓN MEJOR PUNTUADA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANÁLISIS SENSORIAL DE ALIMENTOS

En 1975 la División de Evaluación Sensorial de Instituto de Tecnólogos de Alimentos de Estados Unidos propuso la siguiente definición de evaluación sensorial: "*es una disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a esas características de los alimentos y materiales tal como son percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído*" (Anónimo, 1975 como se citó en Prinyawiwatkul y Tepper, 2023). Si bien esta definición parece amplia, debe considerarse en un contexto más integral. En el pasado, era común considerar la evaluación sensorial como una prueba de sabor que mide el gusto y la aceptación pero, actualmente, esta disciplina implica mucho más. Las aplicaciones de la evaluación sensorial se han extendido más allá de la caracterización de alimentos y bebidas a otros campos como, por ejemplo, los productos de cuidado personal, alimentos para mascotas y, actualmente, para el desarrollo de nuevos productos, reducción de costos de producción, inserción en nuevos mercados, etc., en los cuales la información sensorial es clave (Prinyawiwatkul y Tepper, 2023).

Se tiene registro del primer panel sensorial a comienzos del siglo 19. El mismo fue realizado por el gourmet francés Alexandre Grimod de Reyneire, quien conformó el "Jury degustateur", integrado por 5 a 12 panelistas que evaluaban a ciegas vinos y platos en restaurantes (Hugh, 2018).

La escala hedónica de 9 puntos, utilizada actualmente, surgió en la década de los 40. Es el resultado de contribuciones entre Arthur D. Little Inc., quién incorporó el método de perfil del sabor, y el ejército estadounidense que, preocupado por la calidad de la comida de sus soldados, reunió a psicólogos, tecnólogos de alimentos y estadísticos en estudios enfocados a la preferencia. La evaluación sensorial de alimentos como ciencia es relativamente reciente, sin embargo, hoy en día es ampliamente establecida y aceptada por la industria de alimentos (Hugh, 2018).

La evaluación sensorial vincula la investigación y el desarrollo, relacionando aspectos técnicos de alimentos con el comportamiento de los consumidores. Existen diferentes tipos de metodologías de análisis sensorial. A la hora de realizar estudios sensoriales sobre alimentos es de suma importancia seleccionar un método apropiado en base al objetivo del estudio y al tipo de información deseada. Existen tres tipos de pruebas sensoriales comúnmente utilizadas, las denominadas afectivas, descriptivas y discriminativas, con diferentes objetivos y criterios para seleccionar jueces, que pueden ser asesores entrenados o consumidores (Capitani y Rodríguez, 2023).

Las pruebas descriptivas se utilizan para identificar y cuantificar propiedades o atributos de alimentos. Es una de las pruebas más sofisticadas en el campo científico de la evaluación sensorial. Provee la base para la identificación de las características sensoriales que son relevantes para la aceptabilidad. Se realizan mediante paneles de jueces de 5 a 15 personas cuando se trata de productos típicos de supermercado, y con mayor cantidad de jueces en el caso de alimentos de producción masiva, en los cuales las pequeñas diferencias son significativas. Los panelistas deben describir qué detectan a nivel sensorial al consumir el alimento. Entre las propiedades que se evalúan se incluyen apariencia, aroma, sabor y textura. Los panelistas deben aprender a identificar, diferenciar y puntuar los atributos y decidir su presencia o ausencia en la muestra.

El método descriptivo es una herramienta útil para la investigación, el desarrollo y la manufactura de productos, en especial de alimentos, ya que permite definir:

- las propiedades sensoriales de un producto para nuevos desarrollos,
- las características/especificaciones de control para determinadas aplicaciones,
- la selección de atributos a ser incluidos en el cuestionario y contribuye en la explicación de los resultados del test de consumidores. Además, permite evaluar cambios sensoriales de un producto a través del tiempo para determinar vida útil, "packaging", etc.

Este tipo de análisis se utilizó para evaluar las propiedades sensoriales de las galletas elaboradas con topinambur.

Por otro lado, el objetivo de las pruebas discriminativas es evaluar si existe alguna diferencia perceptible entre dos tipos de productos. Estas pruebas pueden evaluar las diferencias en un cierto atributo (comparaciones pareadas, o comparaciones múltiples) o bien, la diferencia general entre muestras (dúo-trio o triángulo).

Finalmente, las pruebas afectivas buscan cuantificar el grado de satisfacción o desagrado de un producto incluyendo varias versiones alternativas del mismo y ver si hay una clara tendencia a elegir uno de ellos por la mayoría de los panelistas. Generalmente se requiere un considerable número de panelistas para efectuar estas pruebas, entre 75 y 150 consumidores habituales del producto. La cantidad de jueces de un panel de una prueba afectiva depende de la variabilidad de las respuestas individuales. Si la variabilidad es muy grande se debe compensar con un mayor número de personas, de manera tal de asegurar una estadística apropiada. A su vez, esta prueba brinda una oportunidad para buscar potenciales consumidores de diferentes estilos de un producto (colores, sabores, texturas, entre otros). También puede servir para sondear información de diagnóstico relativa a las razones de gusto o disgusto de un producto (Hugh, 2018).

1.2 ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO*

Al ingerir un alimento rico en carbohidratos, la velocidad a la que se digiere el almidón es una característica importante nutricionalmente, ya que influirá en la cantidad y velocidad a la cual se absorberá la glucosa. Tener niveles crónicos altos, de glucosa postprandial, frecuentemente se asocian a enfermedades como obesidad, resistencia a la insulina y diabetes tipo 2, mientras que mantener niveles bajos y estables de glucosa, podría prevenir eficazmente enfermedades no transmisibles como enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes, entre otras (Peng y col., 2023). El índice glicémico de un alimento (GI, por su abreviatura en inglés), permite clasificar a los carbohidratos que se ingieren en un alimento, teniendo en cuenta la habilidad para producir el aumento de glucosa en sangre. Serán alimentos con GI elevados aquellos con valores mayores a 70, mientras que si los valores dan menor a 55 serán de bajo GI (Peng y col., 2023). Se requieren de estudios, *in vivo*, con voluntarios sanos, midiendo el incremento de la glucemia post pandrial de una porción de alimento respecto a una carga isoglucídica de un alimento considerado estándar que puede ser glucosa o pan blanco (Arteaga Llona, 2006). Estos estudios son laboriosos y complejos, y no siempre se pueden llevar a cabo desde el punto de vista ético y financiero, por ello, se emplean modelos *in vitro* y con animales, para predecir el GI (Li & Hu, 2022). Existen estudios donde realizan correlaciones entre la velocidad de digestión del almidón y la respuesta

glicémica, por técnicas *in vitro* (Kim y White, 2012). Se han desarrollado varios modelos para analizar la digestibilidad *in vitro*, se emplean enzimas y luego aplican ecuaciones matemáticas para predecir el GI del alimento (Wang y col., 2023). Respecto de las enzimas, hay protocolos donde emplean una combinación de enzimas para simular el tracto gastrointestinal humano mientras que otras utilizan protocolos de una sola enzima.

Por todo lo anterior, es bueno realizar algún método para medir la digestibilidad del almidón del alimento, a fin de poder hacer inferencias desde el punto de vista nutricional.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar la formulación de mejor aceptabilidad sensorial y analizar sus propiedades nutricionales, fisicoquímicas y de digestibilidad de almidón *in vitro* para evaluar su potencial adecuación a personas con diabetes. Determinar los efectos de aditivos e ingredientes sobre la formulación seleccionada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar entre las formulaciones A, B y C, la formulación de galletas con mayor aceptabilidad sensorial.
- Caracterizar fisicoquímica y nutricionalmente la formulación de galleta seleccionada, mediante determinación de su composición proximal (humedad, cenizas, grasas, proteínas, fibra y carbohidratos), contenido calórico, fenoles totales y capacidad antioxidante. Estimar el aporte teórico en aminoácidos, teniendo en cuenta la composición de las harinas.
- Evaluar la digestibilidad *in vitro* de almidón de la formulación seleccionada para estimar la liberación de sacáridos y poder evaluar su potencial adecuación a personas con diabetes.
- Determinar la influencia de ingredientes y aditivos (aceite, goma xántica, sal, agua, crémor tártaro y bicarbonato de sodio), sobre la formulación seleccionada.

Disminuir o suprimir el uso de los mismos para comprender el aporte de cada uno sobre la calidad tecnológica del producto final, en cuanto a parámetros como textura, color, pH, entre otros.

- Estimar el aporte nutricional teórico de las variantes de la formulación seleccionada, considerando el contenido de grasas totales, azúcares, calorías y sodio, para evaluar su adecuación a las normativas de etiquetado frontal de alimentos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ANÁLISIS SENSORIAL

En este trabajo de tesis, el ensayo sensorial se realizó con el objetivo de evaluar diferencias significativas entre las formulaciones A, B y C del capítulo anterior (Tabla 3.1), en cuanto a sus atributos de color, aroma, textura, sabor y aceptabilidad general. De manera de poder seleccionar la muestra de mayor aceptación al nivel de significancia testeado ($\alpha = 0,05$) para realizar los estudios posteriores mencionados.

Las galletas fueron elaboradas mediante la metodología descripta en el apartado 3.3 del Capítulo 2, recordando que se utilizaron 48,20 g de agua para A, 19,05 g para B y 20,60 g para C cada 100 g de mezclas de harinas. Las condiciones de cocción fueron de 10 minutos a 150 ºC.

Tabla 3.1. Composición farinácea de las formulaciones sometidas al panel sensorial.

Formulación	Composición de harinas
A	75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA
B	45% HTPB + 50% HTI + 5% HA
C	59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA

Nota: HTPB: harina de topinambur de piel blanca, HTI: harina integral de trigo; HA: harina de amaranto.

Se realizó un panel sensorial descriptivo en el laboratorio D del Bloque II de Química de FICA – UNSL que estuvo conformado por 41 panelistas voluntarios no entrenados (49% hombres y 51% mujeres), de entre 18 y 65 años. Se presentaron las muestras en

orden aleatorio codificadas con números de tres cifras seleccionados al azar. Los panelistas debieron puntuar los atributos color, aroma, sabor y textura en escala de 5 puntos, just about right (JAR) (Johnson M., 2021; Li y col., 2014), en la cual 3 es el puntaje ideal. Para el atributo color, el puntaje 1 representó "demasiado claro" y el 5 "demasiado oscuro"; para aroma y sabor los extremos fueron definidos como "demasiado suave" y "demasiado intenso" mientras que, para textura, los extremos fueron "demasiado blando" y "demasiado duro". Para evaluar la aceptabilidad general, se empleó una escala hedónica de 9 puntos, en la cual un mayor puntaje representó mayor aceptabilidad (Stone y col., 2020; Kalva y col., 2014). En el Anexo C se muestra la planilla que se utilizó para el análisis sensorial.

3.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y NUTRICIONAL DE LA FORMULACIÓN SELECCIONADA

Utilizando técnicas ya descriptas anteriormente en el Capítulo 1, se realizaron los siguientes análisis sobre la muestra de mejor aceptabilidad sensorial: humedad (AOAC 925.10, 1990), cenizas (AOAC 942.05, 1990), proteínas (AOAC 920.87, 1990), grasas (AOAC 920.39, 1990), fibra dietaria total (TDF) (AOAC 991.43, 1985), fibra soluble (Díaz y col., 2019), color (apartado 3.2.3.2 del Capítulo 1, se obtuvieron los parámetros en índice CIELAB L^*, a^* y b^*), actividad acuosa (AOAC 978.18, 1990), carbohidratos totales (por diferencia), contenido calórico (Atwater y Bryant, 1900) y pH (AOAC 943.02, 1990). Los análisis se realizaron al menos por triplicado. También se determinó el perfil de aminoácidos de la mezcla de harinas en forma teórica. El propósito de estos estudios fue caracterizar fisicoquímica y nutricionalmente el alimento elaborado, de manera tal de profundizar el conocimiento existente sobre galletas de buena aceptación sensorial con contenido de topinambur.

3.2.1 FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Se determinó el contenido de fenoles totales, poder antioxidante reductor férrico (FRAP), ensayo con radical DPPH y con radical ABTS de la muestra seleccionada en el panel sensorial a fin de evaluar su perfil antioxidante.

Diversos estudios pre-clínicos y clínicos reportan correlaciones entre el consumo prolongado de dietas ricas en compuestos polifenólicos y la protección ante enfermedades crónicas que tanto afectan a la población mundial, como enfermedades cardiovasculares, tumorales, diabetes tipo II, obesidad y neuro-degenerativas (Rudrapal y col., 2022). Los compuestos con capacidad antioxidante han cobrado popularidad, y su uso no se limita a su acción como protector de la oxidación de alimentos, sino al enriquecimiento nutricional de alimentos, promoviendo el consumo de compuestos bioactivos. En términos amplios, se considera que un antioxidante es una molécula capaz de prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas (lípidos, proteínas o ácidos nucleicos), ya sea porque evitan que se formen radicales libres, o porque favorecen su eliminación. Por ello, para la determinación de la actividad antioxidante, se necesitan emplear diferentes métodos para analizar los diferentes mecanismos de acción. El método del poder antioxidante reductor férrico (FRAP) se basa en la reducción de un complejo de hierro (Fe^{+3} a Fe^{+2}), mientras que los métodos DPPH y ABTS son los métodos más utilizados para determinar la capacidad de eliminación de radicales libres.

En bibliografía se utilizan diversos solventes para realizar la extracción de compuestos con actividad antioxidante de una muestra, siendo los más utilizados, metanol, etanol y acetona, en distintas proporciones con agua destilada (Stojanova y col, 2022). La variedad de condiciones de extracción (tipo de solvente, relación sólido-líquido, tiempo y temperatura) pueden afectar el rendimiento y el perfil fenólico de los extractos (Ferreira-Santos y col., 2020). Se optó por utilizar agua como solvente de extracción, considerando que el producto es un alimento, y que fisiológicamente la digestión ocurre en medio acuoso.

Para la obtención del extracto acuoso, se molió la muestra con un picador de alimentos (Liliana, Picatutto). Se utilizó la técnica de Lanata y col. (2022) con algunas modificaciones. La extracción se realizó sobre 0,20 g de muestra, en dos etapas sucesivas con 10 mL de agua potable templada a 45°C, con agitación a 600 rpm durante 10 minutos a 45°C con termobloque (DLAB HM 100-ProBeijing, China). Posteriormente, se tomaron alícuotas y se centrifugaron durante 30 minutos a 10000 rpm (Micro-centrifuga Giumelli Z-127-D). Finalmente, se conservaron los sobrenadantes a -20°C hasta su uso.

El contenido de fenoles totales se determinó con reactivo Folin según método Attard (2013). Brevemente, 75 µL del extracto o de diluciones del estándar de ácido gálico (0-250 µg/mL), se colocaron en pocillos de microplaca, se adicionaron 25 µL de reactivo Folin-Ciocalteu, y 50 µL de carbonato de sodio (20% en NaOH 0,1M)), se tapó la microplaca, y se dejó reposar durante una hora en oscuridad. Luego, se procedió a leer su absorbancia a 750 nm en analizador de placa (BioTek 800 TC, USA). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico cada 100 g de muestra seca.

El poder antioxidante reductor férrico (ensayo FRAP) consiste en la capacidad del extracto para reducir los iones férricos (Fe^{+3} a Fe^{+2}), en forma de 2,4,6-tripiridil-s-triazina férrica (TPTZ). Se empleó la técnica descripta por Benzie y Strain (1996) con algunas modificaciones. El reactivo FRAP se preparó antes de su uso, a partir de 10 partes de buffer acetato de sodio (300 mmol/L, pH 3,6), 1 parte de solución 10 mmol/L TPTZ preparada en 40 mmol/L HCl y 1 parte de solución 20 mmol/L $FeCl_3$. Para la determinación se colocaron 30 µL del extracto en pocillos de una microplaca, se adicionó 270 µL del reactivo FRAP y se dejó reposar la placa en oscuridad durante 30 minutos. Finalmente se procedió a la lectura a 600 nm (BioTek 800 TC, USA). Los resultados se expresaron como µg $FeSO_4$/mg de muestra seca. Se utilizó una curva de calibración con solución $FeSO_4.7H_2O$ (0,10-1,0 mM), medida junto con las muestras.

Para el ensayo con radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil1) se utilizó la técnica de Brand-Williams y col. (1995), brevemente, se mezclaron en eppendorf 50 µL del extracto acuoso con 950 µL de reactivo DPPH (40 mg de DPPH en 1000 mL de etanol), se mezcló la solución en vortex y se dejó en reposo 30 minutos en oscuridad. Se midió la absorbancia a 490 nm con lector de placa (BioTek 800 TC, USA). En simultáneo con las muestras, se midió una curva de calibración (0 – 640 µg/mL) con un análogo soluble de la vitamina E, Trolox (ácido -6- hidroxi -2,5,7,8-tetrametilcromano-2- carboxílico). Los resultados se expresaron como µg Trolox/mg de muestra seca.

Para el ensayo con radical ABTS (ácido 2,2′-acino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se preparó una solución acuosa concentrada del reactivo (7 mM), se oxidó con persulfato de sodio (dejando en oscuridad por 16 h a temperatura ambiente) y posteriormente se conservó a -20°C. Previo a su uso, el reactivo se diluye hasta que la absorbancia a 750 nm sea de 0,70. Para la reacción, se colocaron en celdas de microplaca, 20 µL de la muestra, se agregaron 380 µL del reactivo diluido, y al cabo de

6 minutos se leyó la absorbancia a 750 nm. A partir de una curva de calibración con Trolox se expresaron los resultados como μg Trolox/mg de muestra seca.

Las determinaciones de actividad antioxidante fueron realizadas al menos por triplicado.

3.3 DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO*

Debido a que se busca que las galletas elaboradas sean potencialmente aptas para personas con diabetes, y a fin de determinar la capacidad de liberación de sacáridos de la muestra de mayor aceptabilidad sensorial, se realizó sobre la misma el ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro*. De esta manera es posible inferir si el alimento es adecuado al público al cual se destina. Por otra parte, se realizó la misma determinación sobre miga de pan blanco, que se tomó como patrón, y sobre galletitas con menor contenido de harina de topinambur. Este último análisis se realizó con el objetivo de evaluar cómo influye el contenido de harina de topinambur en la digestibilidad de almidón *in vitro* de las galletas.

Para esta determinación se siguió la metodología descripta por Conforti y col. (2012), con algunas modificaciones. Se pesaron 0,05 g de galletitas previamente molidas (Liliana, PICATUTTO M910, China) en tubos por cuadruplicado, tres para la reacción y uno para el blanco. Como control se empleó miga de pan blanco fresco. Se agregó 1,3 mL de buffer fosfato KH_2PO_4 0,2 M (pH 6,9) y 0,2 mL de enzima α-amilasa (tipo VI-B, Sigma (52 UI/mL)). Se utilizó un termobloque (DLAB HM 100-ProBeijing, China) a 37ºC con agitación a 600 rpm. Cada 30 minutos se retiraron 0,1 mL de cada tubo, se colocaron en nuevos tubos de vidrio debidamente rotulados y se llevaron a baño en ebullición por 5 minutos para inactivar la enzima. Para la colorimetría se adicionó 0,20 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico al 1%, incubando 15 minutos en baño a ebullición. Posteriormente se adicionaron 2,7 mL de agua destilada y se midió la absorbancia a 550 nm en lector de placa (BioTek 800 TC, USA). Se determinó el contenido de maltosa mediante una curva de calibración con patrón de maltosa. Los resultados se expresaron como porcentaje de sacáridos por miligramo de muestra seca con respecto a la misma medición para miga de pan blanco. Se obtuvieron valores promedio de digestibilidad de almidón *in vitro* para tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos.

3.4 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ADITIVOS E INGREDIENTES

A fin de evaluar el aporte de los ingredientes y/o aditivos sobre los atributos sensoriales de la formulación de mayor aceptabilidad se realizaron las siguientes modificaciones:

- Disminución del porcentaje de aceite a un 15% (15 g de aceite cada 100 g de mezcla de harinas).
- Disminución del porcentaje de aceite a un 7,5% (7,5 g de aceite cada 100 g de mezcla de harinas).
- Eliminación de crémor tártaro.
- Eliminación de goma xántica.
- Eliminación de bicarbonato de sodio.
- Disminución del contenido de sal a la mitad (1 g cada 100 g de mezcla de harinas).
- Baja hidratación (5 g de agua cada 100 g de mezcla de harinas).

La metodología de elaboración fue la descripta en el apartado 3.3 del Capítulo 2, con la incorporación de agua correspondiente (19,05 g cada 100 g de mezclas de harinas, excepto para la muestra de baja hidratación) y cocción de 10 minutos a 150 ºC. Para estas formulaciones se realizaron análisis de perfil de textura sobre masas, test de ruptura de tres puntos sobre galletas, determinación de pH, color (con determinación de parámetros L*, a* y b* en índice CIELAB, Wi, Bi y SI) y actividad acuosa sobre masas y galletas. Se siguió la metodología descripta en el apartado 3.4 y 3.5 del Capítulo 2 y en los apartados 3.2.3.2 y 3.2.3.3 del Capítulo 1, respectivamente. También se estudió el contenido de macronutrientes de estas formulaciones en forma teórica. De esta manera, se buscó evaluar la influencia de los ingredientes sobre las propiedades sensoriales y fisicoquímicas del producto obtenido y estudiar las características de un alimento de menor aporte calórico (con menor contenido de aceite) y sodio (con menor contenido de sal).

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se utilizó el lenguaje de programación Rstudio versión 4.2.1 (R Core Team, 2022) y Pyhton version 3.9 (Van Rossum & Drake, 2009).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS SENSORIAL

A continuación se represente la distribución de sexo y rango etario de los 41 panelistas voluntarios no entrenados que participaron del análisis sensorial (Fig. 3.1). La distribución se muestra en gráficos de torta para una fácil visualización.

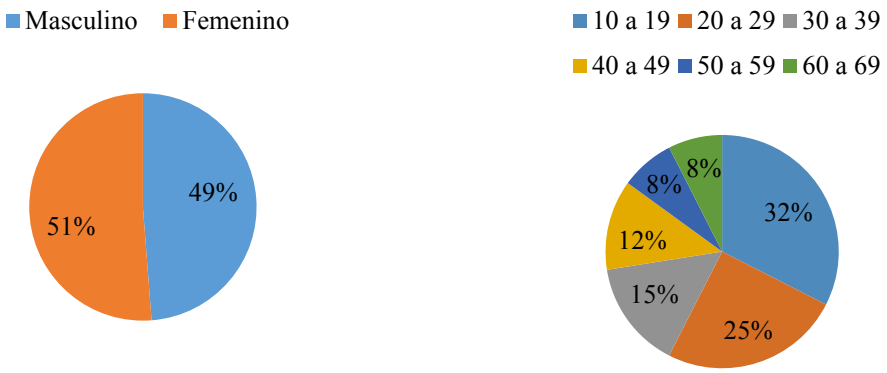


Fig. 3.1. Distribución de sexo de los panelistas (izq.) y rango etario (der.).

La cantidad de hombres y mujeres que participaron del análisis sensorial fue similar (Fig. 3.1). Por otra parte, en cuanto al rango etario, casi el 60% de los panelistas tenían entre 10 y 29 años al momento de realizar el análisis sensorial. Esto indica que las puntuaciones obtenidas fueron proporcionadas en su mayoría por adolescentes y adultos jóvenes. En la Fig. 3.2 se observan imágenes correspondientes al panel sensorial.



Fig. 3.2. Panelistas realizando el análisis sensorial (izq.). Muestras codificadas con números de tres cifras al azar (der.).

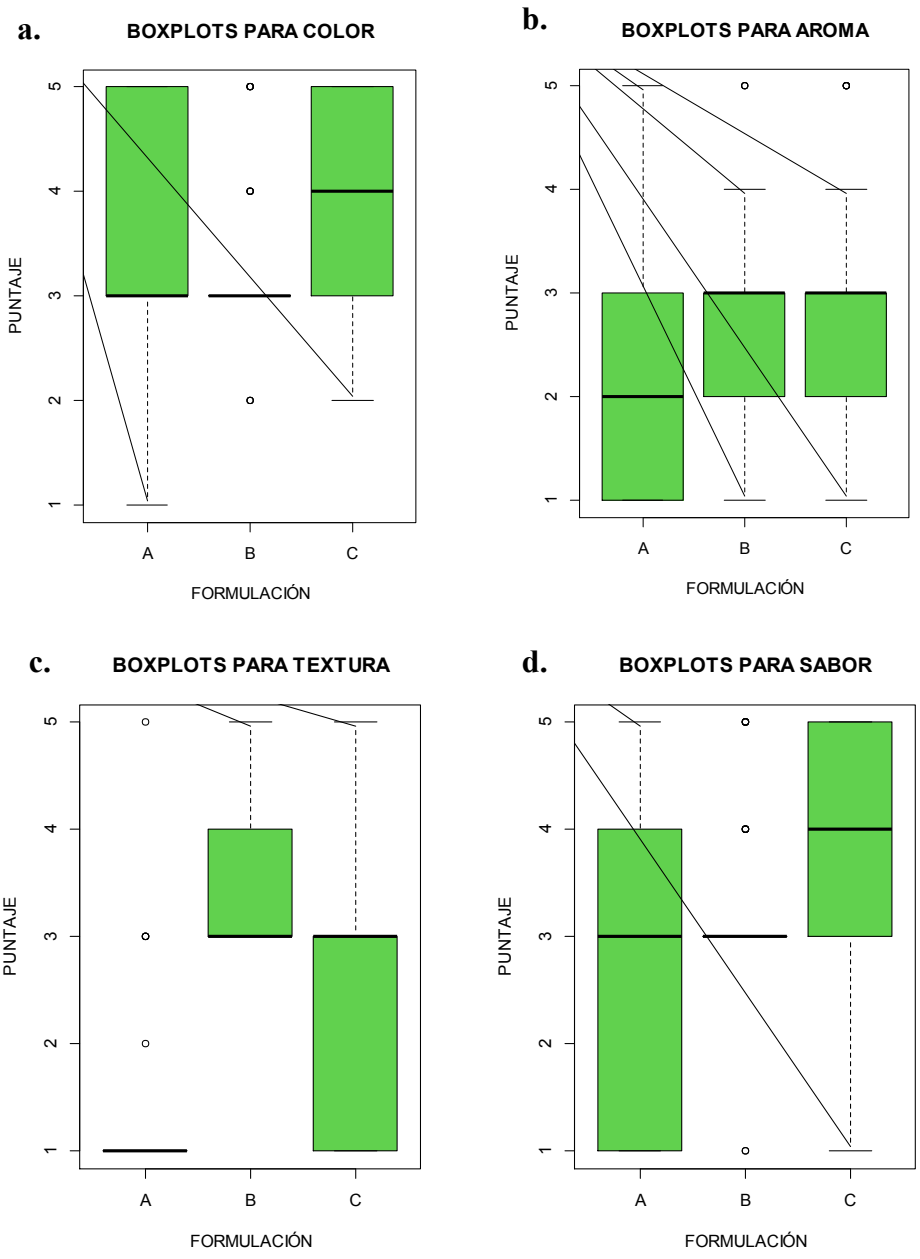
Los resultados obtenidos para cada atributo evaluado en las tres formulaciones sometidas al análisis sensorial se indican en la Tabla 3.2 y en forma gráfica en los diagramas de caja de la Figura 3.3. Una de las ventajas de representar los datos en este

tipo de diagramas es la fácil visualización de la distribución de los resultados obtenidos. Las puntuaciones obtenidas para cada atributo están detalladas en el Anexo C.

Tabla 3.2. Resultados del análisis sensorial.

Formulación	Color	Aroma	Textura	Sabor	Aceptabilidad General
A	3,61 ± 1,30[a]	2,32 ± 1,21[a]	1,32 ± 0,85[b]	2,85 ± 1,53[a]	3,98 ± 1,67[b]
B	3,27 ± 0,78[a]	2,61 ± 1,09[a]	3,46 ± 0,78[a]	3,27 ± 0,87[a]	6,67 ± 1,92[a]
C	3,85 ± 1,04[a]	2,76 ± 1,16[a]	2,49 ± 1,33[c]	3,46 ± 1,45[a]	4,67 ± 1,80[b]

A: 75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA; B: 45% HTPB + 50% HTI + 5% HA; C: 59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA. Promedios ± desviación estándar (n = 41). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).



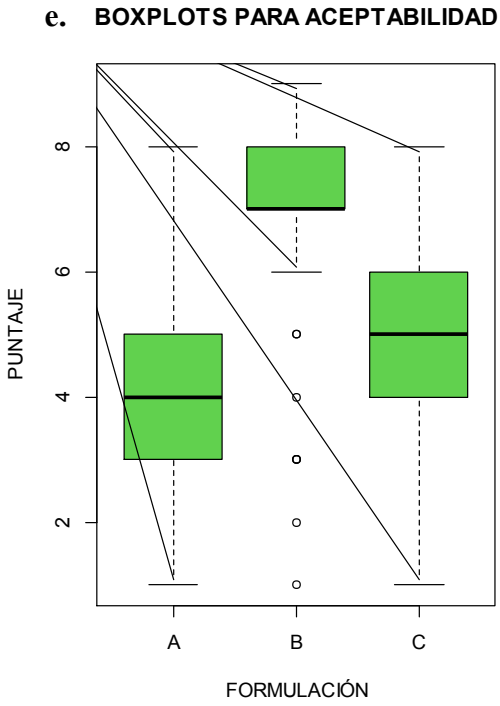


Fig. 3.3. Diagramas de cajas para puntuaciones de color (a), aroma (b), textura (c), sabor (d) y aceptabilidad general (e).

Para los casos en los cuales los datos no presentaron una distribución normal se aplicaron técnicas estadísticas no paramétricas para evaluar diferencias significativas. Los diagramas de cajas en los cuales solo se observa una línea horizontal (cuartil) indican que los panelistas, en su totalidad o casi totalidad, asignaron dicha puntuación a la muestra indicada. Esto se observó para la muestra de la formulación B, tanto para sabor como para textura, es decir que los panelistas evaluaron como óptima dicha formulación, para esos atributos (Fig. 3.3). Sin embargo, en el caso de la formulación A, al evaluar su textura, los puntajes se concentraron en 1, indicando una textura demasiado blanda. Por otra parte, los valores atípicos se representan mediante círculos fuera de los límites de los diagramas de cajas y bigotes, esto se observó para la muestra B en aroma, color y sabor, mientras que para la muestra A en textura. En el Anexo C se detallan los resultados de las técnicas estadísticas aplicadas a cada atributo.

Para los atributos color, aroma y sabor, no se encontraron diferencias significativas entre las tres formulaciones evaluadas ($p>0,05$). Si bien, en el Capítulo 2, tabla 2.9 de color de galletas A, B y C de 10 minutos de horneado, se puede observar que las muestras presentaron diferentes colores entre sí (en todos los casos la diferencia total de color, ΔE, fue mayor a cinco), los panelistas les asignaron similar puntuación. Esto

indica que, si bien cada formulación presentó distinta tonalidad, todas las tonalidades tuvieron la misma aceptación sensorial por parte de los panelistas.

En forma general, se puede observar que las puntuaciones de la muestra B presentaron menor dispersión con respecto a las otras formulaciones, y fueron más cercanas al valor óptimo. Por otra parte, la formulación A presentó un puntaje de textura mucho menor al óptimo. Anteriormente, en el Capítulo 2 (apartado 4.3.2 de textura de galletitas y tabla 2.5), se observó que la formulación A presentó una textura más blanda que B y C, esto se atribuyó a su mayor contenido de humedad. Esta tendencia fue acorde a lo observado por los panelistas e influyó negativamente sobre la puntuación de la muestra. Por otra parte, al analizar los parámetros texturales en el apartado mencionado anteriormente, se observó que la muestra B presentó una mayor crocancia con respecto a las otras galletas, esto también fue percibido por los panelistas e influyó en forma positiva sobre su puntuación de textura, validando de esta manera que la crocancia es un atributo deseable en galletas y de buena percepción sensorial.

Respecto del ensayo de aceptabilidad general, que fue evaluado mediante escala hedónica, la formulación B presentó el mejor puntaje en forma significativa. Es decir, que la formulación B recibió puntuaciones de color, sabor y textura cercanas al valor óptimo y además recibió la puntuación más alta para aceptabilidad general. Por este motivo se decidió optar por la **formulación B** para continuar con los análisis, ya que posee mejor valoración en cuanto a sus características sensoriales de acuerdo a los resultados expuestos en el panel sensorial. Es importante resaltar que esta formulación posee en su composición un 45% de HTPB de la mezcla de harinas, por lo que se logró obtener una muestra con elevado contenido de topinambur, y buena aceptación sensorial (un promedio de 6,67 puntos de aceptabilidad general en una escala de 9 puntos).

4.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y NUTRICIONAL DE LA FORMULACIÓN B

A fin de conocer el aporte nutricional de la muestra de mayor aceptabilidad sensorial, se analizó la composición de las galletitas de la formulación B y se realizó la estimación d su aporte energético (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Composición nutricional de la formulación B (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA) Los resultados se encuentran expresados cada 100 g de muestra tal cual (base húmeda).

Determinación	**Base húmeda**
Humedad (g/100 g)	5,58 ± 0,01
Cenizas (g/100 g)	5,27 ± 0,05
Grasas totales (g/100 g)	21,66 ± 0,29
Proteínas (g/100 g)	10,71 ± 0,11
Hidratos de carbono totales* (g/100 g)	37,90 ± 0,92
Fibra dietaria total (g/100 g)	18,88 ± 0,67
Contenido energético (Kcal/100 g)	389,38 ± 1,52

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). *Estimado por diferencia.

Según los resultados de la Tabla 3.3, y teniendo en cuenta los límites establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA) (CAA, 2025) en el capítulo V, art. 235 quinto, las galletitas obtenidas con la formulación B podrían ser consideradas como un alimento fuente de proteínas, dado que superan el valor mínimo de 6 g de proteínas cada 100 g de producto. Además, pueden rotularse como alimento con alto contenido de fibra dietaria, porque cada 100 g aportan más de 6 g de fibra. Sumado a esto, de acuerdo con lo establecido por la FDA, esta formulación puede categorizarse como de alto contenido de fibra y proteína, dado que, por porción de 100 g, el alimento aporta más de un 20% del valor diario recomendado para estos macronutrientes, que es 28 g de fibra y 50 g de proteínas en una dieta promedio de 2000 Kcal diarias (FDA, 2021). De esta manera, es posible afirmar que el alimento elaborado presenta un valioso aporte nutricional, además de significativa aceptación sensorial.

Se realizaron extracciones acuosas de las galletitas molidas, y se determinó el contenido de fenoles totales, que dio un valor de 237,30 ± 8,91 mg GAE/ 100 g masa seca. Al analizar la actividad antioxidante por las distintas técnicas, los resultados fueron: con ABTS 1543,50 ± 370,5 µg Trolox/ mg muestra seca; DPPH 2641,66 ± 424,48 µg Trolox/mg masa seca y FRAP 661,87 ± 14,31 µg $FeSO_4$/mg muestra seca.

El contenido fenólico total encontrado en la formulación B está en concordancia con los valores entre 100 y 200 mg GAE/100 g galletitas elaboradas con 10 y 30% de reemplazo de harina de trigo por harina de topinambur-reportados por Ozgoren y col. (2019). Esos autores concluyeron que la adición de harina de topinambur causó un aumento significativo en el contenido fenólico total de las galletas formuladas. Por otro lado, Mostafa y col. (2021) también encontraron un aumento en los valores de actividad antioxidante mediante la técnica de DPPH, en galletitas donde emplearon harina de topinambur como sustituto de materia grasa. Los autores expresaron la actividad antioxidante como agudeza del cambio del color del reactivo DPPH, encontrando mayor disminución del color a mayor nivel de reemplazo. Además, Kolniak-Ostek y col. (2017) elaboraron snacks de maíz con 10% de harina de topinambur y analizaron su actividad antioxidante. Los autores reportan que el agregado de harina proveniente de este tubérculo favoreció el contenido de polifenoles del alimento y concluyen que es una buena fuente de compuestos bioactivos para incorporar en snacks. Por otra parte, realizaron determinaciones de ABTS, FRAP y DPPH en harina de topinambur y maíz y encontraron que, en todos los casos, la harina de topinambur presentó significativamente ($p<0,05$) mayor actividad antioxidante que la harina control (maíz). De esta manera, es posible inferir que el agregado de harina de topinambur tiene el potencial de enriquecer el perfil antioxidante de galletas y brindar propiedades funcionales al alimento, más allá de su aporte nutricional.

Por otra parte, se estimó en forma teórica el aporte de aminoácidos de la mezcla de harinas utilizada en la formulación seleccionada (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA), a partir de datos bibliográficos del aporte de cada tipo de harina (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Composición de aminoácidos esenciales.

Aminoácidos	HTPB[1] (g/100 g)	HTI[2] (g/100 g)	HA[3] (g/100 g)	Mezcla[4] (g/100 g)
Histidina	0,11	0,36	0,38	0,25
Isoleucina	0,18	0,44	0,55	0,33
Leucina	0,26	0,90	0,86	0,61
Lisina	0,29	0,36	0,83	0,35
Metionina	0,07	0,23	0,34	0,16
Fenilalanina	0,17	0,68	0,61	0,45
Treonina	0,18	0,37	0,43	0,29
Triptofano	-	0,17	-	0,09
Valina	0,21	0,56	0,60	0,40

[1]Cieślik y col. (2011), [2]USDA (2019), [3]Palombini y col. (2013), [4]calculado en base a la composición de la mezcla: 45% HTPB + 50% HTI + 5% HA.

El contenido de aminoácidos esenciales en la mezcla en todos los casos fue mayor al de HTPB individual. Si bien esta estimación es teórica, se puede inferir que el agregado de HTI y HA a la formulación favoreció el perfil de aminoácidos en el alimento. Por otra parte, para la mayoría de los aminoácidos, los valores reportados para HA son mayores que los de HTPB y HTI, por lo que la adición de esta harina podría favorecer el perfil de aminoácidos de la premezcla.

Otras características evaluadas de las galletitas fueron el color superficial, el pH, y la actividad acuosa (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Caracterización de galletitas de la formulación B (mejor puntuada).

Determinación	
L^* [1]	39,70 ± 1,89
a^* [1]	4,12 ± 0,76
b^* [1]	24,28 ± 0,44
pH [2]	6,53 ± 0,10
a_w [2]	0,38 ± 0,01

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar ([1]n=9, [2]n=3).

Los valores obtenidos para color fueron semejantes a los hallados previamente en el Capítulo 2 (Tabla 2.9), que fueron de 35,61 ± 6,52 para L^*; 4,33 ± 0,28 para b^* y 19,06

± 5,31 para a^* en la misma formulación. Las variaciones en las medias pueden atribuirse a que las galletas fueron de diferentes lotes, por lo que es esperable una leve variabilidad entre muestras.

La determinación de actividad acuosa de las galletitas dio un valor de 0,38 ± 0,01. Este valor bajo permite garantizar la estabilidad microbiológica del alimento, dado que para el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras se requieren valores de a_w superiores a 0,80 (Sayed y Khalil, 2017). En cuanto al pH, de 6,53 ± 0,10, se encuentra dentro de los valores establecidos para galletas crackers de entre 5,65 y 7,32 (FDA, 2007; Loza y col., 2017). De esta manera, es posible afirmar que las galletas poseen propiedades fisicoquímicas adecuadas en cuanto a sus valores de pH y actividad acuosa.

4.3 DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO*

4.3.1 DIGESTIBILIDAD DE LA MUESTRA MEJOR PUNTUADA

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante el ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* en las galletitas de la formulación B (en forma numérica en Tabla 3.6 y gráfica en Fig. 3.4).

Tabla 3.6. Resultados obtenidos a distintos tiempos de incubación con enzima α-amilasa, para el ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* en galletitas (% de sacáridos por miligramo de muestra seca con respecto a la misma medición para miga de pan blanco).

Incubación enzimática	**30 min**	**60 min**	**90 min**	**120 min**
	15,9 ± 1,1	19,8 ± 0,6	16,2 ± 3,2	19,7 ± 2,9

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=4).

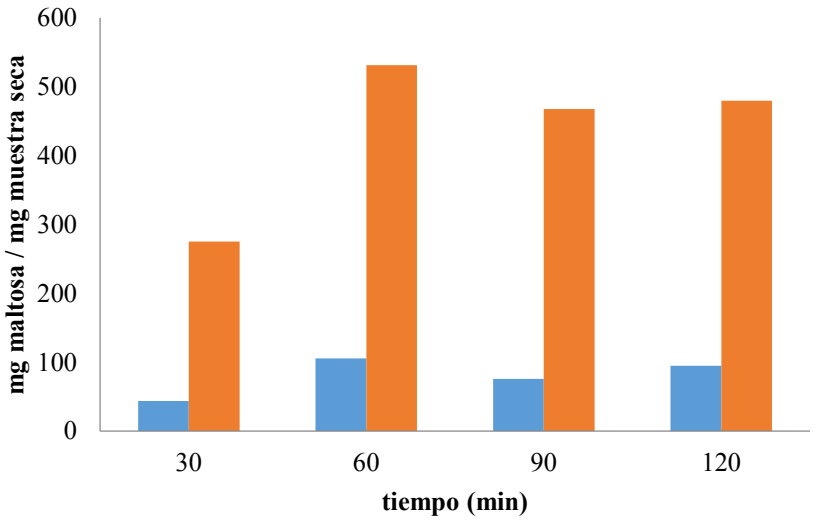


Fig. 3.4. Maltosa liberada (mg) por mg de muestra seca. Se grafican las medias obtenidas para cada tiempo de incubación. Muestra B (azul) y miga de pan blanco (naranja).

La formulación seleccionada (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA) muestra un muy bajo grado de liberación de sacáridos, de aproximadamente un 20%, con respecto a miga de pan blanco. Este comportamiento puede atribuirse principalmente a su elevado contenido de fibra (>18%), que interactúa con el almidón y disminuye su digestibilidad. Zhang y col. (2022) analizaron el efecto de la fibra dietaria en la disminución de digestibilidad de almidón y atribuyen este comportamiento, en parte, a efectos físicos que retrasan la gelatinización del almidón. La gelatinización es un proceso que ocurre cuando el almidón se calienta en presencia de agua y se rompe el orden cristalino del gránulo, provocando la hidratación de las moléculas de almidón y una mayor accesibilidad por parte de las enzimas digestivas (como α-amilasa) (Kadam y col., 2015). De esta manera, el proceso de gelatinización favorece la digestibilidad del almidón. Los principales mecanismos involucrados que reportan Zhang y col. (2022) están relacionados a la interacción y encapsulación de la fibra dietaria con el almidón. Estos fenómenos contribuyen a un retraso en la gelatinización del almidón y, por lo tanto, favorecen una reducción de la digestibilidad en la matriz alimentaria. En cuanto a los mecanismos de interacción, se dan principalmente por enlaces no covalentes, como puentes de hidrógeno, fuerzas de van der Waals y atracciones electrostáticas. De esta manera, la fibra dietaria puede competir con las moléculas de agua y limitar la gelatinización del almidón. Por otra parte, la interacción de fibras dietarias con almidón también podría favorecer la cristalización del almidón, fomentando la gelatinización

incompleta de los gránulos de almidón debido a su hidratación inadecuada y al aumento de volumen en presencia de fibra. En cuanto a los mecanismos de encapsulación, la elevada viscosidad de la fibra dietaria proporciona un medio de recubrimiento que podría llenar el espacio interno entre los gránulos de almidón o encapsularlos, protegiéndolos de la gelatinización. De acuerdo con los autores, muchos estudios reportan que el efecto de relleno o recubrimiento de la fibra dietaria sobre los gránulos de almidón suprimen significativamente el fenómeno de lixiviación de amilosa.

Por otra parte, también es posible atribuir esta disminución de la digestibilidad de almidón debido su aporte de inulina. Los enlaces glicosídicos de este fructano son del tipo β. Los mismos no se hidrolizan con α-amilasa y otras enzimas digestivas presentes en el intestino delgado humano, que son específicas para enlaces del tipo α-glicosídicos (Chen y col., 2024). De esta manera, la inulina resiste la incubación con enzima α-amilasa sin degradarse y da como resultado una menor liberación de sacáridos. Llegaría, por lo tanto, intacta al intestino grueso donde sería fermentada por flora presente en el colon. Además, teniendo en cuenta los valores teóricos de índice glicémico, la fructosa que pueda liberarse a partir de la hidrólisis de la inulina tiene un valor de 23, frente a 65 de la sacarosa y al valor de 100 de la glucosa (Sawicka y col., 2020).

Es posible inferir, entonces, que las galletitas evaluadas permiten disminuir la liberación de azúcares al ser degradados por enzima α-amilasa.

4.3.2 DIGESTIBILIDAD DE UNA MUESTRA CON MENOR CONTENIDO DE HTPB

Por otra parte, dado que las galletitas mejor puntuadas fueron formuladas con cantidades casi semejantes de HTPB y HTI (B: 45% HTPB + 50% HTI + 5% HA) y con el propósito de analizar el efecto de la harina de topinambur sobre la digestibilidad del almidón en las galletitas, se preparó una nueva formulación, disminuyendo la proporción de HTPB y dejando la misma cantidad de HTI que la formulación B. Así, la formulación llamada D se preparó con una composición farinácea de 25% HTPB, 50% HTI y 25% HA. Para la elaboración de la nueva formulación, se siguió la metodología descripta en el Capítulo 2 (apartado 3.3), se determinó la capacidad de retención de agua de esta mezcla de harinas (metodología detallada en el apartado 3.2.3.4 del Capítulo 1;

Takeuchi y Nagashima, 2011) dando un valor de 108,15 ± 6,78%, con lo cual, para lograr un 70 % porcentaje de hidratación se requirió agregar 15,7 g de agua cada 100 g de la mezcla de harinas. Las masas se hornearon con las mismas condiciones de cocción (10 minutos a 150 ºC). Se realizó el ensayo de digestibilidad comparando simultáneamente galletitas de las formulaciones B y D junto con miga de pan blanco (control) (Fig. 3.5).

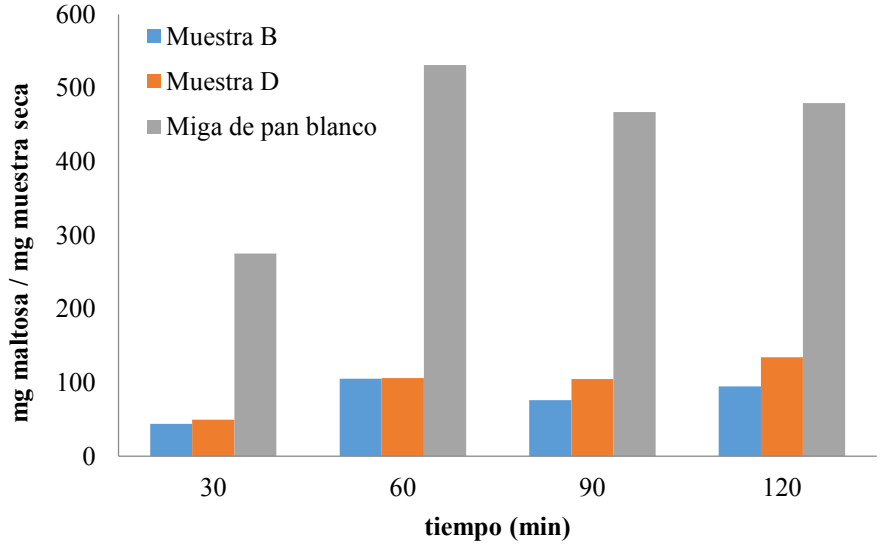


Fig. 3.5. Maltosa liberada (mg) por mg de muestra seca. Se grafican las medias obtenidas para cada tiempo de incubación.

Con el fin de lograr una mejor visualización de los datos, se optó por expresar los valores obtenidos como porcentaje respecto de la muestra control (miga de pan blanco), los valores se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultados obtenidos para ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* en galletitas de las formulaciones B (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA) y D (25% HTPB + 50% HTI + 25% HA) (% de sacáridos liberados por miligramo de muestra seca con respecto a la misma medición para miga de pan blanco).

Incubación enzimática	**30 min**	**60 min**	**90 min**	**120 min**
Muestra B	15,9 ± 1,1^{a}	19,8 ± 0,6^{a}	16,2 ± 3,2^{a}	19,7 ± 2,9^{a}
Muestra D	17,9 ± 5,1^{a}	20,0 ± 2,7^{a}	22,4 ± 5,9^{a}	28,0 ± 3,3^{b}

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar. Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$) (n=4).

Se encontró una menor liberación de sacáridos por parte de la muestra B en todos los tiempos de medida, sin embargo, esas diferencias resultaron ser significativas a un tiempo de 120 minutos de incubación enzimática. En base a estos resultados, se puede concluir que un aumento en el contenido de topinambur contribuyó en forma significativa a la disminución de liberación de sacáridos en galletas.

De esta manera, se puede inferir que las galletitas formuladas son potencialmente aptas para personas con diabetes mellitus, debido a su lenta liberación de sacáridos. De todas formas, es importante aclarar que, a fin de determinar su índice glicémico, hace falta recurrir a estudios *in vivo*.

Radovanovic y col. (2015) realizaron un estudio clínico *in vivo* con diez voluntarios sanos, en los cuales determinaron la glucosa sanguínea a distintos tiempos, luego de consumir alimentos extruidos elaborados con trigo sarraceno y distinto contenido de harina de topinambur. Los resultados obtenidos indican que la adición de harina de topinambur contribuyó a la disminución del índice glicémico del alimento. A un nivel de adición del 30 al 60% se logró obtener un índice glicémico medio y al incrementar el porcentaje de adición a un 80% el alimento mostró un bajo índice glicémico. Estos resultados muestran la clara tendencia de disminución de liberación de azúcares en sangre con un incremento en el contenido de topinambur. En otro estudio *in vivo*, Radovanovic y col. (2014) determinaron el índice glicémico de panes elaborados con trigo sarraceno y agregado de harina de topinambur en diez voluntarios sanos de entre 21 y 56 años de edad. Los resultados indicaron que el alimento fue de bajo índice y carga glicémica. Se atribuyó este comportamiento a la adición de topinambur en la formulación al comparar los resultados obtenidos con los disponibles en la bibliografía para pan elaborado con harina de trigo (Radovanovic y col., 2014).

Si bien en el presente trabajo se realizó un estudio *in vitro*, mientras que en la bibliografía consultada los análisis fueron *in vivo*, ambos muestran la misma tendencia. De esta manera, independientemente de la metodología de determinación aplicada, es evidente que la incorporación de harina de topinambur en alimentos favorece una disminución en la liberación de azúcares en sangre. Este comportamiento le confiere a los alimentos en los que se incorpora HTPB propiedades adecuadas para su consumo por parte de personas con diabetes mellitus, que requieren una regulación sobre su índice glicémico.

4.4 INFLUENCIA DE ADITIVOS E INGREDIENTES SOBRE LA FORMULACIÓN SELECCIONADA

A lo largo de esta tesis, se trabajó con una formulación base con varios ingredientes, utilizando las siguientes proporciones: 30 g de aceite, 30 g de huevo, 5 g de levadura fresca, 5 g de agua, 3 g de bicarbonato de sodio, 3 g de goma xántica, 2 g de sal y 1 g de crémor tártaro cada 100 g de mezcla de harinas. A fin de analizar el aporte de esos ingredientes sobre la calidad tecnológica y fisicoquímica de la formulación B, se elaboraron las siguientes muestras modificando las proporciones de los ingredientes:

- B: muestra control (misma formulación que la presentada en el panel sensorial).
- B2: con reducción de aceite a un 15% (15 g de aceite cada 100 g de mezcla de harinas).
- B3: con reducción de aceite a un 7,5% (7,5 g de aceite cada 100 g de mezcla de harinas).
- B4: sin crémor tártaro.
- B5: sin goma xántica.
- B6: sin bicarbonato de sodio.
- B7: reducción de sal (1 g cada 100 g de mezcla de harinas).
- B8: baja hidratación (5 g de agua cada 100 g de mezcla de harinas).

4.4.1 INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS TEXTURALES

A continuación, en la Tabla 3.8, se muestran los resultados texturales de masas.

Tabla 3.8. Parámetros texturales de masas.

Muestra	Firmeza (N)	Resiliencia	Cohesividad	Adhesividad (N/s)
B	$4,91 \pm 1,52^{b}$	$0,17 \pm 0,01^{b}$	$0,69 \pm 0,04^{b}$	$0,32 \pm 0,12^{b}$
B2	$6,23 \pm 1,76^{b}$	$0,18 \pm 0,01^{b}$	$0,69 \pm 0,03^{b}$	$0,37 \pm 0,10^{b}$
B3	$4,90 \pm 0,69^{b}$	$0,18 \pm 0,01^{b}$	$0,74 \pm 0,03^{a}$	$0,34 \pm 0,12^{b}$
B4	$3,84 \pm 0,90^{b}$	$0,19 \pm 0,01^{a,b}$	$0,74 \pm 0,04^{a}$	$0,26 \pm 0,10^{b}$
B5	$2,54 \pm 0,38^{b}$	$0,10 \pm 0,01^{d}$	$0,66 \pm 0,05^{a,b}$	$0,45 \pm 0,04^{a,b}$
B6	$3,96 \pm 1,24^{b}$	$0,18 \pm 0,01^{a}$	$0,77 \pm 0,02^{a}$	$0,42 \pm 0,13^{a,b}$
B7	$4,60 \pm 0,84^{b}$	$0,21 \pm 0,01^{a}$	$0,78 \pm 0,02^{a}$	$0,42 \pm 0,06^{a}$
B8	$17,09 \pm 6,75^{a}$	$0,13 \pm 0,01^{c}$	$0,61 \pm 0,02^{c}$	$0,86 \pm 0,51^{a}$

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=4). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

Al realizar el perfil de análisis de textura sobre masas (Tabla 3.8) y comparando los resultados respecto de la muestra control, se puede observar que al disminuir el contenido de aceite a 7,5% (B3) aumenta la cohesividad, pero no se observan cambios significativos en firmeza, resiliencia y adhesividad. La reducción del contenido de aceite a un 15% (B2) no proporcionó cambios significativos sobre la textura de la masa. Raghavendra y col. (2022) analizaron el efecto de adición de distintos niveles de aceite sobre masas y reportaron una tendencia similar a la observada para B3: un aumento en el contenido de aceite causó una disminución en la cohesividad de masas elaboradas con harina de trigo, que puede traducirse como una disminución de la resistencia a la fuerza de compresión. La cohesividad es una medida de la dificultad para romper la estructura interna de la masa. Según diversos estudios, el agregado de aceite en masas favorece la ruptura en la continuidad de la estructura de proteínas y almidones, lo que puede causar una disminución en este parámetro (Devi y Khatkar, 2018).

Con respecto al efecto de la goma xántica, de todas las masas elaboradas, la formulación sin goma xántica (B5) fue la más difícil de manejar. La estructura de la masa colapsaba, dificultando su estiramiento y cortado. Otros autores reportaron que la goma xántica aporta elasticidad a las masas (Jafari y col., 2018) y por eso al retirar este ingrediente se dificulta su manejo. Además, la masa sin goma xántica presentó el menor valor de resiliencia de todas las masas analizadas ($p<0,05$). El aporte de goma xántica en masas favorece la formación de una estructura uniforme ya que tiende a mantener los gránulos de almidón juntos y formar una red entre los mismos, aportando mayor consistencia

(Jafari y col., 2018). De esta manera, se verificó la importancia de este ingrediente en la elaboración de una masa con buenas características texturales.

La supresión del bicarbonato (B6) y la disminución en el contenido de sal (B7) en la masa condujo a un mayor valor de resiliencia y cohesividad, respecto de los valores de la masa control ($p<0,05$) (Tabla 3.8). Este comportamiento está en concordancia con lo reportado por Lynch y col. (2009), que estudiaron el efecto del contenido de sal en masas y panes y encontraron una reducción en la resistencia a la extensión y extensibilidad con la disminución de la cantidad de sal. A su vez, Yovchev y col. (2017) estudiaron las características de masas con harina de trigo y diferentes proporciones de sal. Los autores reportaron que una disminución en el contenido de sal en masas contribuyó a un aumento en su adhesividad y cohesividad, lo que dio como resultado la obtención de masas de menor consistencia. Este comportamiento puede deberse al efecto del sodio sobre la movilidad de las moléculas de agua en la estructura de la masa. Al reducir el sodio, hay más agua disponible dando como resultado una textura de mayor adhesividad, cohesividad y por lo tanto, menor consistencia (Yovchev y col., 2017). Por otra parte, Cárdenas y Pineda (2024) analizaron el efecto del agregado de sal en diferentes niveles sobre masas de harina de trigo y encontraron que, a mayor nivel de adición de sal, las masas obtenidas tuvieron mejor consistencia. Se atribuye este comportamiento a la capacidad de la sal para favorecer interacciones iónicas que reducen la repulsión electrostática entre proteínas presentes en la masa, lo que da como resultado una mejor estructura. A su vez, la sal disminuye la solubilidad de estas proteínas al promover la agregación, lo que contribuye al manejo y calidad de la masa. También reportan que, como resultado de estas interacciones, la firmeza de las masas de harina de trigo aumentó con el contenido de sal, aunque esta tendencia no se replicó en forma significativa en el presente estudio, probablemente a la diferencia en la composición farinácea de las muestras.

Al evaluar el efecto del nivel de hidratación de las masas, se encontró que la muestra B8, de baja hidratación, presentó una firmeza tres veces superior al valor control ($p<0,05$) (Tabla 3.8). Esto era lo esperable, como se observó en el Capítulo 2 (Tabla 2.4) al analizar las modificaciones en textura de tres formulaciones con distinto nivel de hidratación. Además la masa B8 presentó elevada adhesividad, quedando retenida la masa a la sonda del texturómetro, menor resiliencia y cohesividad que la muestra control. Las interacciones entre harina y agua tienen gran influencia sobre los

parámetros texturales de masas (Dhal y col., 2023). Particularmente, el agua actúa como lubricante que favorece los fenómenos de relajación al favorecer la hidratación de componentes presentes en masas como almidones, fibras, pentosanos, entre otros, de manera tal de proporcionar una menor firmeza. En todos los casos estudiados, el agregado de agua en masas se relacionó de forma inversa con su dureza.

Con respecto al contenido de crémor tártaro, no se observaron diferencias significativas en la textura de las masas respecto de la muestra control, por lo que este ingrediente no presentó influencia significativa sobre los parámetros texturales de masas bajo estudio.

De esta manera, es posible inferir que los ingredientes y aditivos que presentaron influencia sobre las propiedades de las masas formuladas fueron aceite, goma xántica, sal, bicarbonato de sodio y agua. El contenido de aceite (B3) proporcionó una masa menos cohesiva, mientras que la adición de goma xántica (B5) dio como resultado una masa con mejor estructura, manejo y resiliencia. Por otra parte, la reducción de sal (B7) y eliminación de bicarbonato de sodio (B6) impactó principalmente sobre la resiliencia y cohesividad de la masa, causando un aumento de estos parámetros. Finalmente, el contenido de agua presentó una gran influencia sobre la firmeza y adhesividad de la masa, que disminuyó significativamente al aumentar la hidratación. Por otra parte, la disminución de agua causó un incremento en la resiliencia y cohesividad.

Con respecto a la textura de las galletitas los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Parámetros texturales de galletas, activad acuosa e incremento de volumen.

Muestra	$^{1}\sigma$ (MPa)	$^{1}\varepsilon$	^{1}Fuerza máxima (N)	^{1}Distancia (y, mm)	$^{2}a_w$	$^{2}\Delta V$ (cm^3)
B	$1,02 \pm 0,1^{b,c}$	$0,026 \pm 0,006^{b}$	$11,08 \pm 1,05^{b}$	$0,76 \pm 0,18^{b}$	$0,43 \pm 0,01^{b}$	$1,17 \pm 0,07^{b}$
B2	$1,20 \pm 0,21^{c}$	$0,046 \pm 0,008^{a}$	$15,15 \pm 2,83^{a,b}$	$1,23 \pm 0,19^{a}$	$0,47 \pm 0,01^{a}$	$1,36 \pm 0,01^{a}$
B3	$1,08 \pm 0,19^{b,c}$	$0,050 \pm 0,006^{a}$	$12,78 \pm 1,08^{b}$	$1,35 \pm 0,19^{a}$	$0,47 \pm 0,01^{a}$	$1,50 \pm 0,34^{a}$
B4	$1,27 \pm 0,16^{a,c}$	$0,026 \pm 0,004^{b}$	$13,40 \pm 2,25^{b}$	$0,77 \pm 0,11^{b}$	$0,44 \pm 0,01^{b}$	$1,10 \pm 0,22^{b}$
B5	$2,69 \pm 0,46^{a}$	$0,014 \pm 0,002^{c}$	$17,90 \pm 2,40^{a}$	$0,51 \pm 0,07^{c}$	$0,39 \pm 0,01^{c}$	$0,31 \pm 0,12^{c}$
B6	$1,34 \pm 0,19^{b,c}$	$0,029 \pm 0,005^{b}$	$14,25 \pm 1,70^{a,b}$	$0,83 \pm 0,13^{b}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$	$1,21 \pm 0,37^{a,b}$
B7	$1,34 \pm 0,32^{b,c}$	$0,028 \pm 0,007^{b}$	$14,51 \pm 3,24^{a,b}$	$0,79 \pm 0,14^{b}$	$0,42 \pm 0,01^{b}$	$1,00 \pm 0,12^{b}$
B8	$1,74 \pm 0,64^{b}$	$0,011 \pm 0,003^{d}$	$12,33 \pm 4,7^{a,b}$	$0,38 \pm 0,09^{c}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$	$0,36 \pm 0,18^{c}$

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (^{1}n=8, ^{2}n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

Se puede observar que la eliminación de goma xántica en la formulación dio como resultado un mayor estrés de fractura (**σ**) debido a una mayor fuerza de ruptura y una menor tensión de fractura (**ε**) por ser menor la distancia recorrida por la sonda hasta la ruptura de la galletita, comparando estos valores con las galletitas de formulación control. La disminución de la fuerza para romper las galletitas, por el agregado de la goma xántica, concuerda con lo reportado por Gül y col. (2018), quienes concluyeron que a mayor agregado de goma xántica en galletas se observa la disminución de dureza y fracturabilidad de las muestras, mientras que se contrapone con los hallazgos reportados por Lu y col., (2020) en galletitas elaboradas con almidón de mandioca. El efecto de la mayor gomosidad de las galletitas, se debería a la capacidad de retención de agua por parte de la goma xántica, esto concuerda con los resultados reportados en panes elaborados con harina de trigo y con goma xántica (Sidhu, & Bawa, 2002). En concordancia con este comportamiento, las muestras sin goma xántica presentaron una disminución de la actividad acuosa con respecto a la muestra control. Esta tendencia también fue reportada por Jukić y col. (2024) quienes estudiaron los efectos del agregado de goma xántica en galletas sin gluten. Los autores contribuyen este comportamiento a las propiedades higroscópicas de la goma xántica y a su habilidad para interactuar con las moléculas de agua. Por otra parte, la eliminación de goma xántica sobre la formulación causó una disminución en el incremento de volumen luego del horneado con respecto a la formulación control. Esto puede deberse al colapso en la estructura de la masa que se observó durante las etapas de laminado y corte, como se mencionó anteriormente. La goma xántica es un aditivo que se añade a productos sin gluten para ayudar a aportar las propiedades viscoelásticas propias del gluten en masas (Jukić y col., 2024). Considerando que el 50% de la composición farinácea de las galletas no contiene gluten, la eliminación de goma xántica causó un colapso de la estructura de la masa, por lo cual no fue capaz de retener los gases formados durante la fermentación y el horneado, lo que dio como resultado un menor incremento del volumen final.

La disminución de aceite (B2 y B3) en las muestras no mostró diferencias significativas en cuanto a su dureza, pero si en cuanto a tensión de fractura (**ε**) y distancia recorrida por la sonda. Estos parámetros registraron mayores valores para las muestras con menor contenido de aceite con respecto a la muestra control. Esto indica que se obtuvieron galletas más deformables al disminuir la cantidad de grasas (menor crocancia). Sudha y

col. (2007) estudiaron el efecto del contenido de aceite en galletas, los autores también reportaron que este ingrediente aporta una textura más crocante, además de impartir sabor, palatabilidad y lubricidad al producto final. Por otra parte, las muestras con menor contenido de aceite presentaron los mayores valores de incremento de volumen luego del horneado. Este comportamiento también está en concordancia con lo reportado por Sudha y col. (2007), que obtuvieron mayor espesor para galletas con menor contenido de aceite. Esta tendencia puede explicar el mayor recorrido de la sonda hasta que rompe la galletita (**y**) observado, que se traduce como una mayor deformación. Además, las muestras con menor contenido de aceite presentaron mayor actividad acuosa con respecto a la muestra control, esto también puede explicar la mayor gomosidad/capacidad de deformación de las galletas con menos aceite.

Teniendo en cuenta la disminución en el contenido de agua de la formulación (B8), los resultados obtenidos para estrés de fractura (**σ**), fuerza de ruptura y actividad acuosa fueron similares a los de la muestra control. Por otra parte, para las muestras de menor hidratación se registraron menores valores de tensión de fractura (**ε**) y distancia recorrida por la sonda, que indican un aumento en la crocancia de las muestras con respecto al control. Esto se debe a que el agua actúa como plastificante y promueve una disminución en la temperatura de transición vítrea del alimento, lo que afecta sus propiedades texturales (Mandala y col., 2006). Finalmente, se observó una disminución del incremento de volumen luego del horneado. Esta tendencia puede explicarse debido a que un mayor nivel de hidratación en las masas favorece la actividad de las levaduras y el desarrollo de las reacciones de fermentación. Por lo tanto, las masas con baja hidratación dieron lugar a una disminución en la producción de gases durante la fermentación y por lo tanto, a un menor aumento de volumen luego del horneado.

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) en los parámetros evaluados en galletitas al eliminar el bicarbonato de sodio (B6), crémor tártaro (B4) ni con disminución del contenido de sal (B7). Este bajo efecto de la sal sobre la textura de galletas concuerda con lo reportado por Panghal y col. (2011), los autores elaboraron galletas con harina de trigo y diferentes niveles de adición de sal a fin de estudiar su impacto sobre parámetros de calidad, como su textura. También analizaron el efecto de bicarbonato de sodio y encontraron que la adición de este ingrediente causó una disminución en la dureza de las muestras. Sin embargo, este comportamiento no fue observado en el presente estudio para la composición de harinas utilizada.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede inferir que el agregado de goma xántica, aceite y agua presentaron la mayor influencia sobre la textura de galletas. La presencia de goma xántica dio lugar a galletas con menor estrés de fractura (**σ**) y dureza (**F**), mientras que aumentó el parámetro de tensión de fractura (**ε**) y deformación (**y**). Por otra parte, se observó que las galletas sin este aditivo presentaron menor actividad acuosa e incremento de volumen luego del horneado con respecto al control. El contenido de aceite favoreció una disminución de muchos de los parámetros bajo estudio: tensión de fractura (**ε**), deformación (**y**), actividad acuosa e incremento de volumen de las muestras. Finalmente, la cantidad de agua añadida impactó sobre la tensión de fractura, deformación y diferencia de volumen luego de la cocción, causando un incremento de estos parámetros. De esta manera, es posible inferir que tanto el agregado de goma xántica como de agua causaron una disminución de la crocancia de las muestras, mientras que el contenido de aceite favoreció esta cualidad en el alimento. Es importante resaltar que, si bien la goma xántica y el agua se relacionaron con una disminución de la crocancia en galletas, estos ingredientes fueron clave en la mejora de los parámetros texturales de masas en cuanto a su manejo, resiliencia y disminución de dureza.

4.4.2 INFLUENCIA EN COLOR

Los valores para el blanco registrado por el colorímetro, antes de las mediciones de las muestras, fueron: L^* = 94,88 ± 0,14; a^* = -1,28 ± 0,03 y b^* = -0,76 ± 0,11; y para el color negro fueron: L^* = 13,94 ± 0,90; a^* = 0,51 ± 1,96 y b^* = -0,06 ± 1,88.

A continuación, en la Tabla 3.10, se muestran los resultados de color de masas. A su vez, en la Fig. 3.6 se pueden visualizar las masas para comparar su color y apariencia.

Tabla 3.10. Color de masas para formulaciones con diferencia en aditivos e ingredientes.

Formulación	L^*	a^*	b^*	Wi	SI	Bi
B	37,14 ± 1,66^{b}	0,63 ± 0,81^{a}	15,13 ± 2,28^{a,b}	35,32 ± 1,84^{a}	15,15 ± 2,30^{b}	53,92 ± 12,26^{a,b}
B2	35,46 ± 2,41^{b}	0,76 ± 0,32^{a}	15, 34 ± 1,81^{a,b}	15,36 ± 1,82^{a}	15,36 ± 1,82^{b}	57,38 ± 6,77^{a,b}
B3	40,20 ± 1,27^{a}	0,74 ± 0,63^{a}	18,51 ± 1,59^{a}	37,38 ± 1,20^{a}	18,53 ± 1,60^{a}	59,91 ± 7,55^{a,b}
B4	37,47 ± 4,12^{b}	0,97 ± 0,81^{a}	14,65 ± 3,35^{a}	35,74 ± 4,50^{a}	14,70 ± 3,36^{b}	50,43 ± 21,75^{a,b}
B5	32,04 ± 0,51^{c}	0,83 ± 0,96^{a}	13,14 ± 2,77^{b}	30,72 ± 0,88^{a,b}	13,19 ± 2,74^{b}	50,09 ± 12,70^{a,b}
B6	36,75 ± 1,16^{b}	1,34 ± 0,67^{a}	17,66 ± 2,45^{a}	34,30 ± 1,85^{a}	17,70 ± 2,42^{a,b}	64,58 ± 12,66^{a}
B7	37,99 ± 1,85^{a,b}	1,70 ± 0,79^{a}	17,97 ± 1,44^{a}	35,67 ± 1,72^{a}	18,05 ± 1,40^{b}	65,31 ± 3,58^{a}
B8	29,30 ± 0,65^{d}	1,71 ± 0,43^{a}	9,39 ± 1,02^{c}	28,67 ± 0,69^{b}	9,51 ± 0,93^{c}	38,99 ± 4,29^{b}

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=9). Diferentes letras en una misma columna para masas con igual fermentación indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.



Fig. 3.6. Fotografía de las masas. 1: B (control), 2: B2 (reducción de aceite a 15%), 3: B3 (reducción de aceite a 7,5%), 4: B4 (sin crémor tártaro), 5: B5 (sin goma xántica), 6: B6 (sin bicarbonato de sodio), 7: B7 (reducción de sal) y 8: B8 (baja hidratación).

Al estudiar el color de las masas (Tabla 3.10) se observó que las muestras con el menor nivel de aceite (7,5%, B3) presentaron un mayor L^* e intensidad de color (SI) con respecto a la muestra control. De todas formas, es posible que estas diferencias se deban a la dispersión de las determinaciones realizadas ya que, a simple vista, no se distinguen diferencias de color notables entre las muestras B1, B2 y B3. No se observaron diferencias significativas para los demás parámetros en estudio para esta variable.

Por otra parte, al eliminar la goma xántica (B5) de la formulación se observó una disminución de L^* con respecto a la muestra control. Se puede inferir que la supresión de goma xántica de la formulación contribuyó a la obtención de una masa más oscura (Fig. 3.6). Para el resto de los parámetros bajo estudio no se encontraron diferencias significativas.

Al disminuir el porcentaje de hidratación (B8) de las masas se observó una disminución de L^* y Wi, que se relacionan con un color más oscuro (Fig. 3.6). También se observó una disminución de b^* (menor tonalidad amarilla) e intensidad de color (SI) con respecto a la muestra control. Este comportamiento puede atribuirse a que un menor contenido de agua proporcionó una mayor concentración de otros ingredientes de tonalidades más oscuras en la masa (como HTPB). A su vez, es posible visualizar mayor cantidad de grietas sobre la superficie de esta masa en comparación al control. Esto es un claro indicio de deshidratación, debido al bajo contenido de agua.

Es importante resaltar que, con respecto al parámetro a^*, no se encontraron diferencias significativas entre ninguna de las muestras. Esto indica que los aditivos e ingredientes estudiados no tuvieron influencia en la tonalidad rojiza-verde de las masas en comparación al control.

Por otra parte, las muestras elaboradas sin crémor tártaro (B4), bicarbonato de sodio (B6) y disminución en el contenido de sal (B7) no presentaron diferencias significativas con respecto al control ($p<0,05$). Se puede inferir que estos ingredientes no tuvieron influencia sobre el aspecto de la masa.

Como puede observarse, el contenido de agua afectó considerablemente el color de las masas. La muestra de baja hidratación presentó un color más oscuro (menor L* y Wi) que el control, así como una apariencia superficial más agrietada. Los parámetros de color estudiados también se vieron modificados, aunque en menor medida, por el contenido de goma xántica y de aceite en las muestras.

En la Tabla 3.11 se presentan los parámetros de color obtenidos para las galletas y, en la Fig. 3.7, pueden visualizarse las formulaciones elaboradas.

Tabla 3.11. Color de galletas para formulaciones con diferencia en aditivos e ingredientes.

Galletas	L^*	a^*	b^*	Wi	SI	Bi
B	40,55 ± 1,26^{a}	5,52 ± 0,25^{a}	23,60 ± 1,89^{a,b}	35,77 ± 0,60^{a,b}	24,25 ± 1,79^{a}	93,08 ± 5,70^{a}
B2	41,39 ± 2,44^{a}	5,90 ± 0,84^{a}	22,92 ± 1,44^{a,b}	36,77 ± 2,14^{a}	23,69 ± 1,34^{a}	88,27 ± 8,11^{a}
B3	41,06 ± 1,64^{a}	5,85 ± 0,32^{a}	25,61 ± 3,03^{a}	35,42 ± 2,08^{a,b}	26,28 ± 3,00^{a}	103,77 ± 20,35^{a}
B4	39,13 ± 0,86^{a}	5,58 ± 0,33^{a}	24,00 ± 1,68^{a,b}	34,31 ± 0,74^{a,b}	24,65 ± 1,63^{a}	100,37 ± 8,20^{a}
B5	36,93 ± 1,45^{b}	5,98 ± 0,66^{a}	19,38 ± 1,25^{b}	33,73 ± 1,28^{b}	20,29 ± 1,27^{b}	83,92 ± 6,66^{a,b}
B6	42,68 ± 0,95^{a}	5,58 ± 0,83^{a}	24,96 ± 1,00^{a}	37,22 ± 1,07^{a}	25,59 ± 0,99^{a}	93,42 ± 6,78^{a}
B7	40,03 ± 1,67^{a}	5,51 ± 0,92^{a}	24,71 ± 1,86^{a,b}	34,88 ± 1,77^{a,b}	25,32 ± 1,99^{a}	101,30 ± 14,21^{a}
B8	28,09 ± 1,57^{c}	5,15 ± 0,58^{a}	11,04 ± 1,75^{c}	27,04 ± 1,26^{c}	12,19 ± 1,76^{c}	62,36 ± 6,87^{b}

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=9). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas a un nivel del 5% ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

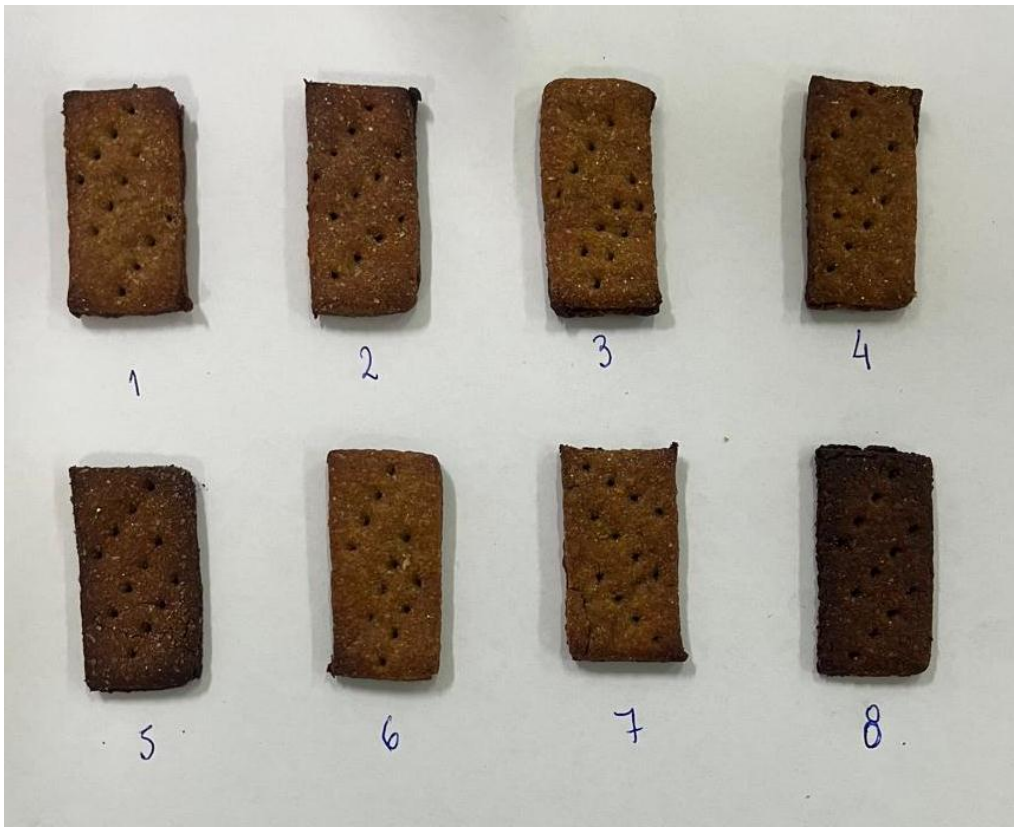


Fig. 3.7. Foto de galletitas. 1: B (control), 2: B2 (reducción de aceite a 15%), 3: B3 (reducción de aceite a 7,5%), 4: B4 (sin crémor tártaro), 5: B5 (sin goma xántica), 6: B6 (sin bicarbonato de sodio), 7: B7 (reducción de sal) y 8: B8 (baja hidratación).

Al comparar los valores de color en galletitas se observó que las formulaciones con menor contenido de aceite (B2 y B3) no mostraron diferencias significativas en cuanto a los parámetros de color estudiados ($p<0,05$) con respecto a la muestra control. Este comportamiento también se observó para las galletas formuladas sin crémor tártaro (B4), bicarbonato de sodio (B6) y con la mitad de contenido de sal (B7). De esta manera, se puede inferir que estos ingredientes no presentaron efecto sobre el color de las galletas.

Con respecto al contenido de goma xántica (B5), se registraron menores valores de L^* e intensidad de color (SI) con respecto al control. Un menor valor de L^* se relaciona con un color más oscuro (Fig. 3.7). Este comportamiento puede atribuirse a una menor disponibilidad de agua en la muestra con respecto al control. Como se observó anteriormente, la muestra sin goma xántica presentó significativamente menor actividad acuosa que B (Tabla 3.9). De esta manera, es posible inferir que la cantidad de agua disponible para la movilidad y desarrollo de las reacciones de Maillard fue menor que

en el control, lo que causó la formación de un color de menor intensidad. Esta tendencia está en concordancia con la descripta por Jukić y col. (2024), que analizaron la influencia del contenido de goma xántica en el color de galletas sin gluten elaboradas a partir de harina de arroz y almidón de maíz. Los autores relacionaron la actividad acuosa de las muestras (con diferente contenido de goma xántica) con su desarrollo de color. Concluyeron que el aporte de goma xántica favoreció el desarrollo de reacciones de pardeamiento debido a una mayor disponibilidad de agua (en muestras con mayor actividad acuosa).

La mayor diferencia en los parámetros de color se registró para las muestras con baja hidratación (B8). Estas galletas presentaron menor L^* y Wi que la muestra control, esto indica que su color fue más oscuro (Fig. 3.7). Además, se encontraron diferencias significativas para b^*, a partir de lo cual se puede inferir que esta muestra presentó menor tonalidad amarilla que B. También se hallaron diferencias significativas para SI y Bi, indicando que una disminución en el contenido de agua dio como resultado una menor intensidad de color y menor pardeamiento o tonalidad marrón de las muestras. Estas diferencias en los parámetros de color de las masas con baja hidratación respecto de la control pueden deberse, al igual que para la muestra sin goma xántica, a que la falta de agua proporcionó un ambiente menos favorable para el desarrollo de reacciones, como las de Maillard, por la menor movilidad e interacción entre compuestos involucrados en las mismas (Jukić y col., 2024). Por lo tanto, galletas con menor cantidad de agua son menos propensas a favorecer este tipo de reacciones y, por lo tanto, tenderán a presentar menor desarrollo de color. Así mismo, esta menor disponibilidad de agua puede haber causado una sobre cocción de las muestras por lo que adquirieron un color más oscuro. De esta manera se puede inferir que la disminución del contenido de agua tuvo un efecto negativo sobre el color de las galletas.

A partir de estos resultados es posible concluir que los ingredientes y aditivos que presentaron influencia sobre el color de galletas fueron agua y goma xántica, aunque esta última en menor medida. En ambos casos la disminución o eliminación de estos ingredientes causó un oscurecimiento de las galletas que tendieron a perder su color pardo y adquirir una tonalidad más oscura, siendo este efecto fue más pronunciado en B8 (Fig. 3.7).

4.4.3 OTRAS DETERMINACIONES

A fin de caracterizar fisicoquímicamente las formulaciones elaboradas se realizaron determinaciones de pH, actividad acuosa y pérdida de peso luego de la cocción.

Se realizó la determinación de pH en masas (pre y post fermentación) (Tabla 3.12) y en galletitas; se midió la actividad acuosa en masas post fermentación (Tabla 3.13), y en las galletitas (Tabla 3.14). Se siguió la metodología descripta en el apartado 3.5 del Capítulo 2. El pH del agua con el que se realizó las determinaciones fue de 7,55 ± 0,09.

Tabla 3.12. pH de masas antes y después de la fermentación.

Masas	pH (antes)	pH (después)
B	6,92 ± 0,33^{a}	6,80 ± 0,06^{b}
B2	6,96 ± 0,30^{a}	6,84 ± 0,06^{b}
B3	6,89 ± 0,15^{a}	6,72 ± 0,19^{b}
B4	7,12 ± 0,08^{a}	7,03 ± 0,10^{a}
B5	6,79 ± 0,06^{a}	6,78 ± 0,04^{b}
B6	6,10 ± 0,06^{b}	6,06 ± 0,08^{c}
B7	6,73 ± 0,03^{a}	6,66 ± 0,06^{a}
B8	6,69 ± 0,05^{a}	7,10 ± 0,02^{a}

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

Tanto antes como después de la fermentación, las masas sin bicarbonato de sodio (B6) registraron pH más bajos que el resto de las formulaciones (Tabla 3.12). Este comportamiento es esperable ya que el bicarbonato de sodio es naturalmente básico y su aporte aumenta el pH en las masas. Por otro lado, el pH de las masas no presentó diferencias significativas antes y después de la fermentación, excepto únicamente por la formulación B8, con baja hidratación, cuyo valor aumentó significativamente ($p<0.05$).

Tabla 3.13. Actividad acuosa de masas luego de la fermentación.

Masas después de la fermentación	a_w
B	$0,80 \pm 0,01^{a}$
B2	$0,81 \pm 0,01^{a}$
B3	$0,80 \pm 0,01^{a}$
B4	$0,81 \pm 0,01^{a}$
B5	$0,79 \pm 0,01^{a}$
B6	$0,79 \pm 0,01^{a}$
B7	$0,80 \pm 0,01^{a}$
B8	$0,76 \pm 0,01^{b}$

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n = 3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

Se determinó la actividad acuosa de todas las formulaciones antes de ser horneadas. Todas obtuvieron valores similares excepto por B8 (baja hidratación), que presentó una actividad acuosa significativamente menor al resto. Este comportamiento es esperable, ya que esta formulación se elaboró con menor contenido de agua que el control.

Tabla 3.14. Resultados de pH, actividad acuosa, pérdida de peso y volumen de galletas horneadas.

Galletas	pH	a_w	ΔP (g)	Peso (g)
B	$6,45 \pm 0,02^{a}$	$0,43 \pm 0,01^{b}$	$0,73 \pm 0,29^{a}$	$3,11 \pm 0,15^{a}$
B2	$6,53 \pm 0,05^{b}$	$0,47 \pm 0,01^{a}$	$0,74 \pm 0,04^{a}$	$3,14 \pm 0,02^{a}$
B3	$6,49 \pm 0,01^{a,b}$	$0,47 \pm 0,01^{a}$	$0,74 \pm 0,04^{a}$	$3,04 \pm 0,08^{a}$
B4	$6,61 \pm 0,03^{c}$	$0,44 \pm 0,01^{b}$	$0,74 \pm 0,02^{a}$	$3,24 \pm 0,06^{a}$
B5	$6,05 \pm 0,04^{d}$	$0,39 \pm 0,01^{c}$	$0,74 \pm 0,01^{a}$	$3,09 \pm 0,01^{a}$
B6	$5,73 \pm 0,03^{e}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$	$0,67 \pm 0,18^{a}$	$3,12 \pm 0,13^{a}$
B7	$6,32 \pm 0,03^{f}$	$0,42 \pm 0,01^{b}$	$0,74 \pm 0,13^{a}$	$3,19 \pm 0,06^{a}$
B8	$5,94 \pm 0,03^{g}$	$0,41 \pm 0,01^{b}$	$0,68 \pm 0,18^{a}$	$3,27 \pm 0,10^{a}$

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). B: muestra control, B2: reducción de aceite a 15%, B3: reducción de aceite a 7,5%, B4: sin crémor tártaro, B5: sin goma xántica, B6: sin bicarbonato de sodio, B7: reducción de sal, B8: baja hidratación.

Se determinaron pH, a_w, peso y diferencia de peso de las galletas antes y después del horneado. Con respecto al pH se mantuvo la tendencia observada anteriormente, la muestra sin bicarbonato de sodio (B6) presentó los menores valores de pH con respecto al resto de las formulaciones. Este comportamiento puede vincularse a la basicidad del bicarbonato de sodio, que aporta un mayor pH al producto final. Las muestras con menor contenido de aceite (B2 y B3) y sin crémor tártaro (B4) presentaron mayor pH que el control. Por otro lado, tanto la eliminación de goma xántica (B5) como la reducción en el contenido de sal (B7) y agua (B8), causaron una disminución del pH con respecto al control. En forma general, el valor medio de pH de las galletas varió entre 5,73 y 6,61. De esta manera, es posible afirmar que, si bien los ingrediente utilizados presentaron cierta influencia sobre el pH de las galletas, todas las formulaciones poseen un valor de pH adecuado ya que se encuentran dentro de los límites establecido por la FDA para galletas crackers: entre 5,65 y 7,32 (FDA, 2007).

Al determinar la actividad acuosa de las galletas se observó que la muestra sin goma xántica presentó menor valor que el control. Esta tendencia puede deberse al comportamiento higroscópico de este ingrediente (Jukić y col., 2024). Por otra parte, las muestras con reducción de aceite presentaron un mayor valor de a_w con respecto al control. Este comportamiento se atribuye a que el contenido de aceite limita el agua disponible en galletas, ya que actúa como una barrera de humedad (Hao y col., 2014).

Con respecto a la pérdida de peso luego del horneado y al peso de las galletas, no se observaron diferencias significativas entre muestras. Esto indica que los ingredientes evaluados no tuvieron influencia sobre el peso de las galletas ni en su pérdida de peso por cocción.

4.4.4 INFORMACIÓN NUTRICIONAL

A fin de comparar nutricionalmente las formulaciones elaboradas y de evaluar el posible etiquetado frontal que le correspondería a cada una, se realizó el cálculo teórico del aporte nutricional de las formulaciones con reducción de aceite (B2 y B3), y de sodio (B7) y se compararon con los resultados obtenidos para B (Tabla 3.3). Se asume que el resto de las formulaciones tendrán un aporte nutricional similar a B ya que no se modificaron aditivos de aporte nutricional y/o calórico significativo.

Para hacer esta estimación de macronutrientes, se considera que el aporte total de grasas en la formulación se atribuye al contenido de aceite y que los aditivos como goma xántica, bicarbonato de sodio, crémor tártaro y sal no aportaron cantidades significativas de macronutrientes. Se trabajó con los promedios de cada determinación.

Por otra parte, se toma como cantidad de gramos base para el cálculo la sumatoria de todos los ingredientes, afectada por la relación de peso seco y húmedo de cada muestra que fue de 0,77 ± 0,08 para B; 0,77 ± 0,01 para B2, de 0,76 ± 0,01 para B3 y de 0,77 ± 0,04 para B7. Los cálculos se realizaron en base a los promedios.

Así, para la muestra B cuya masa total, de acuerdo a la sumatoria de la masa de todos los ingredientes, pesó 193,05 g, considerando la pérdida de peso por cocción, la masa luego del horneado sería de 148,65 g. De manera similar para B2, para una masa de 178,05 g le corresponde una masa de galletitas de 137,10 g; para B3 de 170,55 g de masa cruda serían 129,62 g de galletas y para B7 de 192,05 g de masa se obtendrían 147,88 g de producto final.

Se consideró que la muestra B7, con menor contenido de sal, no presentó diferencia en cuanto a la composición de macronutrientes con respecto a B.

También se estimó el contenido de sodio para estas cuatro formulaciones, en forma teórica. Para la harina de topinambur y el huevo el dato fue extraído de la bibliografía (Dubkova y col., 2021; Réhault-Godbert y col., 2019, respectivamente) mientras que, para el resto de los ingredientes, se consultó la información nutricional presente en las respectivas etiquetas de los productos comerciales utilizados (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Aporte de sodio de ingredientes utilizados.

Ingrediente (marca comercial)	Cantidad en formulación B (g)	mg Na / 100g	mg Na por porción de ingrediente
HTPB	45	4	1,80
HTI (Pureza, Molinos Cañuelas)	50	0	0
HA (Sturla, Burzaco)	5	0	0
Agua (Agua Pura, CDA)	19,05	-	-
Levadura fresca (Calsa)	5	24	1,20
Aceite de maíz (Mazola)	30	0	0
Huevo	30	142	42,6
Goma xántica (Alimentos PastelAR)	3	-	-
Bicarbonato de sodio (Royal, Mondelez)	3	9920	297,60
Cremor tártaro (Mercado Pastelero Cocina con Valentino)	1	-	-
Sal (Celusal)	2	39316,24	786,32

De esta manera, para la formulación B, la cantidad de sodio estimada es de 1129,52 mg en 193,05 g de galletas horneadas (759,86 mg /100 g). Teniendo en cuenta que el aceite no aportó cantidades significativas de sodio, el contenido de B2 es de 1129,52 mg Na cada 137,10 g (823,88 mg/100 g) y para B3 de 1129,52 mg Na cada 129,62 g (871,43 mg/100 g). Finalmente, la formulación B7 contuvo la mitad de sal que el resto (1 g cada 100 g de mezclas de harinas), por lo que la cantidad de sodio total en esta muestra estimada es de 736,36 mg en 147,88 g de galletas horneadas (497,95 mg/100 g).

En base a las estimaciones teóricas realizadas se puede observar una considerable disminución del contenido de grasas y aporte calórico de las formulaciones B2 y B3 (Tabla 3.16). Esto proporcionaría al alimento elaborado propiedades más favorables para ser consumido por personas con sobrepeso. Respecto del contenido de sodio, el menor contenido es el aportado por la formulación 7 al prepararse con menor contenido

de sal. Se debe destacar que las formulaciones con menor contenido de aceite presentaron mayores valores de sodio cada 100 g de galletas ya que la cantidad de sodio fue la misma en menor cantidad de masa.

Tabla 3.16. Información nutricional de galletitas de la formulación control (se presentan los promedios de las determinaciones realizadas, n=3) y estimaciones teóricas para las formulaciones con menor contenido de aceite (B2 y B3) y reducción de sal (B7).

Muestra	Humedad (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Grasas totales (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Fibra dietaria total (g/100g)	Fibra soluble (g/100g)	Hidratos de carbono totales (g/100g)	Contenido energético (Kcal/100g)	Sodio (mg/100g)
B	5,58	5,27	21,66	10,71	18,88	4,05	37,90	389,38	759,86
B2	6,01	5,67	10,83	11,53	20,32	4,36	40,79	306,73	823,88
B3	6,35	6,00	5,42	12,19	21,48	4,61	43,12	269,97	871,43
B7	5,58	5,27	21,66	10,71	18,88	4,05	37,90	389,38	497,95

De acuerdo con la ley de etiquetado frontal, Ley 27642, los límites para nutrientes críticos: azúcares, sodio, grasas saturadas y totales, están establecidos por el Decreto 151/22 (citado en la Disposición 11362 de 2024) y el Perfil de Nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud (Organización Panamericana de la Salud, 2016). Estos son los límites que, de acuerdo con la Ley 27642, están en vigencia (Tabla 3.17).

Tabla 3.17. Límites establecidos para nutrientes críticos.

Sodio	Azúcares	Grasas totales
≥ 1 mg de sodio por 1 kcal.	≥ 10% del total de energía proveniente de azúcares.	≥ 30% del total de energía proveniente del total de grasas.

A su vez, también deben rotularse alimentos con contenidos de edulcorantes y cafeína. Por otra parte, en cuanto al contenido de calorías, el límite para el rotulado está establecido por la autoridad nacional y es de 275 kcal cada 100 g de producto.

Teniendo en cuenta la Disposición 11362, establecida en diciembre de 2024, en su Anexo 1, que se agrega a la Ley 27642, se modificaron los criterios de cálculos de nutrientes. Actualmente, la estimación del aporte nutricional se basa exclusivamente en los ingredientes añadidos, en lugar de su contenido intrínseco. Así, el rotulado frontal para alimentos con azúcares totales se calcula en base a los azúcares añadidos. Como no hay azúcares agregados, este rótulo no corresponde a ninguna de las formulaciones presentadas.

Para todas las formulaciones de esta sección, corresponde el rótulo de exceso de sodio. En cuanto al contenido de grasas, se calcula el aporte de cada formulación:

$$B = \frac{21{,}66\ g\ x\ 9\ \frac{kcal}{g}}{389{,}38\ kcal}\ x\ 100 = 50{,}06\%$$

$$B2 = \frac{10{,}83\ g\ x\ 9\ \frac{kcal}{g}}{306{,}73\ kcal}\ x\ 100 = 31{,}77\%$$

$$B3 = \frac{5{,}42\ g\ x\ 9\ \frac{kcal}{g}}{269{,}97\ kcal}\ x\ 100 = 18{,}07\%$$

$$B7 = \frac{21{,}66\ g\ x\ 9\ \frac{kcal}{g}}{389{,}38\ kcal}\ x\ 100 = 50{,}06\%$$

De acuerdo a los valores calculados, únicamente la formulación B3 no presentaría el rotulado de exceso de grasas totales ni de exceso de calorías. Finalmente, ninguna de las formulaciones debería llevar el etiquetado de contenido de edulcorantes y cafeína.

Por otra parte, en la disposición 11378 de diciembre de 2024 que se anexó a la Ley 27642 de etiquetado frontal, se disponen las pautas que los alimentos con al menos un sello deben cumplir al publicitarse, promocionarse o patrocinarse. Dentro de estas pautas la disposición indica que se debe propender al consumo adecuado del alimento, brindando información veraz, precisa y clara.

Como resultado de este estudio se puede concluir que los aditivos e ingredientes añadidos tienen un considerable aporte de sodio, grasas totales y calorías sobre la

formulación seleccionada en el panel sensorial. Es oportuno aclarar que los ingredientes y proporciones de la formulación estudiada fueron fijados previamente a la sanción de la Ley de etiquetado frontal, por lo que los límites para nutrientes críticos establecidos por la Organización Panamericana de la Salud no eran parámetros a tener en cuenta en el ámbito nacional al momento de estudio.

Por otra parte, es importante resaltar que el alimento elaborado presenta un elevado contenido de fibra, es fuente de proteínas, posee muy bajo grado de liberación de sacáridos y aporta un perfil antioxidante muy interesante. Por lo que puede categorizarse como un alimento funcional y apto para personas con diabetes mellitus.

5. CONCLUSIONES

A partir del análisis sensorial descriptivo que se realizó fue posible identificar la muestra de mayor aceptabilidad entre las tres formulaciones evaluadas. De manera significativa la formulación B, con un contenido de 45% HTPB, 50% HTI y 5% HA en su composición farinácea, presentó mejor puntuación en cuanto a textura y aceptabilidad general ($p<0,05$). Esta muestra alcanzó una puntuación media muy cercana al óptimo para textura: 3,27 y la más alta para aceptabilidad general: 6,67 en una escala hedónica de 9 puntos. Estos resultados validaron la crocancia como un atributo textural deseado en galletas. Para el resto de los atributos evaluados (color, aroma y sabor), los panelistas no detectaron diferencias significativas entre muestras. La muestra B mostró las mejores propiedades sensoriales y por lo tanto se logró seleccionar una galleta con elevado contenido de topinambur y buena aceptación sensorial.

Al analizar la composición de la formulación seleccionada por el panel se encontró que, de acuerdo a los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino, este alimento puede considerarse como fuente de proteínas (10,71%) y elevado contenido de fibra dietaria (18,88%). Esto le confiere un valioso aporte nutricional para sus consumidores. A su vez, las galletas presentaron un favorable perfil bioactivo con elevado contenido fenólico y capacidad antioxidante. De esta manera, es posible afirmar que el alimento presenta propiedades funcionales más allá de su aporte nutricional y que su consumo puede contribuir a la ingesta de antioxidantes. Al analizar el aporte de aminoácidos esenciales de la mezcla de harinas en forma teórica, se encontró que la harina de amaranto es un ingrediente con el potencial de mejorar el perfil aminoacídico de los alimentos en los cuales se incorpora. Por otra parte, de acuerdo a los resultados obtenidos para pH y actividad acuosa de las galletas, es posible concluir que la muestra presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas ya que el valor de pH (6,53) se encuentra dentro de los establecidos para este tipo de alimentos y su baja actividad acuosa (0,38) inhibe el desarrollo microbiano, lo que asegura su estabilidad microbiológica.

El ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* demostró que la galleta presenta un bajo grado de liberación de sacáridos en comparación con miga de pan blanco. Este comportamiento se atribuye a su elevado contenido de fibra. Por otra parte, al evaluar

la digestibilidad de una muestra elaborada con la misma metodología que B y menor contenido de HTPB (muestra D, con 25% HTPB de la mezcla de harinas), fue posible concluir que el aporte de topinambur favorece la regulación de liberación de sacáridos en galletas. Por lo tanto, el alimento formulado tendría la capacidad de regular los niveles de azúcar al ser degradado con enzima α-amilasa. Este comportamiento le confiere al alimento mayor funcionalidad y, de acuerdo a los resultados obtenidos, su consumo puede ser potencialmente apto para personas con diabetes mellitus y a los consumidores en general.

Al estudiar el aporte de los ingredientes y aditivos sobre la calidad tecnológica y las propiedades fisicoquímicas de masas y galletas se encontró que el contenido de aceite, goma xántica, sal, bicarbonato de sodio y agua tuvieron influencia sobre la textura de las masas. El contenido de aceite proporcionó una textura menos cohesiva. El contenido de sal y bicarbonato de sodio aportaron menor resiliencia y cohesividad a las masas. Sin embargo, los aditivos de mayor efecto sobre la textura de masas fueron la goma xántica, que proporcionó una masa resiliente y de buena estructura y manejo, y el agua, que dio como resultado una masa con menor adhesividad y dureza. A su vez, el color de las masas se vio influido en mayor medida por el contenido de agua, que dio lugar a una masa de color más claro y a una superficie lisa y sin agrietamientos. Por otra parte, al analizar las propiedades fisicoquímicas, el bicarbonato de sodio aportó un mayor pH y el contenido de agua un incremento en la actividad acuosa de masas.

Con respecto a la textura de galletas, el agregado de goma xántica, el aceite y agua presentaron el mayor efecto. El agregado de goma xántica causó una disminución del estrés de fractura y fuerza requerida para la ruptura, mientras que causó un aumento de la tensión de fractura, capacidad de deformación de las galletas e incremento de volumen luego del horneado. Por otra parte, el contenido de aceite favoreció una disminución de los parámetros tensión de fractura, deformación e incremento de volumen de las muestras, lo que se relaciona con una textura crocante. Finalmente, el agregado de agua impactó sobre la tensión de fractura, deformación y diferencia de volumen luego de la cocción, causando un incremento de estos parámetros. Se puede concluir entonces que tanto el agregado de goma xántica como de agua causaron una disminución de la crocancia de las muestras, mientras que el contenido de aceite favoreció esta cualidad en el alimento. De todas formas, es oportuno resaltar que el

agregado de goma xántica y agua favorecieron considerablemente los parámetros texturales en masas, por lo que son ingredientes de importante aplicación durante el proceso de elaboración de las galletas. A su vez, estos dos ingredientes también fueron los de mayor efecto positivo sobre el color de las galletas. Su incorporación se vio relacionada con la obtención de un color más claro y, en el caso del agua, un mayor índice de pardeamiento. Este comportamiento se relacionó en ambos casos a que el contenido de agua y goma xántica dio lugar a un medio más favorable para la movilidad e interacción de compuestos que participan en las reacciones de Maillard, de manera que favorecen el desarrollo de color en galletas.

Con respecto a las propiedades fisicoquímicas, el bicarbonato de sodio aportó mayor pH en galletas. De todas maneras, el valor medio de pH de las galletas varió entre 5,73 y 6,61, por lo que se concluye que todas las formulaciones poseen un valor de pH dentro de los límites establecidos para este tipo de alimentos (entre 5,65 y 7,32). Por otra parte, el contenido de aceite causó una disminución de la actividad acuosa de las muestras, mientras que la adición de goma xántica dio lugar a un incremento en este parámetro. Todas las galletas presentaron una baja actividad acuosa, con medias que variaron entre 0,39 para la muestra sin goma xántica y 0,47 para las muestras con menos aceite, lo que les brinda estabilidad microbiana.

Al evaluar el aporte nutricional en forma teórica de las galletas con reducción en la cantidad de aceite y sal se encontró que la formulación con menos aceite es la única a la que no correspondería el sello de exceso de grasas totales, según la Ley 27642. Para todas corresponde el rotulado de exceso de sodio y, finalmente, ninguna formulación debería llevar el etiquetado de exceso de azúcares, contenido de cafeína y edulcorantes. Es importante resaltar que el alimento está destinado a personas con diabetes y las formulaciones no deberían exhibir el rotulado de exceso de azúcares, siendo acordes al público al que se dirigen.

Se puede concluir que la galleta formulada presenta un elevado contenido de fibra, es fuente de proteínas, posee muy bajo grado de liberación de sacáridos y aporta un perfil antioxidante muy interesante. De esta manera puede clasificarse como un alimento funcional apto para personas con diabetes mellitus.

6. REFERENCIAS

Anónimo. (1975). *Minutes of division business meeting*. Sensory Evaluation Division, IFT.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14º Edición. 1985.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15º Edición. 1990.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18º Edición. 2005.

Arteaga Llona, A. (2006). El índice glicémico: una controversia actual. *Nutrición Hospitalaria*, *21*, 55-60.

Attard, E. (2013). A rapid microtitre plate Folin-Ciocalteu method for the assessment of polyphenols. *Open Life Sciences, 8*(1), 48-53.

Atwater WO, Bryant AP (1900). The availability and fuel value of food materials. Washington, DC: US Government Printing Office. *Agriculture Experiment Station 12th Annual Report*, 73-110.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, *239*(1), 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT, 28*(1), 25-30.

Cárdenas V. J. & Pineda S. A. (2024). The effect of sodium chloride on chemical interactions in soft wheat dough: insights into texture, stability, and gluten network formation. *International Journal of Chemical Studies, 12*(5), 217-221.

Capitani, M. I., & Rodríguez, M. M. (2023). Sensory analysis of dehydrated orange juices: quantitative descriptive analysis and sensory acceptability test.

Chen, Q., Wang, X., Wang, Y., Guo, T., Guan, P., Hou, J., & Chen, Z. (2024). Effects of inulin with different polymerization degrees on the structural and gelation properties of potato protein. *Food Chemistry: X*, *22*, 101405.

Cieślik, E., Gębusia, A., Florkiewicz, A., & Mickowska, B. (2011). The content of protein and of amino acids in Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus L.*) of red variety Rote Zonenkugel. *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 10*(4), 433-441.

Código Alimentario Argentino (2025) Capítulo V: Normas para la rotulación y publicidad de los alimentos. Anexo I: Resolución GMC Nº 26/03: Reglamento técnico mercosur para rotulación de alimentos envasados. Art. 235 quinto. Pp 44. Recuperado el 21 de abril de 2026 de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_capitulo_v_rotulacion_14-01-2019.pdf

Conforti P.A., Yamul D.K., Lupano C.E. (2012). Influence of Milk, Corn Starch, and Baking Conditions on the Starch Digestibility, Gelatinization, and Fracture Stress of Biscuits. *Cereal Chemistry 89*(4):205–210. doi: http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-11-11-0138

Devi, A., & Khatkar, B. S. (2018). Effects of fatty acids composition and microstructure properties of fats and oils on textural properties of dough and cookie quality. *Journal of food science and technology*, *55*(1), 321-330.

Dhal, S., Anis, A., Shaikh, H. M., Alhamidi, A., & Pal, K. (2023). Effect of mixing time on properties of whole wheat flour-based cookie doughs and cookies. *Foods, 12*(5), 941.

Díaz A., Bomben R., Dini C., Viña S.Z., García M.A., Ponzi M. & Comelli N. (2019). Jerusalem artichoke tuber flour as a wheat flour substitute for biscuit elaboration. *LWT, 108*, 361 – 369. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.082

Dubkova, N. Z., Kharkov, V. V., & Vakhitov, M. R. (2021). Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and raw materials, 9*(1), 69-78.

FDA (2007). US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. PH values of food products. *Journal of Food Engineering, 34*(3): 98-99.

FDA (octubre, 2021). *Dietary fiber. Interactive Nutrition Facts Label.* Nutrition Education Resources & Materials. Recuperado el día 19 de noviembre de 2025

https://www.accessdata.fda.gov/scripts/InteractiveNutritionFactsLabel/dietary-fiber.cfm

FDA (octubre, 2021). *Protein. Interactive Nutrition Facts Label.* Nutrition Education Resources & Materials. Recuperado el día 19 de noviembre de 2025 https://www.accessdata.fda.gov/scripts/InteractiveNutritionFactsLabel/protein.cfm

Ferreira-Santos, P., Genisheva, Z., Botelho, C., Santos, J., Ramos, C., Teixeira, J. A., & Rocha, C. M. (2020). Unravelling the biological potential of pinus pinaster bark extracts. *Antioxidants, 9*(4), 334.

Gül, H., Hayit, F., Acun, S., & Tekeli, S. G. (2018). Improvement of quality characteristics of gluten-free cookies with the addition of xanthan gum. In *Agriculture for Life, Life for Agriculture" Conference Proceedings* (Vol. 1, No. 1, pp. 529-535).

Hao, F. Y., Lu, L. X., & Ge, C. F. (2014). Effect of fat content on water sorption properties of biscuits studied by nuclear magnetic resonance. *Journal of Food and Nutrition Research*, *2*(11), 814-818.

Hugh, G. DESA – ISETA (2018) *Curso Taller de Evaluación Sensorial* [Apuntes de clase].

Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. (2018). Functional effects of xanthan gum on quality attributes and microstructure of extruded sorghum-wheat composite dough and bread. *Lwt, 89*, 551-558.

Johnson, M. (2021). Just About Right Scales. Recuperado en febrero de 2025 de: https://www.sensorysociety.org/knowledge/sspwiki/Pages/Just%20About%20Right%20Scales.aspx

Jukić, M., Komlenić, D. K., Nakov, G., Begić, M., Keresturi, S., & Lukinac, J. (2024). Effects of the addition of xanthan gum and rice flour to maize starch on quality of gluten-free biscuit. *Ukrainian food journal, 13*(1).

Kadam, S. U., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2015). Improved thermal processing for food texture modification. *Modifying food texture*, 115-131.

Kalva, J. J., Sims, C. A., Puentes, L. A., Snyder, D. J., & Bartoshuk, L. M. (2014). Comparison of the hedonic general labeled magnitude scale with the hedonic 9-point scale. *Journal of food science, 79*(2), S238-S245.

Kim, H. J., & White, P. J. (2012). In vitro digestion rate and estimated glycemic index of oat flours from typical and high β-glucan oat lines. *Journal of agricultural and food chemistry*, *60*(20), 5237-5242.

Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Pęksa, A., Wawrzyniak, A., Hamułka, J., Jeznach, M., DAnilcenko, H. & Jariene, E. (2017). Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products. *Journal of Food Composition and Analysis*, *64*, 147-155.

Lanata, M., Patrignani, M., Puppo, M. & Conforti, P. (2022). Quality evaluation of gluten-free biscuits prepared with algarrobo flour as a partial sugar replacer. *Open Agriculture, 7*(1), 323-334. https://doi.org/10.1515/opag-2022-0089

Li, B., Hayes, J. E., & Ziegler, G. R. (2014). Just-about-right and ideal scaling provide similar insights into the influence of sensory attributes on liking. *Food quality and preference*, *37*, 71-78.. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.04.019.

Li, C., & Hu, Y. (2022). In vitro and animal models to predict the glycemic index value of carbohydrate-containing foods. *Trends in Food Science & Technology, 12*0, 16-24.

Loza, A., Quispe, M., Villanueva, J., & P Peláez, P. (2017). Development of functional cookies with wheat flour, banana flour (Musa paradisiaca), sesame seeds (Sesamum indicum) and storage stability. *Scientia Agropecuaria, 8*(4), 315-325.

Lu, H., Guo, L., Zhang, L., Xie, C., Li, W., Gu, B., & Li, K. (2020). Study on quality characteristics of cassava flour and cassava flour short biscuits. *Food science & nutrition, 8*(1), 521-533.

Lynch, E. J., Dal Bello, F., Sheehan, E. M., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. *Food Research International, 42*(7), 885-891.

Mandala, I. G., Ioannou, C. A., & Kostaropoulos, A. E. (2006). Textural attributes of commercial biscuits. Effect of relative humidity on their quality. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(7), 782-789.

Mostafa, M., Fakharany, A., & Abbas, M. (2021). Replacing effect of Jerusalem artichoke flour (*Helianthus tuberosus L.*) instead of margarine on shortened biscuit characteristics. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development, 35*(2), 259-273.

Organización Panamericana de la Salud. (2016). Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud.

Ozgoren, E., Isik, F., & Yapar, A. (2019). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*, 2812-2821. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9

Palombini, S. V., Claus, T., Maruyama, S. A., Gohara, A. K., Souza, A. H. P., Souza, N. E. D., Visentainer, J. V., Marques Gomes, S. T. & Matsushita, M. (2013). Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars. *Food Science and Technology, 33*, 339-344.

Panghal, A., Navnidhi, C. V., & Khatkar, B. S. (2011). Effects of minor ingredients on quality of cookies. *Annals of Agri-Bio Research, 16*(1), 79-84.

Prinyawiwatkul, W., & Tepper, B. (Eds.). (2023). Advances in sensory science: From perception to consumer acceptance.

Peng, X., Liu, H., Li, X., Wang, H., Zhang, K., Li, S., ... & Yu, W. (2023). Predicting the glycemic index of biscuits using static in vitro digestion protocols. *Foods, 12*(2), 404

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado en febrero de 2025 de https://www.R-project.org/

Radovanovic, A. M., Milovanovic, O. Z., Kipic, M. Z., Ninkovic, M. B., & Cupara, S. M. (2014). Characterization of bread enriched with Jerusalem artichoke powder content. *Journal of Food and Nutrition Research*, *2*(12), 895-898.

Radovanovic, A., Stojceska, V., Plunkett, A., Jankovic, S., Milovanovic, D. & Cupara, S. (2015). The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry, 177*, 81-88.

Raghavendra, S. N., Patricia, A., Hampana, N. N., & Mahalakshmi, D. (2022). Effect of fats and oils on different properties of flours used in bakery products: a review. *Journal of Nutrition and Food Science, 12*, 353.

Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients, 11*(3), 684.

Rudrapal, M., Khairnar, S. J., Khan, J., Dukhyil, A. B., Ansari, M. A., Alomary, M. N., Alshabrmi F. M., Palai S., Deb P. K. & Devi, R. (2022). Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism(s) of action. *Frontiers in pharmacology, 13*, 283. 806470.

Sawicka, B., Skiba, D., PszczóÅ‚kowski, P., Aslan, I., Sharifi"• Rad, J., & Krochmal-Marczak, B. (2020). Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and Molecular Biology*, *66*(4), 160–177. https://doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.20

Sayed, H. S., & Khalil, S. R. (2017). Effect of chicory inulin extract as a fat replacer on texture and sensory properties of cookies. *Middle East Journal of Applied Sciences*, *7*(1), 168-177. 168-177.

Sidhu, J. P. S., & Bawa, A. S. (2002). Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *International Journal of Food Properties, 5*(1), 1-11.

Stojanova, M., Đukić, D., Stojanova, M. T., Lalević, B., Semenov, A. M., Moračanin, S. V., & Macedonia, N. (2022, August). DETERMINATION OF BIOLOGICAL POTENTIAL OF TILIA CORDATA FLOWER EXTRACTS. In *PROCEEDINGS OF IV. INTERNATIONAL AGRICULTURAL, BIOLOGICAL & LIFE SCIENCE CONFERENCE AGBIOL 2022* (p. 21).

Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic press. ISBN 9780128153345. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815334-5.00004-5

Sudha, M. L., Srivastava, A. K., Vetrimani, R., & Leelavathi, K. (2007). Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of food engineering*, *80*(3), 922-930.

Takeuchi, J., & Nagashima, T. (2011). Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry, 126*(3), 922-926. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080

USDA (2019). Wheat flour, whole-grain (Includes foods for USDA's Food Distribution Program). FoodData Central Food Details. Recuperado en abril de 2025 de www.fdc.nal.usda.gov/food-details/168893/nutrients

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace.

Wang, H., Li, X., Peng, X., Liu, H., & Yu, W. (2023). Harnessing in vitro digestion of commercial oats for predicting their glycemic index (GI). *European Food Research and Technology, 249*(8), 2101-2111.

Yovchev, A. G., Briggs, C., Stone, A. K., Hucl, P., Nickerson, M. T., & Scanlon, M. G. (2017). Effect of salt reduction on dough handling and the breadmaking quality of Canadian western red spring wheat varieties. *Cereal Chemistry, 94*(4), 752-759.

Zhang, H., Sun, S., & Ai, L. (2022). Physical barrier effects of dietary fibers on lowering starch digestibility. *Current Opinion in Food Science*, *48*, 100940.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE CONSERVACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de un producto hace referencia al periodo de tiempo, luego de su elaboración, por el que se considera que el consumo del alimento es seguro y el mismo mantiene sus parámetros de calidad. No existe una metodología estándar para estimar o evaluar la vida útil de un producto ya que hay muchos factores diferentes con el potencial de afectar la calidad y seguridad del alimento (Food Standards Scotland, 2025). Entre estos factores podemos encontrar la composición, las materias primas empleadas, todo el proceso de elaboración, el envase y las condiciones durante el traslado, almacenamiento o manipulación final por parte del consumidor (Hough y Fiszman, 2005). Por lo tanto, las variables y propiedades a evaluar experimentalmente en función del tiempo de almacenamiento dependen de la naturaleza del alimento bajo estudio. La evaluación de almacenamiento y vida útil es un aspecto crítico para asegurar la seguridad, calidad y sostenibilidad alimentaria. En forma general, este estudio implica una evaluación metódica de numerosos parámetros que afectan a las circunstancias de almacenamiento de los alimentos y el periodo de tiempo durante el cual pueden conservarse las características deseadas de un producto alimenticio (Cruz, 2025).

1.1 DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL EN GALLETAS

Existen varios agentes que causan el deterioro de alimentos. En primer lugar, los factores físicos como fluctuaciones de temperatura, la humedad y daños mecánicos pueden promoverlo. Inadecuadas condiciones de almacenamiento, como alta humedad o calor excesivo pueden causar considerables cambios en la textura de los alimentos, además de favorecer el crecimiento microbiano o actividad enzimática, lo que genera un deterioro más acelerado (Asdullah y col., 2024). A su vez, los microorganismos como bacterias, levaduras, mohos y hongos son los principales agentes biológicos responsables de la degradación de alimentos. Estos microorganismos causan descomposición, lo que conduce a cambios indeseables en la textura, el olor y la apariencia (Subbarayudu y col., 2024). Por otra parte, las enzimas naturales en los

alimentos pueden causar deterioro al catalizar reacciones bioquímicas que conducen a la degradación de proteínas, grasas y carbohidratos, lo que genera rancidez y pérdida de sabor (Wang y col., 2022). A su vez, los procesos químicos como la oxidación e hidrólisis tienen la capacidad de alterar el color, el sabor y la textura de los alimentos. Estas reacciones generalmente se aceleran por la exposición al aire, la luz y el calor (Wag y col., 2023). Finalmente, los insectos, roedores y otras plagas también pueden causar el deterioro de alimentos debido a contaminación con sus desechos, lo que ocasiona una considerable degradación (Gałęcki y col., 2023).

Las causas de deterioro en galletas están dadas principalmente por factores físicos, químicos y microbiológicos, entre los que podemos destacar la absorción de humedad, oxidación lipídica, crecimiento de mohos y levaduras, entre otros. Estos fenómenos pueden afectar el valor nutricional del alimento, así como su color, textura y sabor (Mafe y col., 2024).

La oxidación de lípidos, una de las principales causas de deterioro en galletas, puede ocurrir tanto en forma no enzimática (auto oxidación) como por acción de la enzima lipoxigenasa, ya sea durante la elaboración o almacenamiento del alimento. Esta oxidación genera olores y/o sabores desagradables, además de causar el deterioro nutricional (Lupano, 2013).

Existen diversos métodos para evaluar la estabilidad oxidativa de los productos alimenticios. En principio, existe una combinación de productos de oxidación primarios y secundarios, como peróxidos y compuestos volátiles que pueden utilizarse para evaluar y/o cuantificar la oxidación. Estos métodos, junto con la evaluación sensorial, son predictores muy completos para la determinación de estabilidad de un alimento (Gebreselassie y Clifford, 2016).

La evaluación oxidativa debe llevarse a cabo mediante diferentes enfoques: diversas temperaturas, que pueden ir desde 20 hasta 50 ºC y humedad relativa, que generalmente varía entre 25 y 65%. El almacenamiento del producto en envases convencionales brinda información sobre la oxidación que ocurre al alimento, mientras que en el estudio en envases abiertos se puede inferir sobre la vida útil del producto, referida a la oxidación que ocurre cuando el consumidor deja el envase abierto en su casa por varios días.

La implementación de sistemas antioxidantes durante el desarrollo del producto es necesaria para la prevención oxidativa. Actualmente se busca incorporar sistemas antioxidantes naturales sobre los sintéticos. Por ejemplo, pueden usarse extractos de plantas para mejorar la actividad antioxidante en el alimento, siempre que estos extractos no aporten características sensoriales de percepción negativa sobre el mismo. Adicionalmente, la formación de productos provenientes de las reacciones de Maillard pueden proveer beneficios adicionales desde una perspectiva antioxidante (Gebreselassie y Clifford, 2016).

Los productos horneados, como las galletitas, admiten la incorporación ingredientes que aporten fibra, vitaminas y sustancias con actividad antioxidante, permitiendo mejorar su perfil nutricional. Estos productos suelen conservarse por mucho tiempo al tener baja humedad y actividad acuosa. Fenómenos como pérdida de crocancia y rancidez, causados por la oxidación lipídica, afectan negativamente la calidad organoléptica del producto. Por su parte, la rancidez contribuye a la generación de mal aroma o sabor, causando un rechazo por parte de los consumidores. Existen diferentes métodos para cuantificar la oxidación de lípidos, entre los que se encuentran: absorción de oxígeno, pérdida de sustratos iniciales, formación de radicales libres, formación de productos primarios de oxidación y formación de productos secundarios de oxidación (Senarathna y Navaratne, 2017). De esta manera, al estudiar estos parámetros, es posible analizar la evolución de la calidad del producto en el tiempo.

1.2 INGREDIENTES Y SU INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN

Las galletas se elaboran principalmente con harinas de cereales como trigo, avena, maíz, entre otras. La harina de trigo es la más utilizada contiene gliadina y glutenina, dos proteínas que forman el gluten cuando se combina con agua y se amasa. Actualmente, se tiende a incorporar granos enteros en las formulaciones de galletas para mejorar el aporte nutricional del producto, pero esto contribuye a un incremento en su oxidación.

El conocimiento de la composición lipídica de las harinas empleadas puede ayudar a comprender su estabilidad oxidativa. Por ejemplo, entre los ácidos grasos, el ácido linoleico ($CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$, Ω-6, 18:2 Δ9,12), que debe incorporarse en la dieta al ser un ácido graso esencial, es el que se encuentra en mayor

proporción en casi todos los cereales. En el trigo este ácido graso es el componente mayoritario (50-60% sobre el total lipídico), mientras que los ácidos palmíticos ($CH_3(CH_2)_{14}COOH$, 16:0) y oleico ($CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$, Ω-9, 18:1 Δ9), comprenden entre un 10 y un 25% del contenido graso (Gebreselassie y Clifford, 2016).

Es importante tener en cuenta que cuando la composición del alimento cambia, es posible que se vea modificada también su vida útil. Esto ocurre cuando se aplican diferentes tratamientos sobre algunos de los ingredientes que lo componen. En algunos lugares los productos horneados se elaboran a partir de cultivos propios, y los tratamientos que se realizan a los mismos pueden modificar la estabilidad oxidativa del producto terminado. Por ejemplo, existen registros que indican que la germinación del amaranto puede incrementar la proporción de compuestos fenólicos y flavonoides, por lo que, al aplicar este tratamiento sobre el amaranto, resulta en un incremento de su contenido de antioxidantes (Gebreselassie y Clifford, 2016).

Además de las harinas, en la formulación de productos horneados suelen incorporarse otros ingredientes que pueden influir sobre la vida útil. Por ejemplo, las grasas son un ingrediente fundamental en la elaboración de galletas. El tipo de grasa utilizada juega un papel muy importante en la calidad final del producto. Influye sobre propiedades sensoriales del alimento, como aceptabilidad, su vida útil, valor nutricional, calidad y seguridad alimentaria (Abd El-Baset y Almoselhy, 2023). Entre las fuentes de lípidos encontramos las grasas plásticas (como la margarina), aceites y productos lácteos. Durante el horneado el incremento de temperatura causa la fusión en las grasas sólidas y las grasas líquidas pueden actuar como solventes, facilitando reacciones químicas, entre las que se incluyen las reacciones de oxidación (Gharby y col., 2025). Las grasas fundidas contienen ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) que se vuelven más accesibles que en su estado sólido, esto ocasiona una mayor oxidación. Como resultado se obtiene mayor cantidad de peróxidos y, por ende, una disminución en la calidad sensorial del producto. Si bien la hidrogenación de ácidos grasos insaturados le brinda mayor estabilidad oxidativa a estos compuestos, el consumo de aceites hidrogenados y grasas trans han sido vinculados con la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Souad, 2024), por lo que su incorporación en la formulación de alimentos no es recomendable.

Existen otros ingredientes que son fuente pro oxidante, por lo que favorecen o catalizan la oxidación lipídica. Por ejemplo, la presencia de metales, la exposición a la luz y el calor (Falade y Oboh, 2015) y algunas enzimas, como la lipoxigenasa (Medina y col.,

2024). Además, cualquier ingrediente con la capacidad de influir sobre la actividad acuosa puede también afectar la oxidación de lípidos (Gebreselassie y Clifford, 2016). La presencia de pro oxidantes se da a veces por adición a los ingredientes originales. Por ejemplo, es común la fortificación de harina blanca con hierro. La adición de este metal ocasiona una disminución en la estabilidad oxidativa de la harina. Otra fuente a tener en cuenta es el agua de red que se incorpora en la formulación (Barden y Decker, 2016). Un mayor contenido de agua, y por ende mayor actividad acuosa, aumenta la tasa de reacción debido a que la mayoría de las reacciones se ven favorecidas por difusión (Chen y col., 2024).

1.3 ANTECEDENTES

Existe amplia evidencia sobre la influencia de la oxidación lipídica sobre la vida útil de galletas. Este alimento posee un área superficial considerable en contacto con aire, por lo que se promueven las reacciones de oxidación (Gebreselassie y Clifford, 2016) y, por ende, se favorecen fenómenos de rancidez.

Si bien el contenido de materia grasa en productos horneados les brinda sus propiedades texturales y dimensiones características (Abd El-Baset y Almoselhy, 2023), también da lugar a reacciones de oxidación durante el almacenamiento. La oxidación lipídica causa la formación de productos primarios y secundarios. Los primarios, como los hidroperóxidos, se caracterizan por una elevada inestabilidad y se descomponen en un amplio rango de productos secundarios, que a su vez conducen al desarrollo de malos olores y sabores que influyen negativamente en la palatabilidad de los alimentos y la vida útil en galletas (Balestra y col., 2019). Es posible distinguir tres etapas principales en los mecanismos de oxidación lipídica: iniciación, propagación y terminación. Durante la etapa de iniciación un radical substrae un átomo de hidrógeno de la molécula de lípido. En la propagación el radical del lípido reacciona con oxígeno dando lugar a la formación de un radical peróxido, que extrae un átomo de hidrógeno de otra molécula de lípido. De esta manera, se da una reacción en cadena. Finalmente, durante la etapa de terminación o finalización, dos radicales se combinan para formar productos estables y se frena la reacción en cadena. El consumo de oxígeno durante la oxidación de lípidos requiere de un tiempo de inducción, hasta que la concentración de radicales libres

alcance cierto nivel y, durante ese tiempo, no se detecta rancidez. Luego tiene lugar un período de consumo lento hasta que la concentración de peróxidos es elevada y finalmente ocurre un consumo de oxígeno exponencial, donde aparecen olores desagradables (Lupano, 2013).

El contenido de humedad en galletas también puede influir sobre el desarrollo de reacciones de oxidación. De acuerdo a lo reportado por Barden y Decker (2016), la estabilidad en el almacenamiento de galletas puede estar proporcionada en mayor medida por la actividad acuosa del alimento que por la presencia de pro oxidantes. Esto se debe a que la proporción de agua en el alimento favorece la movilidad de reactivos y la difusión de reacciones entre las que se encuentran las de oxidación.

Otros factores que pueden jugar un papel crítico sobre la vida útil y conservación de galletas son las condiciones de almacenamiento, como la temperatura, humedad relativa y exposición a la luz. Una elevada humedad ambiental puede causar una absorción de agua por parte del alimento, que da como resultado ablandamiento en su textura y pérdida de crocancia. Por otra parte, temperaturas elevadas favorecen la aceleración de reacciones de oxidación, conduciendo a la rancidez del alimento y deterioro de su aroma y sabor. Además, la exposición a la luz, particularmente UV, puede causar foto-oxidación de grasas, comprometiendo la calidad del producto (Singh y col., 2025).

1.4 ENVASADO

Una vez elaborados, los alimentos deben envasarse para evitar procesos de degradación, oxidación, rancidez y destrucción. En las galletas, la función principal del envase es la protección a la humedad, a fin de preservar su textura y evitar ablandamiento, la luz y al oxígeno (Gebreselassie y Clifford, 2016). Existen envases para alimentos con diferentes propiedades. En primer lugar, están los envases tradicionales de plástico sintético como el tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno, entre otros. Por otra parte, se encuentran los envases biodegradables cuyo material es de origen microbiano, polímeros provenientes de materia orgánica y biomasa, de almidones, celulosa, lignina, y también de proteínas como el colágeno, caseína, entre otros (Asgher y col., 2020). También existen envases denominados como activos debido a la incorporación de agentes bioactivos en su estructura, como

antimicrobianos, antioxidantes naturales, nanocompuestos, entre otros (Asgher y col., 2020) que favorecen la conservación de las propiedades sensoriales y nutricionales del alimento por diversos mecanismos, como la emisión de dióxido de carbono, la eliminación de humedad, oxígeno (Yildirim y col., 2018). Finalmente, los envases también pueden clasificarse como inteligentes. En este caso se incorporan tecnologías que pueden incluir la detección de gases, sensores de tiempo y temperatura, de maduración, entre otros parámetros de interés al momento de estudio de vida útil (Chen y col., 2020).

Los envases plásticos presentan gran versatilidad a la hora de almacenar alimentos. Se utilizan tanto para sólidos como para líquidos y semilíquidos. Son de peso ligero, fácil manipulación, gran variedad de presentaciones: diseños, colores, formas, tamaños y transparencia, poseen alta resistencia al impacto y corrosión (Araujo, 2022). A continuación, se presentan las propiedades y características más relevantes de algunos envases tradicionales de plástico sintético.

Tereftalato de polietileno (PET)

Se produce por la reacción de polimerización entre etilenglicol y ácido tereftálico. Es de amplio uso en envases, embalajes y aplicaciones textiles (Sin y Tueen, 2022), es un plástico transparente y reciclable. Presenta buena resistencia al impacto y presión interna, es rígido, permeable al oxígeno, absorbe la humedad y su resistencia térmica es hasta aproximadamente 90 ºC (Araujo, 2022).

Polietileno (PE)

Es un polímero del etileno. Se utiliza ampliamente en la fabricación de bolsas, botellas, frascos, barriles y cajas. Es un plástico reciclable que posee alta resistencia al impacto, es permeable al oxígeno, es transparente y flexible a temperaturas muy bajas (-50 ºC). Brinda protección contra la humedad de acuerdo a su densidad. Existen tres tipos: de baja (PEBD), media y alta (PEAD) densidad. El PEAD es un polímero conformado por unidades de etileno con estructura lineal. Posee alta hermeticidad al vapor de agua y no absorbe humedad, su resistencia térmica alcanza los 80 ºC, es sensible a productos alcalinos y ácidos. Por otra parte, el PEBD, a diferencia del PEAD, presenta una estructura muy ramificada, es liviano, tiene buena estabilidad térmica y hermeticidad al vapor de agua, es altamente permeable el oxígeno, no absorbe humedad y tiene buena resistencia a productos alcalinos y ácidos (Araujo, 2022).

Policloruro de vinilo (PVC)

Se obtiene a partir de la polimerización del cloruro de vinilo. Es ampliamente utilizado en laminados con papel y cartón, así como en la elaboración de envases de aceite de cocina. A diferencia de los plásticos anteriores, es difícil de reciclar. Presenta buena rigidez, resistencia a sustancias químicas y aceites, funciona como barrera contra los gases, tiene una muy buena resistencia al vapor de agua y no absorbe humedad. Su estabilidad térmica es similar a la del PE, de hasta 80 ºC aproximadamente (Araujo, 2022).

Polipropileno (PP)

Es un polímero del propeno o propileno. Es ampliamente utilizado en la elaboración de bolsas aptas para microondas, sorbetes, tapas de botellas y envases para bebidas. Es reciclable. Posee mayor rigidez y menor densidad que el PE, es resistente a altas temperaturas lo que lo vuelve apto para ser recipiente de esterilización de productos, es impermeable a la humedad, presenta buena transparencia y es hermético a grasas, ácidos y productos alcalinos (Araujo, 2022).

Poliestireno (PS)

Es un polímero del estireno, es una molécula de estructura no ramificada. Posee menor resistencia al impacto que los plásticos anteriores. Es reciclable, de apariencia transparente. Se utiliza en la elaboración de envases para bebidas, vasos, platos, cucharas y tapas. Es un material duro pero quebradizo, posee alta permeabilidad a gases y aromas, no absorbe la humedad, presenta estabilidad térmica a temperaturas mayores a 80 ºC y tiene propiedades aislantes a elevadas y bajas temperaturas (Araujo, 2022).

Poliamida (PA)

Se produce mediante la reacción entre di amidas y ácidos di carboxílicos. Suele utilizarse en la elaboración de envases multicapa. Es un polímero no reciclable. Posee muy buena resistencia mecánica, gran estabilidad al calor (hasta 105 ºC), es hermético a gases y grasas, posee alta permeabilidad al vapor y absorbe la humedad (Araujo, 2022).

Los recientes avances en la tecnología de envases han logrado introducir una gran variedad de materiales, que incluyen películas plásticas, papel aluminio, polímeros biodegradables y nanocompuestos, cada uno con propiedades específicas para mejorar la preservación de los alimentos (Singh y col., 2025). Por ejemplo, estudios previos han

demostrado que envases con baja permeabilidad al oxígeno y a la humedad prolongan la vida útil de las galletas al evitar fenómenos de rancidez (Gomes y col., 2020). Por otra parte, el envasado en atmósfera modificada y los sistemas que incorporan absorbentes de oxígeno o humedad permiten mantener la frescura y la calidad del producto durante prolongados períodos de tiempo. A su vez, es posible combinar distintos polímeros para obtener materiales multicapas que combinen sus propiedades individuales.

La vida útil y calidad de las galletas dependen en gran medida, además de su composición, del envase y las condiciones de almacenamiento a las que se somete. Un embalaje eficaz actúa como barrera contra los factores ambientales externos y desempeña un papel fundamental en cuanto a la conservación de la textura, sabor y el valor nutricional del producto (Robertson, 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto del almacenamiento sobre la composición, propiedades fisicoquímicas y digestibilidad de almidón *in vitro* de la galleta seleccionada en el panel sensorial, comparando dos materiales propuestos para el envasado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Almacenar las galletas en dos envases por al menos 3 meses en ambiente de temperatura y humedad controladas.
- Evaluar los cambios de humedad, actividad acuosa, color, propiedades texturales y pH en las galletas a fin de estudiar su evolución en función del tiempo.
- Analizar la evolución del contenido de inulina y fenoles totales durante el almacenamiento para determinar su estabilidad en el tiempo, comparando el efecto de ambos tipos de envases.
- Medir la estabilidad oxidativa del producto a través del índice de peróxidos y comparar la eficacia de los envases para mitigar la oxidación lipídica.

- Realizar determinaciones de digestibilidad de almidón *in vitro* a fin de evaluar el posible efecto del almacenamiento sobre el porcentaje de liberación de sacáridos y analizar su potencial adecuación a personas con diabetes.
- Analizar el comportamiento de los envases propuestos en el almacenamiento del producto final.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PROPIEDADES DE LOS ENVASES Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Se estudió la perdurabilidad de las galletas de formulación B (45% HTPB, 50% HTI y 5% HA), seleccionada en el análisis sensorial. Se decidió realizar el ensayo de vida útil sobre esta muestra, en comparación con las formulaciones de menor cantidad de aceite estudiadas en el Capítulo 3 (B2 y B3), ya que a mayor cantidad de aceite, más susceptible será de sufrir procesos oxidativos (Wang y col., 2023). Por este motivo se estaría trabajando en las condiciones más desfavorables y es esperable que muestras con menor contenido de grasas presentarán una vida útil más prolongada en las condiciones de estudio. Por otra parte, es relevante al presente estudio el análisis de conservación de un alimento con buena aceptación sensorial, lo que fue demostrado para la formulación B con anterioridad, de acuerdo a los resultados obtenidos en el panel sensorial (Capítulo 3, sección 4.1).

De acuerdo a la disponibilidad de envases de conocido micraje en el mercado local se adquirieron polietileno de baja densidad (PEBD) de 50 micrones y polipropileno (PP) de 18 micrones (Fig. D.1, Anexo D). El micraje es la unidad de medida que indica el grosor y la resistencia del material con el que se trabaja. En este caso, se seleccionaron diferentes materiales para comparar la evolución del alimento durante su almacenamiento en polímeros de mayor (PEDB) y menor espesor (PP).

Se analizaron las propiedades de los polímeros probados a fin de comprender su posible influencia en el comportamiento del alimento durante el almacenamiento. Se estimó la densidad superficial de los films por triplicado, mediante la determinación de su

gramaje y superficie, a fin de poder evaluar si las posibles diferencias entre muestras almacenadas en distintos envases pueden atribuirse al espesor o densidad superficial del material utilizado. Por otra parte, también se determinó el porcentaje de transmitancia de los envases mediante la utilización de un espectrofotómetro UV-Vis (modelo UV-1800, Shimadzu Corporation, Japón). La transmitancia es un parámetro comúnmente utilizado para medir la transparencia de polímeros. Para los materiales transparentes, las principales interacciones de la materia con la luz incluyen la transmisión de una fracción de la radiación incidente, registrada como transmitancia. Guzman-Puyol y col. (2022) analizaron los diferentes métodos (como transmitancia, opacidad y absorbancia) para determinar transparencia de materiales poliméricos empleados como envases de alimentos. De acuerdo con los autores, la transparencia de un material debe expresarse como su transmitancia en el rango visible (400 a 800 nm), debido a la facilidad de medición y a la normalización de los datos. A su vez, a fin de lograr una caracterización útil y completa, los autores sugieren acompañar esta medida del valor de espesor y una imagen de los polímeros utilizados. En el contexto de estudio de vida útil de galletas resulta relevante la determinación de transparencia de envases. Este parámetro puede definirse físicamente como la propiedad óptica de los objetos de permitir el paso de la luz sin dispersión. Por su parte, las galletas son alimentos susceptibles a sufrir cambios en su estructura durante el almacenamiento. Pueden ser afectadas por factores ambientales, como la luz y el oxígeno, que favorecen fenómenos de rancidez. El proceso de rancidez es un problema considerable en la industria alimentaria que involucra la oxidación lipídica y puede afectar la calidad del alimento en cuanto a sus atributos sensoriales (como sabor, apariencia, aroma y textura) acortando su vida útil (Duta y col., 2019). Por este motivo el análisis de transparencia, en relación con la transmitancia de los envases probados, es información útil que puede relacionarse con las propiedades de barrera de luz de los polímeros estudiados. Así, esta propiedad tiene el potencial de describir la incidencia de los fenómenos oxidativos que pueden tener lugar en el alimento al ser almacenado en presencia de luz.

A partir de un lote de galletas se agruparon de a 5 unidades, y se almacenaron en bolsas de los dos polímeros anteriormente mencionados. Se conservaron en una cámara de ambiente controlado (Grupo Annex S.A., modelo CST-350, Argentina) a una temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5% durante 14 semanas.

Las condiciones de preservación estuvieron determinadas por la cámara de almacenamiento.

3.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y DE COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS

A fin de analizar la evolución del alimento en cuanto a sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, se retiraron muestras a distintos tiempos de almacenamiento y se analizó la textura y el color con las metodologías descriptas anteriormente en el apartado 3.4.2 del Capítulo 2 y 3.2.3.2 del Capítulo 1, respectivamente. Para color se obtuvieron los índices L^*, a^* y b^* (en escala CIELAB) con el objetivo de analizar posibles cambios en la tonalidad de las muestras durante el almacenamiento. Con respecto a la textura, se analizó la dureza (fuerza requerida para la ruptura, N) y la distancia recorrida por la sonda hasta la ruptura (deformación, mm). Ambos parámetros pueden relacionarse con la crocancia del alimento y así estudiar su evolución en el tiempo. Estas determinaciones se realizaron por quintuplicado. Por otra parte, se analizó el contenido de humedad (AOAC 925.10, 1990) y actividad acuosa (a_w) (AOAC 978.18, 1990) al menos por duplicado. Estos ensayos se realizaron a fin de poder inferir sobre la estabilidad microbiana de las galletas al ser almacenadas y, a su vez, evaluar posibles relaciones de estos parámetros con la textura del alimento en conservación. Como se estudió anteriormente, el contenido de humedad en galletas puede tener influencia sobre sus parámetros texturales (apartado 4.3.2 del Capítulo 2). También se determinó el pH de las muestras (AOAC 943.02, 1990) para estudiar posibles cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento y evaluar si se mantiene en valores adecuados para este tipo de alimentos. Esta determinación se realizó por triplicado.

Con respecto a la composición del alimento se determinó inulina, contenido fenólico total e índice de peróxidos. El análisis de inulina se realizó por método indirecto para determinar las posibles variaciones del contenido de este prebiótico en el alimento al ser almacenado. Es importante tener en cuenta que el contenido de inulina en el tubérculo de topinambur es uno de sus fuertes atractivos para ser incorporado en alimentos, por lo que el análisis de este componente en función del tiempo es relevante a la hora de estudiar la conservación de las galletas elaboradas. En base a este parámetro, se busca evaluar si las galletas aportarán contenido prebiótico durante el tiempo en estudio. Para

su determinación se utilizó la técnica descripta por Díaz y col., 2019, detallada en el apartado 3.2.1.2 del Capítulo 1. Los resultados se expresan como porcentaje en base seca.

Por otra parte, se determinó el contenido fenoles totales. Este análisis es de gran importancia al estudiar el almacenamiento de alimentos ya que nos permite determinar el perfil de compuestos fenólicos y, de esta manera, poder inferir sobre la variación de sus propiedades bioactivas y antioxidantes en el tiempo. Lo deseable en este caso es comprobar si las galletas presentan contenido fenólico de manera tal que su consumo aporte compuestos bioactivos durante todo el almacenamiento. Se utilizó la metodología descripta por Kaur y col., 2017, detallada en el apartado 3.2.2.7 del Capítulo 1. Los resultados se expresan como μg GAE/g muestra seca.

Finalmente, se determinó el índice de peróxidos. Este parámetro permite cuantificar la oxidación lipídica del alimento, por lo que su análisis resulta fundamental a la hora de comprender los fenómenos oxidativos que tienen lugar durante el almacenamiento. De esta manera, es posible inferir sobre la estabilidad oxidativa de las galletas al ser almacenadas en diferentes envases. Si bien el Código Alimentario Argentino no establece un valor límite de este parámetro en galletas, estudios previos indican que este índice no debe exceder 10 miliequivalentes de peróxidos por kg de grasa contenida en el alimento (Asadi y col., 2022) para lograr una buena estabilidad oxidativa.

Para la determinación de índice de peróxidos se siguieron los lineamientos del método AOAC 965.33 (AOAC, 2005) con algunas modificaciones: se pesaron 0,5 g de muestra molida en un Erlenmeyer de 50 mL con tapa, se añadieron 3 mL de solución de ácido acético glacial: cloroformo (3:2), se agitó y se adicionaron 0,2 g de KI, agitando en la oscuridad por un minuto, se añadieron 3 mL de agua destilada y se tituló con solución de tiosulfato de sodio 0,01 N hasta desaparición de color amarillo. Seguidamente se volvió a añadir 3 mL de agua destilada y 0,05 mL de almidón al 1%. La titulación continuó hasta desaparición del color azul. Se realizó un blanco para cada determinación. El índice de peróxidos se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$Índice\ de\ peróxidos = \frac{V\ x\ N\ x\ 1000}{P}$$

Donde V es el volumen de tiosulfato de sodio, N es la normalidad de la solución de tiosulfato de sodio y P es el peso de grasa contenida en la muestra. Los resultados se expresan como miliequivalente de peróxido/kg grasa, en base seca.

Las determinaciones de inulina, contenido de fenoles totales e índice de peróxidos se realizaron por triplicado.

3.3 ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN *IN VITRO*

A fin de evaluar posibles cambios en la capacidad de liberación de sacáridos de las muestras en función del tiempo, se realizaron ensayos de digestibilidad de almidón *in vitro* de las galletitas almacenadas en PEBD y PP. Se tomaron muestras a distintos tiempos: a momento inicial y luego de 20, 50 y 80 días. Es relevante hacer un seguimiento de este parámetro durante el almacenamiento ya que se busca elaborar galletas potencialmente aptas para personas con diabetes. De esta manera, el estudio de digestibilidad de almidón permitirá inferir si el alimento presenta un adecuado grado de liberación de sacáridos durante el almacenamiento, al ser incubado con enzima α-amilasa.

La metodología utilizada para esta determinación fue la descripta en el apartado 3.3 del Capítulo 3 (Conforti y col., 2012). Las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresan como porcentaje de sacáridos por miligramo de muestra seca con respecto a la misma medición para miga de pan blanco (en forma numérica) y como mg de maltosa liberada por mg de muestra seca (en forma gráfica). Se obtuvieron valores promedio de digestibilidad de almidón *in vitro* para tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros bajo estudio se muestran en tablas, a fin de comparar estadísticamente la influencia de cada envase sobre la evolución del alimento en el tiempo. Para algunos parámetros también se muestran los resultados de forma gráfica de

al menos una medición mensual, de manera de brindar una mejor visualización de cada parámetro en estudio durante el almacenamiento.

4.1 PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS

La densidad superficial de los polímeros empleados para almacenar las galletitas fue de 112,54 ± 0,81 g/m^2 para PEBD y de 55,20 ± 1,37 g/m^2 para PP. Es esperable que las bolsas de PEBD presenten mayor densidad que las de PP ya que, de acuerdo a las especificaciones de los productos adquiridos en el mercado local, el material de PEBD es de mayor micraje o espesor que PP. El espesor de PEBD es de 50 micrones (μm), mientras que el de PP es de 18 micrones (μm).

Al determinar la transmitancia de los polímeros se encontró que ambos presentaron su mayor valor a una longitud de onda de 700 nm (dentro de la frecuencia de luz visible). La foto de los envases y el espectro realizado se encuentran en el Anexo D (Fig. D.1 y D.2, respectivamente). El mayor valor de transmitancia fue para PP, de 91,08%; mientras que para PEBD fue de 82,01%. Estos resultados son acordes a los reportados por Guzman-Puyol y col. (2022) que analizaron la transmitancia, como parámetro de referencia para la determinación de transparencia, de materiales poliméricos utilizados en el envasado de alimentos. Los autores también reportaron un mayor valor de transmitancia para PEBD que para PP. Es posible atribuir esta diferencia en la transmitancia de las muestras debido a que el envase de polipropileno (PP) es de mayor densidad y espesor que el de polietileno (PEBD). Estos parámetros están directamente relacionados con la capacidad de un material para transmitir la luz (Guzman-Puyol y col., 2022).

4.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, ACTIVIDAD ACUOSA, COLOR, TEXTURA Y pH

La humedad y actividad acuosa son parámetros de suma importancia a la hora de estudiar la conservación de alimentos envasados. Considerables incrementos en estas variables pueden ocasionar el deterioro del alimento ya que el contenido de humedad es esencial para el desarrollo de microorganismos (Dias y Bandara, 2019) y puede causar

modificaciones en su textura. De acuerdo al CAA (Código Alimentario Argentino, 2025), el nivel máximo admisible para este tipo de alimentos es del 12% (Capítulo IX, ALIMENTOS FARINÁCEOS, Art. 760). En la Tabla 4.1 y Fig. 4.1 se muestran los resultados obtenidos para contenido de humedad.

Tabla 4.1. Contenido de humedad (%) en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Humedad inicial: 5,58 ± 0,10%.

Envase/Semanas	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
PEBD	4,27 ± 0,39[a]	4,45 ± 0,28[a]	4,42 ± 0,01[a]	4,91 ± 0,46[a]	5,06 ± 0,57[a]	5,39 ± 0,42[a]	4,84 ± 0,01[a]
PP	5,32 ± 0,41[a]	6,01 ± 1,33[a]	4,08 ± 0,06[a]	4,30 ± 0,04[a]	5,14 ± 0,15[a]	4,58 ± 0,12[b]	5,08 ± 0,38[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

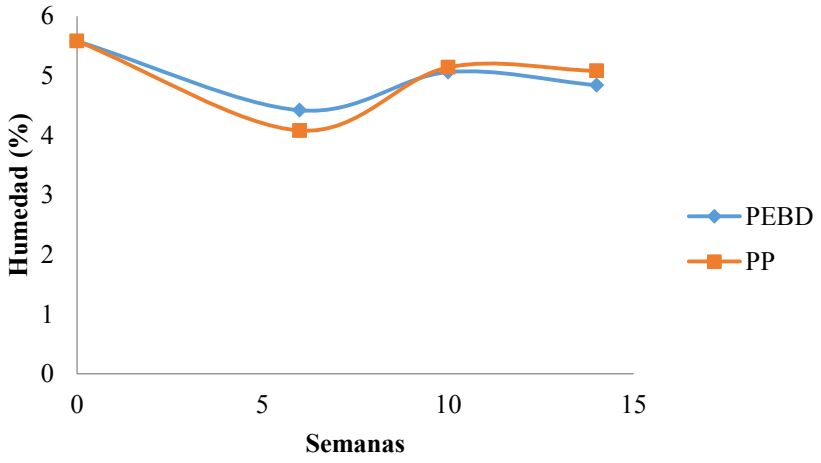


Fig. 4.1. Humedad media (%) vs tiempo (semanas) en galletitas almacenadas con distintos envases, en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5%).

Inicialmente la humedad media de las muestras fue de 5,58 ± 0,10%, se observó una disminución hasta la semana 6 para los dos envases y posteriormente los valores comenzaron a incrementar hasta alcanzar un valor máximo de 4,84% para PEBD y de 5,08% para PP.

Existen diversos estudios que han mostrado comportamientos diferentes respecto a la humedad durante el almacenamiento. Nadarajah y Mahendra (2015) analizaron el contenido de humedad de galletas con agregado de harina de coco. Los autores reportaron un comportamiento higroscópico de las galletas, que aumentaron su contenido de humedad durante el almacenamiento. Por otra parte, Dias y Bandara (2019) estudiaron el contenido de humedad en galletas enriquecidas con extracto herbal para mejorar sus propiedades nutricionales. Las galletas fueron almacenadas durante 6 semanas y, en forma similar a la tendencia observada en el presente estudio, los autores también encontraron una disminución de la humedad en el tiempo. A su vez, José y col. (2023) estudiaron la vida útil de galletas enriquecidas con fibra de alcachofa y reportaron valores de humedad fluctuantes durante el almacenamiento, observando una disminución neta de este parámetro en el tiempo para las muestras con fibra. En conclusión, el contenido de humedad de galletas depende principalmente de los ingredientes que la componen. A su vez, el contenido de humedad puede afectar la textura del alimento. En forma general, un aumento en la humedad se ha relacionado negativamente con la textura de galletas, que es un atributo de suma importancia a la hora de evaluar la preferencia del alimento por parte del consumidor (Akoja y Coker, 2018). Además, un bajo contenido de humedad presenta beneficios en cuanto a una reducción de la posibilidad de ataque microbiano y, por ende, mayor estabilidad durante el almacenamiento (Dias y Bandara, 2019).

La tendencia observada le confiere propiedades beneficiosas a las galletas ya que, una baja humedad se ha relacionado con una mejor textura de galletas y mayor una estabilidad durante el almacenamiento.

El comportamiento descripto fue similar para las muestras almacenadas en diferentes envases, aunque para PP se registró un valor levemente mayor, no significativo, al final del almacenamiento. Para los dos envases probados no se hallaron diferencias significativas de humedad en función del tiempo ($\alpha = 0,05$), ni entre envases. Es decir, que los envases probados no tuvieron influencia sobre el contenido de humedad del alimento durante su almacenamiento. De esta manera, es posible inferir que los envases empleados permitieron que la humedad de las galletas a lo largo del estudio disminuyera con respecto al valor inicial.

Es importante aclarar que los valores de contenido de humedad se mantuvieron siempre por debajo del límite establecido por el CAA (12%) para este tipo de alimentos en los dos envases probados.

A continuación, en la Tabla 4.2 y Fig. 4.2 se presentan los resultados obtenidos para actividad acuosa.

Tabla 4.2. Actividad acuosa en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Actividad acuosa inicial: 0,38 ± 0,01.

Envase/Semanas	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
PEBD	0,18 ± 0,01[a]	0,23 ± 0,01[a]	0,19 ± 0,01[a]	0,18 ± 0,01[a]	0,26 ± 0,01[a]	0,25 ± 0,01[a]	0,29 ± 0,01[a]
PP	0,21 ± 0,01[a]	0,25 ± 0,01[a]	0,20 ± 0,01[a]	0,18 ± 0,01[a]	0,31 ± 0,01[a]	0,25 ± 0,01[a]	0,28 ± 0,01[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

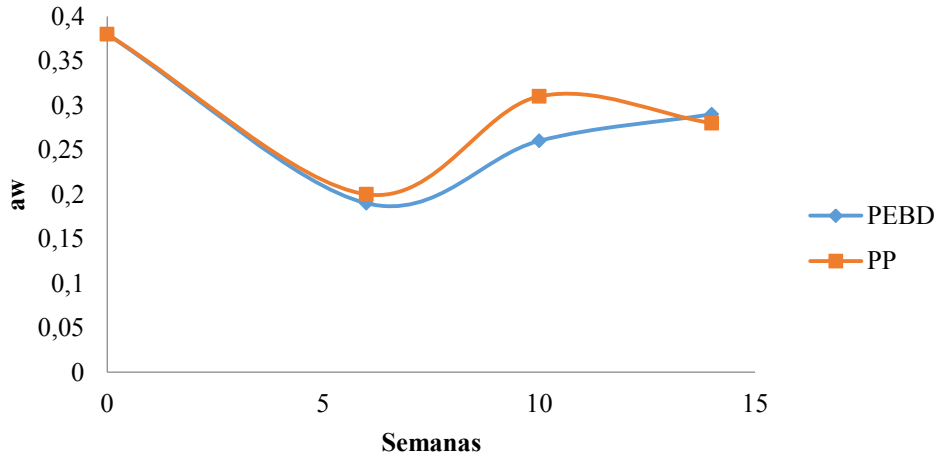


Fig. 4.2. Actividad acuosa media vs tiempo (semanas) en galletitas almacenadas con distintos envases, en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %).

La actividad acuosa inicial de las galletas fue de 0,38 ± 0,01. Durante el almacenamiento se registró una disminución neta en forma significativa ($p<0,05$) para a_w, con pequeñas fluctuaciones, registrando al final del tiempo de almacenamiento valores menores que el inicial (0,29 para PEBD y 0,28 para PP). Este comportamiento está en concordancia con el reportado para el porcentaje de humedad. Es esperable que muestras con menor contenido de humedad presenten una reducción del agua libre en su estructura y, por lo tanto, una menor actividad acuosa. Esta tendencia es favorable ya que indica una buena inhibición de desarrollo microbiano en el alimento y se mostró de manera similar para los dos envases utilizados. A ningún tiempo de almacenamiento se registran diferencias significativas entre envases. Esto indica que los polímeros probados no tuvieron influencia sobre la actividad acuosa del producto durante su almacenamiento.

A fin de estudiar posibles modificaciones en la apariencia de las galletas durante el almacenamiento se realizaron determinaciones de color al menos una vez por mes. Los resultados obtenidos para L^*, a^* y b^* se presentan en las Tablas 4.3, 4.4 y 4.5, respectivamente. Las reacciones de oxidación lipídica que pueden tener lugar durante el almacenamiento tienen el potencial de modificar el color del alimento por reacciones entre radicales libres con proteínas (Patrignani, 2014).

Tabla 4.3. Color (CIELAB). L^* cara frontal en galletitas almacenadas con distintos envases, en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). L^* inicial: 39,70 ± 1,89.

Envase/Semanas	**6**	**8**	**12**	**14**
PEBD	42,48 ± 2,01[a]	43,52 ± 2,59[a]	42,83 ± 1,21[a]	42,31 ± 0,65[a]
PP	44,05 ± 1,97[a]	42,34 ± 1,00[a]	43,19 ± 1,63[a]	43,19 ± 1,42[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Tabla 4.4. Color (CIELAB). a^* cara frontal en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). a^* inicial: 4,12 ± 0,76.

Envase/Semanas	6	8	12	14
PEBD	5,02 ± 0,96[a]	3,87 ± 0,43[a]	4,20 ± 0,59[a]	4,37 ± 0,61[a]
PP	4,05 ± 0,95[a]	3,95 ± 0,19[a]	4,36 ± 0,23[a]	3,94 ± 0,42[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Tabla 4.5. Color (CIELAB). b* cara frontal en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). b^* inicial: 24,28 ± 0,44.

Envase/Semanas	6	8	12	14
PEBD	27,87 ± 3,21[a]	26,91 ± 2,70[a]	27,39 ± 1,12[a]	27,13 ± 2,05[a]
PP	26,53 ± 1,36[a]	25,30 ± 1,16[a]	26,44 ± 1,43[a]	26,13 ± 1,89[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Respecto del color de las galletitas, a tiempo inicial el promedio registrado fue L^*: 39,70 ± 1,89; a^*: 4,12 ± 0,76 y b^*: 24,28 ± 0,44. En forma general, no se observaron diferencias significativas en el color de las muestras almacenadas en diferentes envases. Por lo tanto, se puede inferir que los materiales utilizados no presentaron influencia sobre los parámetros de color en estudio.

A su vez, al estudiar la evolución de los parámetros de color en el tiempo para cada tipo de envase no se observaron modificaciones en L^*, a^* ni b^* para ninguno de los materiales. Si bien hay leves fluctuaciones entre las medias, las mismas no fueron

significativas al nivel estadístico testeado (α = 0,05). Estos resultados están en concordancia con lo reportado por Gandhi y col. (2021) que estudiaron las características fisicoquímicas de galletas fortificadas con concentrado de proteínas durante su almacenamiento en PEBD. Si bien los autores encontraron un incremento en el valor de peróxidos de las galletas, los parámetros de color en estudio (L^*, a^* y b^*) permanecieron constantes durante el almacenamiento, con leves fluctuaciones que explican por el desarrollo de reacciones de Maillard y entre radicales libres y proteínas. Por otra parte, Rakshit y Srivastav (2022) estudiaron el almacenamiento de galletas con disminución del contenido de grasas en PEBD y tampoco observaron diferencias de color para los parámetros L^*, a^* y b^* durante el almacenamiento de hasta 98 días. De esta manera es posible inferir que las modificaciones fisicoquímicas y/o de composición que puedan haber sufrido las galletas no tuvieron influencia sobre su tonalidad durante el período bajo estudio.

Respecto a las determinaciones de textura de las galletitas durante el almacenamiento, los resultados obtenidos pueden visualizarse en la Tabla 4.6 y Fig. 4.3 para dureza (**F**, N), y en la Tabla 4.7, Fig. 4.4 para deformación o distancia recorrida por la sonda (**y**, mm).

Tabla 4.6. Dureza media (N) en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Dureza inicial: 3,70 ± 2,85 N.

Envase/Semanas	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
PEBD	5,25 ± 4,56[a]	10,56 ± 1,44[a]	9,75 ± 3,79[a]	10,61 ± 1,67[a]	11,36 ± 2,54[a]	10,63 ± 1,13[a]	8,69 ± 3,66[a]
PP	9,66 ± 2,56[a]	10,59 ± 1,76[a]	10,49 ± 1,46[a]	8,89 ± 1,41[a]	9,73 ± 2,35[a]	9,09 ± 0,78[a]	7,11 ± 4,46[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=5). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

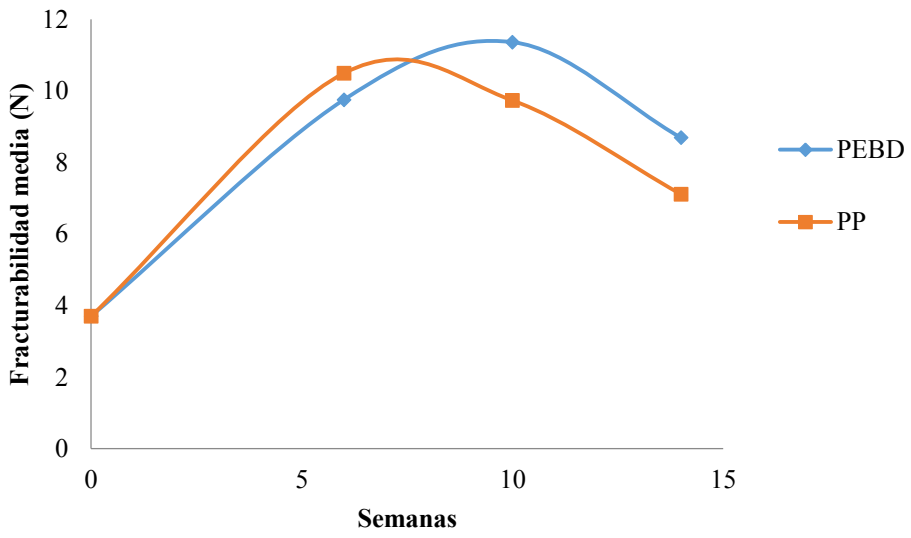


Fig. 4.3. Dureza media (N) vs tiempo (semanas).

La fuerza para fracturar las galletitas mediante el ensayo de tres puntos, presentó un valor inicial promedio de 3,70 ± 2,85 N. En algunos casos puede observarse una considerable dispersión en los valores presentados, como los de la semana 2 para PEBD, ya que las galletas, al ser un producto con contenido de burbujas de aire en su estructura, pueden dar lugar a gran variabilidad en los resultados texturales dependiendo si la sonda rompe el alimento en una sección con o sin contenido de aire. Además, para los análisis estadísticos se tomaron en cuenta todos los resultados obtenidos (n = 5). Los valores se incrementaron rápidamente de manera significativa ($p<0,05$), en concordancia con la disminución de la humedad y actividad acuosa de las muestras, sin encontrar diferencias significativas en cuanto al tipo de envase utilizado para su conservación. De esta manera se observa nuevamente que una disminución en el contenido de humedad se ve relacionada con un aumento en la dureza de las muestras.

Tabla 4.7. Distancia recorrida por la sonda (y, mm) en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Distancia inicial: 0,67 ± 0,51 mm.

Envase/Semanas	2	4	8	10	12	14
PEBD	0,25 ± 0,04[a]	0,31 ± 0,02[a]	0,37 ± 0,07[a]	0,38 ± 0,06[a]	0,36 ± 0,03[a]	0,39 ± 0,10[a]
PP	0,31 ± 0,03[a]	0,33 ± 0,01[a]	0,33 ± 0,05[a]	0,31 ± 0,04[a]	0,39 ± 0,06[a]	0,31 ± 0,09[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=5). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

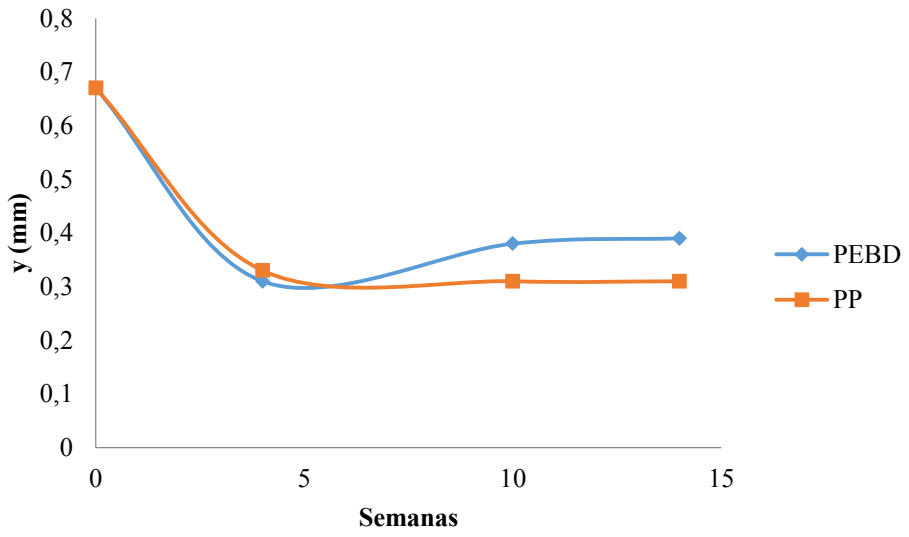


Fig. 4.4. Distancia que recorre la sonda (y, mm) vs tiempo (semanas).

La distancia que recorre la sonda (y, mm) inicial fue de 0,67 ± 0,51 mm. La misma disminuyó durante el almacenamiento en forma pronunciada (p<0,05) hasta la semana 2 (Tabla 4.7, Fig. 4.4). Posteriormente se registró un aumento de este parámetro a partir de la semana 4, solamente significativo para PEBD. Desde la semana 8 en adelante se registraron fluctuaciones no significativas (α=0,05) de la distancia recorrida por la sonda para los dos envases. Esta tendencia puede relacionarse, al igual que la dureza, con la pérdida de humedad y actividad acuosa de las muestras, se observa una correlación negativa entre estos parámetros. Las galletas se volvieron más duras

(aumento de fuerza requerida para la ruptura) conforme disminuyó su contenido de humedad y a_w, lo que causó que la sonda recorriera una distancia más corta entre el momento en el que entra en contacto con el alimento y se produce su ruptura. Los resultados obtenidos son similares para los dos envases probados, se observa una disminución levemente más marcada de este parámetro en PP, pero no es significativamente diferente a los resultados obtenidos para PEBD. De esta manera, se puede inferir que los envases probados no tuvieron influencia sobre la deformación de las muestras durante el período de estudio y que el tiempo tuvo influencia sobre la textura de las galletas. A medida que aumentó el tiempo de almacenamiento se registraron mayores valores de dureza y menores valores de deformación de las galletas, lo que puede relacionarse con un aumento en su crocancia. Es importante aclarar que, para estos dos parámetros, los resultados obtenidos durante todo el almacenamiento estuvieron dentro del rango de valores presentados por las galletas del panel sensorial (Tabla 2.5, Capítulo 2). De esta manera, se puede inferir que el tiempo de almacenamiento y los envases utilizados no afectaron en forma negativa las propiedades texturales del alimento, lo que resulta favorable en cuanto a sus propiedades sensoriales y a su potencial percepción por parte del consumidor.

A fin de comparar el pH de las galletas durante su almacenamiento con los valores establecidos por la Food and Drug Administration (FDA, EEUU) se determinó pH a tiempo inicial y luego a 6, 10 y 14 semanas en los envases probados. Los valores de pH registrados en las galletitas almacenadas se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. pH en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). pH inicial: 6,53 ± 0,01.

Envase/Semanas	**6**	**10**	**14**
PEBD	6,34 ± 0,05[a]	6,47 ± 0,10[a]	6,38 ± 0,05[a]
PP	6,39 ± 0,10[a]	6,37 ± 0,07[a]	6,34 ± 0,04[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Los valores de pH para galletas crackers comerciales se encuentran en un rango entre 5,65 y 7,32 (FDA, 2007; Loza y col., 2017). Por otra parte, estudios previos indican que el pH es un parámetro de estabilidad del alimento y un cierto grado de acidez en galletas se asoció con el desarrollo de un sabor agradable (Dias y Bandara, 2019). El pH del agua utilizada fue de 7,13 ± 0,10. No se observaron variaciones significativas estadísticamente (α=0,05) en el pH de las muestras entre los diferentes envases estudiados, ni con el tiempo de almacenamiento para cada envase. Los valores obtenidos fueron levemente inferiores al valor registrado al momento inicial: 6,53 ± 0,01.

Los valores hallados para todos los tiempos de análisis en los dos envases probados se ubican dentro del rango establecido por la FDA y son similares a los reportados por Dias y Bandara (2019), de 6,00 ± 0,05. De esta manera, es posible concluir que los valores de pH obtenidos son adecuados para este tipo de alimentos y que los posibles cambios estructurales y/o de composición que puedan haber sufrido las galletas no tuvieron influencia sobre su pH durante el período en estudio.

En resumen, en el caso de humedad y actividad acuosa se detectaron diferencias no significativas entre muestras almacenadas en diferentes envases para el período en estudio. A su vez, se observó una disminución neta de ambos parámetros en el tiempo, que se presentó en forma similar para los dos envases estudiados. La humedad de las galletas, varió entre un 4 y un 6% (el mayor valor se registró para las muestras almacenadas en PP), y en todo momento se mantuvo por debajo del límite establecido por el CAA para galletas. En cuanto a los valores de actividad acuosa, el máximo fue de 0,38 y se registró al inicio del estudio. Para los dos tipos de materiales la actividad acuosa disminuyó en forma neta a lo largo del tiempo y el mínimo obtenido fue de 0,18. Los bajos valores obtenidos para humedad y a_w indicarían que este alimento puede almacenarse en los envases probados sin que sufra deterioro y manteniéndose en valores adecuados para este tipo de alimentos.

Con respecto a los índices de color (L^*, a^* y b^*) y pH, no tuvieron variaciones significativas durante el almacenamiento. Por lo cual no se evidencia una influencia por parte de los envases sobre estos parámetros, ni del tiempo de almacenamiento durante el período en estudio.

Finalmente, los resultados indican que se registró un incremento en la firmeza de las muestras, que inicialmente tuvo un valor medio de 3,70 N, hasta la semana 6 y posteriormente se mantuvo constante. Este incremento en la firmeza se dio de manera uniforme para las muestras envasadas en los materiales en estudio. A su vez, se observó una disminución de la capacidad de deformación de las galletas conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, que fue similar para en dos envases probados. Estas modificaciones observadas pueden explicarse debido a la pérdida de humedad por parte de las muestras en el período de almacenamiento. A partir de las medidas realizadas, se puede inferir que los envases probados no presentaron influencia sobre las propiedades texturales de las muestras durante el almacenamiento, ya que en ambos casos el comportamiento observado fue similar. Por otra parte, se observó que el tiempo de almacenamiento influyó sobre las propiedades texturales de las muestras, aunque no de manera negativa, ya que un aumento en la firmeza y una disminución de la deformación pueden relacionarse con una mejor crocancia en galletas.

4.3 DETERMINACIÓN DE INULINA, FENOLES TOTALES E ÍNDICE DE PERÓXIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para contenido de inulina (Tabla 4.9 y Fig. 4.5), fenoles totales (TPC) (Tabla 4.10 y Fig. 4.6) e índice de peróxidos (Tabla 4.11 y Fig. 4.7) durante el almacenamiento de las galletas.

Tabla 4.9. Inulina (% en base seca) en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Inulina inicial: 7,13 ± 0,5%.

Envase/Semanas	**6**	**10**	**14**
PEBD	5,59±0,23[a]	5,29±0,12[a]	4,69±0,10[a]
PP	5,58±0,34[a]	5,34±0,31[a]	4,15±0,32[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=2). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

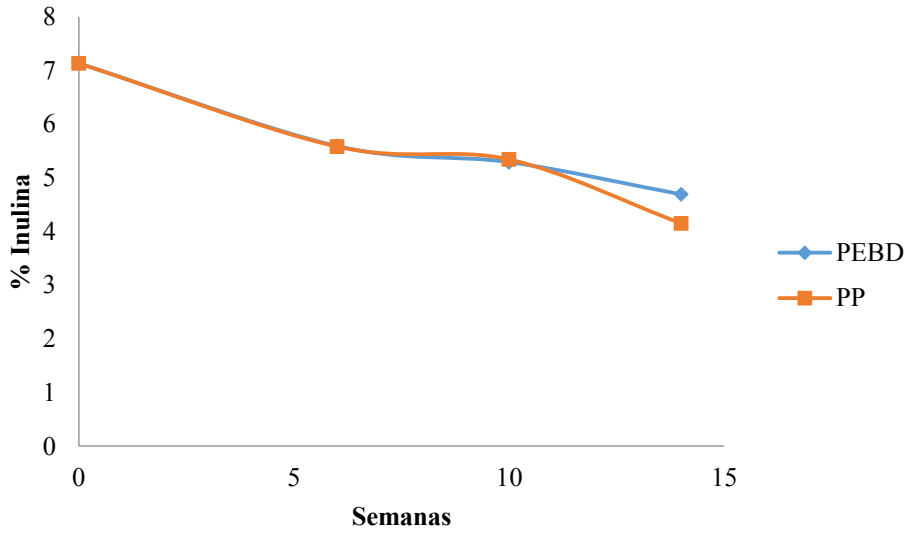


Fig. 4.5. Contenido de inulina medio (%) vs tiempo (semanas) en galletitas almacenadas con distintos envases, en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %).

La determinación de inulina se realizó por método indirecto a partir de una curva de calibración con patrón de fructosa (Díaz y col., 2019). El porcentaje de inulina inicial de las muestras fue de 7,13 ± 0,5% y el valor fue disminuyendo gradualmente durante el período de almacenamiento ($p<0,05$) (Tabla 4.9, Fig. 4.5). Este comportamiento se mostró de manera similar para los dos envases en estudio. Así, es posible concluir que los envases utilizados no tuvieron influencia sobre el contenido de inulina de las galletas, mientras que el tiempo y las condiciones de almacenamiento causaron una disminución de este parámetro al almacenar el alimento durante 14 semanas. De todas maneras, a lo largo del almacenamiento se registró contenido de inulina, lo que brinda al alimento propiedades prebióticas para su consumo durante todo el período de estudio.

En la Tabla 4.10 y Fig. 4.6 se muestran los resultados obtenidos para contenido fenólico total.

Tabla 4.10. Fenoles totales (µg GAE/g muestra seca) en galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP), en cámara de ambiente controlado (temperatura de 29,0 ± 2,6 °C y humedad relativa de 40,8 ± 6,5 %). Contenido de fenoles totales inicial: 2538 ± 3,48 µg GAE/g muestra seca.

Envase/Semanas	**6**	**10**	**14**
PEBD	1664,19 ± 6,97[a]	807,46 ± 1,16[a]	58,30 ± 0,13[b]
PP	1504,84 ± 5,40[b]	780,14 ± 0,75[b]	250,30 ± 1,53[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

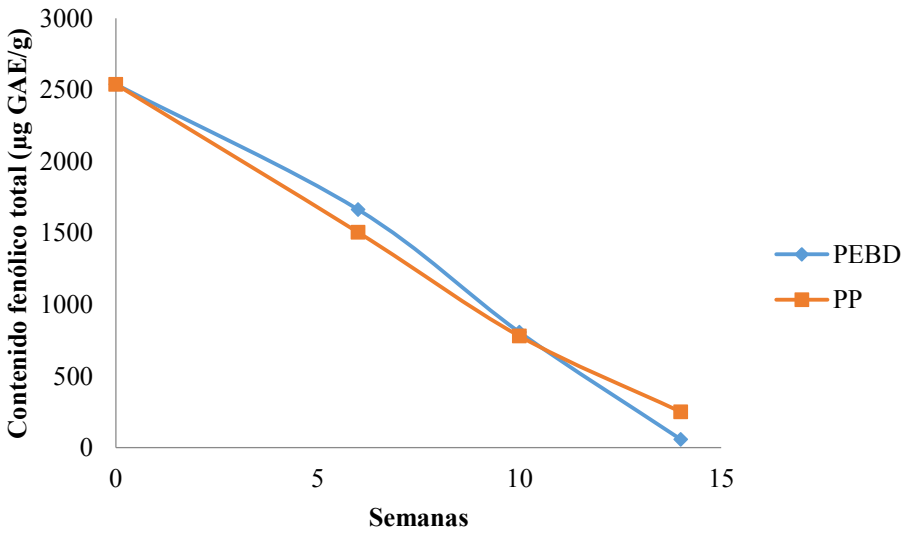


Fig. 4.6. Contenido de fenoles totales (µg GAE/ g muestra seca) vs tiempo (semanas).

Con respecto al contenido fenólico total (TPC), el valor obtenido inicialmente fue de 2538 ± 3,48 µg GAE/g muestra seca. Este valor de fenoles totales se encuentra dentro del rango de los obtenidos por Ranasinghe y col. (2025), que elaboraron galletitas enriquecidas con productos derivados de dátiles para mejorar su perfil de fibra y poli fenoles. Además, los autores concluyeron que el agregado de fibra y compuestos fenólicos en galletas contribuyeron a la retención de TPC durante un período de almacenamiento de 24 semanas. En el presente estudio el valor de TPC disminuyó constantemente durante todo el período de almacenamiento (p<0,05) (Tabla 4.10, fig.

4.6). Esta tendencia está en concordancia con lo reportado por José y col. (2023). Los autores estudiaron la estabilidad de compuestos fenólicos en galletas enriquecidas con extractos de alcachofa y observaron una disminución neta del contenido fenólico durante el transcurso del almacenamiento. Este comportamiento es esperable y puede atribuirse a que durante el almacenamiento se producen reacciones entre compuestos fenólicos y productos radicales originados por la oxidación lipídica (Paciulli y col., 2023; Ranasinghe y col., 2025), que dan como resultado una disminución del contenido fenólico del alimento.

Para los dos envases probados se observó la misma tendencia, aunque hasta la semana 10 la disminución del contenido fenólico fue significativamente más pronunciada para las muestras almacenadas en PP que en PEBD. Esto puede deberse a que el envase de PP tiene menor espesor y densidad superficial, por lo que las condiciones de la cámara afectaron en mayor medida a las muestras almacenadas en su interior, favoreciendo la oxidación lipídica con respecto a PEBD. A su vez, también es posible que el envase PP, al presentar mayor transparencia (% transmitancia) que PEBD, haya sido más susceptible al paso de la luz y, por ende, a sufrir reacciones de oxidación lipídica, que se ven promovidas por la presencia de luz (Bhoyar, 2023). Estas reacciones involucran la ruptura de ácidos grasos insaturados, que dan lugar a fenómenos de rancidez mediante la formación de aldehídos y cetonas. Por otra parte, al final del almacenamiento, las muestras almacenadas en PEBD mostraron menor contenido de fenoles con respecto a PP. A partir de los resultados obtenidos es posible inferir que el envase de PEBD es más apto para el almacenamiento de las galletas, al menos durante las primeras 10 semanas. Cabe destacar que, durante todo el almacenamiento, hubo registro de compuestos fenólicos en las galletas por lo que su consumo proporcionará aporte de compuestos bioactivos, incluso luego de almacenarse por 14 semanas.

A continuación, en la Tabla 4.11 y Fig. 4.7, se presentan los resultados obtenidos para índice de peróxidos.

Tabla 4.11. Índice de peróxidos (miliequivalente de peróxido/kg muestra seca) de galletitas almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) o en bolsas de polipropileno (PP). Índice de peróxidos inicial: 0,09 ± 0,001 miliequivalente de peróxido/kg grasa.

Envase/Semanas	2	4	6	8	10	12	14
PEBD	0,24 ± 0,02^{b}	0,45 ± 0,06^{b}	1,42 ± 0,12^{b}	1,70 ± 0,10^{b}	1,67 ± 0,08^{b}	1,94 ± 0,11^{b}	2,13 ± 0,15^{b}
PP	2,43 ± 0,10^{a}	3,51 ± 0,15^{a}	3,83 ± 0,25^{a}	4,09 ± 0,19^{a}	4,21 ± 0,15^{a}	4,31 ± 0,10^{a}	4,02 ± 0,36^{a}

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=3). Diferentes letras en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

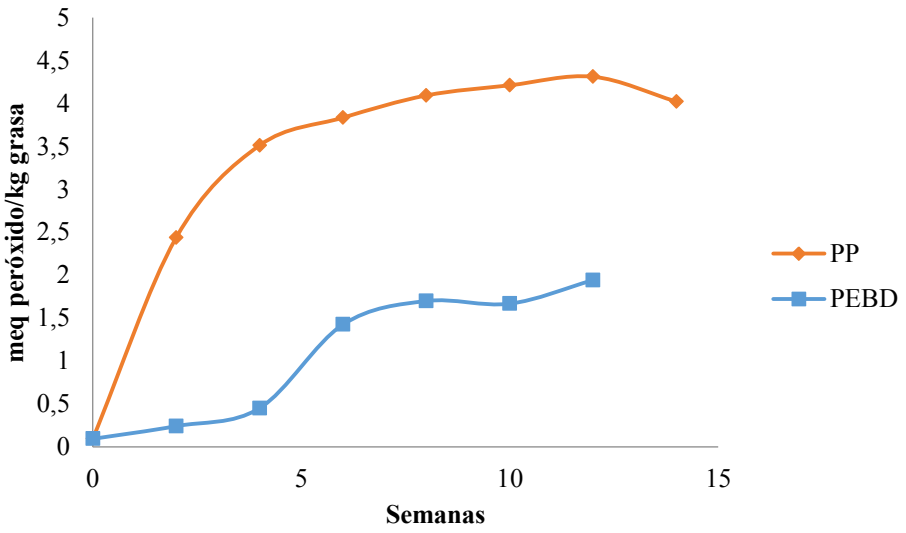


Fig. 4.7. Media del índice de peróxidos (miliequivalente de peróxido/kg grasa) vs tiempo (semanas).

Finalmente, con respecto al índice de peróxidos, se registró un valor inicial de 2,04 ± 0,01 miliequivalente de peróxido/kg muestra seca. Se observó un incremento de este parámetro para las muestras en los dos envases durante el período de almacenamiento ($p<0,05$). Este aumento en el índice de peróxidos fue significativamente mayor para las muestras almacenadas en PP (Tabla 4.11, Fig. 4.7), en comparación con PEBD. Estudios previos muestran como tendencia general el incremento del índice de peróxidos en galletas durante su almacenamiento (Sharma y Riar, 2020; Kaur y col.,

2023). Este incremento puede atribuirse, como se estudió anteriormente, a la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados del aceite y la hidrólisis de la enzima inulinasa. Estos fenómenos favorecen la degradación oxidativa (Patrignani y col., 2014) y por ende, el contenido de peróxidos en el alimento. Puede observarse que una disminución en el contenido de TPC de las galletas se vio relacionada con un incremento en su índice de peróxidos. Este comportamiento es esperable ya que la neutralización de especies bioactivas con propiedades antioxidantes, como lo son los compuestos fenólicos, frena el barrido de especies con capacidad oxidativa, como los peróxidos, por lo que se ve favorecido su incremento durante el almacenamiento.

A su vez, es posible vincular estos fenómenos oxidativos con los cambios de textura observados en las muestras. Patrignani y col. (2014) estudiaron el rol de la oxidación lipídica en galletas con diferentes tipos de aceites durante su almacenamiento por 6 meses en envases de polipropileno, las autoras también hallaron un incremento neto en el índice de peróxidos durante el almacenamiento y, además, relacionaron el contenido de peróxidos en galletas con un aumento en su dureza. Esta tendencia tiene lugar ya que los lípidos oxidados pueden reaccionar con las proteínas presentes en el alimento y modificar su textura (Patrignani y col., 2014). En el presente estudio se puede observar esta tendencia de aumento de dureza de las muestras, que puede deberse, en parte, a su oxidación lipídica. Es importante aclarar que valores altos de índice de peróxidos pueden causar cambios sensoriales como alteración del color y la textura y el desarrollo de olores y sabores rancios, que afectan la aceptación sensorial por parte del consumidor (Gharby y col., 2025).

Por otra parte, se observa que el incremento del valor de peróxidos fue significativamente mayor para las muestras almacenadas en PP con respecto a PEBD, con lo cual no sería aconsejable este tipo de envase para almacenar galletitas. Esta tendencia puede deberse a la baja densidad superficial y micraje del envase de PP, en comparación con PEBD, que favoreció fenómenos oxidativos en el alimento al ofrecer una barrera más débil a las condiciones de oxígeno y humedad del almacenamiento. Distintos estudios reportan que la tasa de transmisión de oxígeno en envases alimenticios varía en función de su espesor. Envases de mayor espesor tenderán a presentar una menor permeabilidad a este gas (Enguix y col, 2022; Buntinx y col., 2014), que posee propiedades oxidativas. Por otra parte, también es posible atribuir este comportamiento a la mayor transmitancia observada para PP (91,08%) con respecto a

PEBD (82,01%). Los materiales con una transmitancia por encima de 90% se consideran como altamente transparentes, mientras que los que se encuentran entre un 10% y un 80% se categorizan como translúcidos (Guzman-Puyol y col., 2022). De esta manera es posible inferir que PEBD, de menor transparencia, presentó una barrera de luz de mayor eficiencia en comparación a PP, por lo que las galletas almacenadas en este envase tendieron a una menor formación de compuestos oxidativos. Es posible hacer esta atribución ya que la incidencia de luz y oxígeno tiene influencia sobre la formación de compuestos oxidantes en alimentos, y el envase de PP propició propiedades de barrera menos eficientes que PEBD, al tener menor densidad superficial y espesor y mayor transparencia. Si bien algunos estudios han reportado que la transparencia es una característica deseada en envases de productos alimenticios (ya que permite al consumidor evaluar la apariencia del alimento antes adquirirlo) (Eldesouky y col., 2015), es posible que una elevada transparencia pueda favorecer la formación de peróxidos en galletas durante su almacenamiento. Por lo que, desde un punto de vista nutricional, esta característica podría no ser favorable para el tipo de alimentos en estudio.

Es posible concluir que los envases utilizados y las condiciones de almacenamiento presentaron influencia sobre el índice de peróxidos de las galletas. Un mayor tiempo de almacenamiento se relacionó con un incremento de este parámetro para los dos materiales en estudio. Además, las muestras almacenadas en PEBD mostraron significativamente menor desarrollo de peróxidos en comparación con PP, por lo que sería más favorable el almacenamiento de las galletas en PEBD. De todas formas, para ambos envases probados los valores del índice de peróxidos no excedieron el máximo establecido (10 miliequivalentes de peróxidos/kg grasa), por lo que se puede concluir que el consumo de las galletas es apto durante 14 semanas en relación a su estabilidad oxidativa.

En resumen, es posible concluir que el almacenamiento en las condiciones analizadas presentó una influencia sobre el contenido de inulina de las galletas, que disminuyó en el tiempo en forma similar para los dos envases utilizados, aunque las galletas presentaron aporte de prebióticos durante todo el período en estudio. Por otra parte, al analizar TPC y el índice de peróxidos se encontró una tendencia relacionada: un mayor contenido de peróxidos se vinculó con una disminución de TPC durante el almacenamiento aunque, para ambos envases, las galletas mostraron contenido de

compuestos bioactivos durante las 14 semanas. En forma general, los fenómenos oxidativos observados pueden atribuirse a la oxidación lipídica de ácidos grasos insaturados, provenientes del aceite vegetal con el que se formularon las galletas. Hasta la semana 10 de almacenamiento el envase PEBD mostró un mayor contenido de fenoles totales y durante todo el período en estudio presentó menor índice de peróxidos que PP. Este comportamiento puede atribuirse al mayor espesor, densidad superficial y menor transparencia de este envase. Estas características le proporcionaron mejores propiedades de barrera a PEBD, con respecto a PP, frente a las condiciones de humedad, paso de oxígeno y luz de la cámara de vida útil. De esta manera, se puede inferir que este envase es más apto para el almacenamiento de las galletas elaboradas, teniendo en cuenta la estabilidad oxidativa del alimento durante el período en estudio.

4.4 ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE ALMIDÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* de las muestras conservadas en PEBD y PP. Se reportan los resultados de porcentaje de sacáridos liberados por la muestra con relación a miga de pan blanco en la Tabla 4.12, y se grafican los resultados de maltosa neta liberada por las muestras y por miga de pan blanco a momento inicial y a 12 semanas de almacenamiento en las Fig. 4.8 y 4.9, respectivamente.

Tabla 4.12. Resultados obtenidos para ensayo de digestibilidad *in vitro* de almidón (% de sacáridos por miligramo de muestra seca con respecto a la misma medición para miga de pan blanco) de galletitas almacenadas (0, 3, 7 y 12 semanas) en polietileno baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP).

Incubación enzimática	**30 min**	**60 min**	**90 min**	**120 min**
Muestra inicial	15,9 ± 1,1	19,8 ± 0,6	16,2 ± 3,2	19,7 ± 2,9
3 semanas				
PEBD	18,2 ± 2,2[a]	18,9 ± 2,1[a]	18,6 ± 4,0[a]	20,8 ± 0,9[a]
PP	16,4 ± 2,6[a]	17,6 ± 1,4[a]	19,9 ± 3,2[a]	20,5 ± 3,5[a]
7 semanas				
PEBD	12,6 ± 7,8[a]	18,5 ± 1,9[a]	19,0 ± 9,0[a]	29,2 ± 2,6[b]
PP	22,3 ± 2,5[a]	18,8 ± 2,1[a]	19,2 ± 6,9[a]	11,6 ± 2,4[a]
12 semanas				
PEBD	27,3 ± 13,3[a]	17,2 ± 3,8[a]	16,8 ± 2,1[a]	22,9 ± 1,4[a]
PP	27,3 ± 9,1[a]	13,2 ± 2,0[a]	19,5 ± 6,5[a]	16,7 ± 1,4[a]

Los valores informados corresponden a las medias ± desviación estándar (n=4). Diferentes letras en una misma columna para cada período de almacenamiento indican diferencias significativas ($p<0,05$).

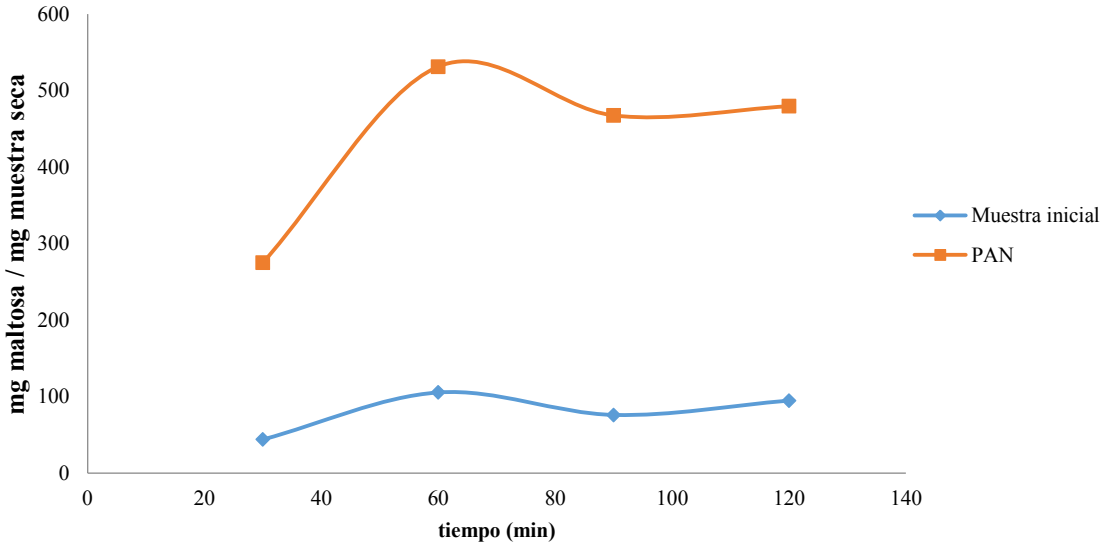


Fig. 4.8. mg Maltosa neta liberada por mg de muestra seca. Se grafican las medias obtenidas a tiempo inicial, previo al estudio de almacenamiento.

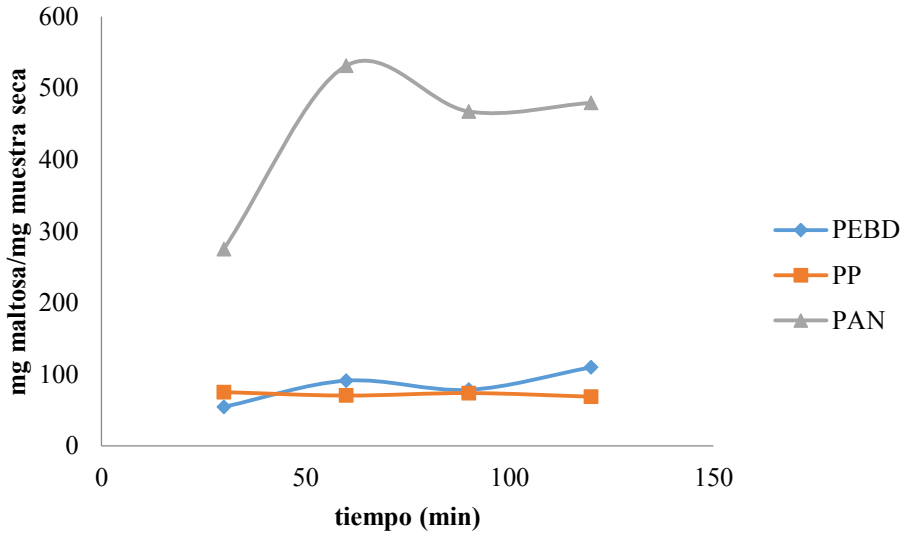


Fig. 4.9. mg Maltosa neta liberada por mg de muestra seca. Se grafican las medias obtenidas a 12 semanas de almacenamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa el bajo grado de liberación de sacáridos por parte de las galletitas elaboradas con *Helianthus tuberosus L.* con respecto a miga de pan blanco. De esta manera se puede inferir que, a priori según lo que indican los ensayos *in vitro*, el consumo de este alimento tiene la ventaja de no producir un

aumento abrupto del nivel de azúcares al ser degradado con la enzima. Esto puede deberse principalmente a su elevado contenido de fibra, que retrasa la gelatinización de los gránulos de almidón y, por lo tanto, disminuye la digestibilidad del alimento.

Estos resultados concuerdan con las conclusiones obtenidas por Radovanovic y col. (2015), que prepararon 3 formulaciones con trigo sarraceno y topinambur seco procesado usando tecnología de extrusión. Los autores analizaron las propiedades nutricionales y realizaron un estudio clínico en diez voluntarios sanos (de entre 21 y 56 años) para determinar el nivel del índice glucémico y la carga glucémica. Encontraron que el topinambur aumentó los niveles de fibra dietaria total e inulina mientras que contribuyó a la disminución del contenido de carbohidratos y lípidos. A su vez, este estudio muestra que el topinambur tiene un gran potencial para ser incorporado como un nutriente de bajo IG en las formulaciones alimentarias, mejorando el perfil de los productos alimenticios en su conjunto.

Durante el período de almacenamiento se observa que el porcentaje de liberación de maltosa de las muestras con respecto a miga de pan blanco presentó valores similares para los dos envases probados. Solamente se observan diferencias para las muestras almacenadas durante 7 semanas e incubadas por 120 minutos con enzima α-amilasa. La considerable dispersión de algunos resultados en este caso puede atribuirse a que el ensayo se realiza con volúmenes en el rango de micro litros, por lo que cualquier mínima contaminación de la muestra con enzima a la hora de realizar la lectura en el lector de placa causa variaciones considerables. Además, en los ensayos realizados se tomaron en cuenta todos los resultados obtenidos a la hora de realizar los análisis estadísticos. Por lo que, a priori, se puede inferir que los envases utilizados no tuvieron influencia sobre la digestibilidad de las muestras durante el período de estudio.

Es importante resaltar que para todos los períodos de almacenamiento, los tiempos de incubación enzimática y los envases probados, el alimento elaborado posee una tasa de liberación de sacáridos mucho menor a la de miga de pan blanco (Fig. 4.8). De esta manera, se puede concluir que el tiempo y condiciones de almacenamiento no presentaron influencia significativa sobre la digestibilidad de la muestras, por lo que las galletas pueden considerarse como potencialmente aptas para personas con diabetes al ser guardadas por un período de 14 semanas en PP y PEBD.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió la evolución de galletas elaboradas con considerable contenido de harina de topinambur (45% de la mezcla de harinas) en su formulación. Para esto se almacenaron durante un período de 14 semanas, en condiciones controladas de temperatura y humedad (29,0 ± 2,6 °C y 40,8 ± 6,5 %, respectivamente), en dos envases diferentes: PEBD y PP. Se analizó el efecto del almacenamiento sobre la composición, las propiedades fisicoquímicas y la digestibilidad de almidón *in vitro* de las galletas.

El almacenamiento durante 14 semanas produjo una disminución neta de la humedad y actividad acuosa de las galletas, aunque no en todos los casos fue significativa al nivel estadístico testeado ($\alpha = 0,05$). Este comportamiento se observó de manera similar para los dos envases estudiados. Es importante resaltar que los valores obtenidos para estos parámetros permanecieron dentro de rangos apropiados durante todo el período de almacenamiento. De esta manera es posible afirmar que se evidencia una adecuada estabilidad física del producto. Por otra parte, la disminución de humedad se correlacionó con un incremento significativo de la dureza y una disminución de la capacidad de deformación de las galletas. La dureza de las muestras incrementó rápidamente hasta la semana 6 y, posteriormente, se mantuvo sin modificaciones considerables. La deformación de las muestras mostró una marcada disminución desde el comienzo del almacenamiento y luego se mantuvo constante. Estas tendencias pueden relacionarse con la obtención de una textura más crocante, de manera que no se observó una influencia negativa del almacenamiento ni los envases sobre los parámetros texturales de las galletas.

Los parámetros de color (L^*, a^*, b^*) y pH no mostraron variaciones significativas ni diferencias entre envases, lo que demuestra que las reacciones oxidativas o de Maillard que pudieron ocurrir no alteraron perceptiblemente la tonalidad ni la acidez del alimento. La tendencia estable de estos parámetros es un indicio de perdurabilidad fisicoquímica del producto ante las condiciones de almacenamiento aplicadas. Además, durante todo el período de almacenamiento, los valores de pH de las galletas se mantuvieron dentro de un rango adecuado para este tipo de alimentos.

Al evaluar el contenido de inulina de las galletas se observó una disminución progresiva a lo largo del tiempo. La tendencia evidenciada fue independiente del tipo de envase utilizado. Sin embargo, se evidenció que durante todo el almacenamiento las galletas aportaron contenido prebiótico. De esta manera, es posible su consumo manteniendo esta cualidad del alimento durante las 14 semanas en estudio.

A su vez, el contenido de fenoles totales también mostró una disminución gradual. Este comportamiento es atribuible a su reacción con especies oxidantes, originadas mediante la oxidación lipídica de ácidos grasos insaturados. Para este parámetro se observaron diferencias significativas respecto al tipo de envase: PEBD presentó una mejor retención de compuestos fenólicos durante las primeras 10 semanas, mientras que PP mostró una degradación más acelerada. Este comportamiento se relaciona con el menor espesor, densidad superficial y mayor transmitancia del PP, características que promueven el paso de gases, la incidencia de luz y, en consecuencia, la formación de especies reactivas al oxígeno. De todas formas, para los dos envases probados, hubo registro de contenido fenólico durante todo el tiempo de almacenamiento, por lo que las galletas presentaron aporte de compuestos bioactivos durante las 14 semanas.

Con respecto al estudio de índice de peróxidos, se observó un aumento progresivo de este parámetro en los dos envases utilizados. Esta tendencia confirma la ocurrencia de oxidación lipídica en el alimento a lo largo del almacenamiento. A su vez, es posible que estos fenómenos oxidativos hayan contribuido al incremento en la dureza de las galletas debido a reacciones entre lípidos oxidados y proteínas en el alimento, que tienen el potencial de modificar su textura. Las diferencias entre envases observadas para el índice de peróxidos fueron evidentes: las muestras almacenadas en PP presentaron valores significativamente mayores de peróxidos en todos los períodos determinados. Esto indica una protección sensiblemente inferior frente al oxígeno y la luz para este envase. El menor espesor y mayor transparencia del PP pueden haber favorecido la penetración de radiación visible y la difusión de gases, acelerando los procesos oxidativos que dan lugar a la formación de peróxidos. Por otra parte, PEBD actuó como una barrera más eficiente, ya que contribuyó a una reducción en la formación de peróxidos y, por ende, a una mejor preservación de la estabilidad oxidativa del producto. La tendencia observada para este polímero puede atribuirse a su mayor densidad superficial y menor transmitancia, que dificultó el paso de luz y oxígeno sobre las muestras almacenadas en su interior. De esta manera, es posible

concluir que el almacenamiento de galletas en PEBD favoreció considerablemente la estabilidad oxidativa del producto. De todas formas es importante aclarar que a ningún tiempo de almacenamiento se obtuvieron valores superiores al máximo recomendado (10 miliequivalentes de peróxidos/kg grasa), por lo que las galletas mostraron buena estabilidad oxidativa. Este comportamiento se observó para los dos envases en estudio, pero en mayor medida para PEBD, por lo que sería mejor el almacenamiento de las galletas en este envase.

Finalmente, al realizar ensayos de digestibilidad de almidón *in vitro* se observó que, en todos los períodos de almacenamiento y al utilizar ambos envases, la liberación de sacáridos fue significativamente menor que la registrada para miga de pan blanco. Esta tendencia es atribuible al elevado contenido de fibra del alimento y confirma que las galletas mantienen un comportamiento compatible con un bajo índice glucémico. Por otra parte, no se evidenciaron diferencias significativas de este parámetro con respecto al tiempo de almacenamiento ni el tipo de envase utilizado. De esta manera, es posible concluir que el producto presenta elevada estabilidad en su cuanto a su grado de liberación de sacáridos, por lo que es potencialmente apto para consumidores con diabetes o prediabetes.

En resumen, se puede concluir que las galletas elaboradas con alto contenido de topinambur presentaron buena estabilidad fisicoquímica y propiedades sensoriales, ya que mantuvieron su textura, color, pH y a_w en rangos adecuados al ser almacenadas durante 14 semanas. Por otra parte, el estudio del contenido de inulina y fenoles totales permitió inferir que es posible el consumo del alimento durante 14 semanas luego de su elaboración, en referencia a su aporte prebiótico y de compuestos bioactivos. Por otra parte, al evaluar el índice de peróxidos, se evidenció que el polímero PEBD resulta de mayor aptitud para almacenar las galletas ya que su uso se vio relacionado con una evidentemente superior estabilidad oxidativa en comparación a PP. Finalmente, el análisis de digestibilidad de almidón *in vitro* se mantuvo estable durante todo el período de estudio, lo que indica que las galletas son potencialmente aptas para personas con problemas de diabetes aún luego de un prolongado período de almacenamiento.

En conjunto, el presente estudio demuestra que el envase de PEBD es el más adecuado para preservar la calidad del producto, especialmente en lo referente a su eficacia para mitigar la oxidación lipídica. De esta manera, el trabajo realizado aporta información

relevante para la selección de materiales de envasado en función de las características de galletas con propiedades funcionales.

6. REFERENCIAS

Abd El-Baset, W., & Almoselhy, R. (2023). Effect of some packing materials on oxidative stability of fats in date biscuits. Food Technology Research Journal, 1(1), 15-25.

Akoja, S. and Coker, O. (2018). Physicochemical, Functional, Pasting and Sensory Properties of Wheat Flour Biscuit Incorporated with Okra Powder. International Journal of Food Science and Nutrition, 3(5): 64-70.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15º Edición. 1990.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18º Edición. 2005.

Araujo D. (2022). Estudio comparativo de los diferentes tipos de envases utilizados en la industria alimentaria. Trabajo de titulación Químico en Alimentos. Universidad Central del Ecuador. Repositorio Digital UCE. Recuperado en abril de 2025 de https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/4a1c2363-d7c1-4d85-853d-d1df03819b84

Asadi, S. Z., Khan, M. A., & Zaidi, S. (2022). A study on the shelf life of cookies incorporated with sapota and beetroot leaf powders. *Journal of food science and technology*, *59*(10), 3848-3856.

Asdullah, H. U., Chen, F., Hassan, M. A., Abbas, A., Sajad, S., Rafiq, M., ... & Chen, Y. (2024). Recent advances and role of melatonin in post-harvest quality preservation of shiitake (Lentinula edodes). *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1348235.

Asgher, M., Qamar, S. A., Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2020). Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International, 137*, 109625.

Balestra, F., Verardo, V., Tappi, S., Caboni, M. F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2019). Chemical and physical changes during storage of differently packed biscuits formulated with sunflower oil. Journal of food science and technology, 56(10), 4714-4721.

Barden, L., & Decker, E. A. (2016). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, *56*(15), 2467-2482. http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2013.848833

Bhoyar, A. (20 de enero de 2023). *Rancidity in fats and oils: Considerations for analytical testing*. EW Nutrition. https://ew-nutrition.com/rancidity-fats-oils-considerations-analytical-testing/

Buntinx, M., Willems, G., Knockaert, G., Adons, D., Yperman, J., Carleer, R., & Peeters, R. (2014). Evaluation of the thickness and oxygen transmission rate before and after thermoforming mono-and multi-layer sheets into trays with variable depth. *Polymers*, *6*(12), 3019-3043.

Calligaris, S., Manzocco, L., Kravina, G., & Nicoli, M. C. (2007). Shelf-life modeling of bakery products by using oxidation indices. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(5), 2004-2009.

Chen, H., Cao, P., Li, B., Sun, D., Wang, Y., Li, J., & Liu, Y. (2017). Effect of water content on thermal oxidation of oleic acid investigated by combination of EPR spectroscopy and SPME-GC-MS/MS. Food Chemistry, 221, 1434-1441.

Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., & Aliakbarian, B. (2020). The role of smart packaging system in food supply chain. *Journal of Food Science, 85*(3), 517-525.

Código Alimentario Argentino (2025). Código Alimentario Argentino. Argentina.Gob.ar. Recuperado el día 20 de mayo de 2026 de https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario

Conforti, P. A., Yamul, D. K. & Lupano, C. E. (2012). Influence of Milk, Corn Starch, and Baking Conditions on the Starch Digestibility, Gelatinization, and Fracture Stress of Biscuits. *Cereal Chemistry, 89*(4), 205–210. doi: http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-11-11-0138

Cruz, R. M. (2025). Storage and Shelf-Life Assessment of Food Products. Foods, 14(16), 2795.

Daglioglu, O., Tasan, M., Gecgel, U., & Daglioglu, F. (2007). Changes in oxidative stability of selected bakery products during shelf life. *Food Science and Technology Research*, *10*(4), 464-468.

Dias, N. A. I. S., & Bandara, G. M. W. R. (2019). Nutritive assessment of composite flour biscuit incorporated with herbal plant powder. *Journal of Food and Agriculture, 12*(1).

Díaz A., Bomben R., Dini C., Viña S.Z., García M.A., Ponzi M. & Comelli N. (2019). Jerusalem artichoke tuber flour as a wheat flour substitute for biscuit elaboration. *LWT, 108*, 361 – 369. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.082

Duta, D. E., Culetu, A., & Mohan, G. (2019). Sensory and physicochemical changes in gluten-free oat biscuits stored under different packaging and light conditions. *Journal of food science and technology*, *56*(8), 3823-3835.

Eldesouky, A., Pulido, A. F., & Mesias, F. J. (2015). The role of packaging and presentation format in consumers' preferences for food: an application of projective techniques. *Journal of sensory studies*, *30*(5), 360-369.

Enguix, C., Sanjuan, N., & Ribal, J. (2022). Oxygen transmission rate through thermoformed trays: Modeling and influence of processing variables. *Polymer Engineering & Science*, *62*(11), 3599-3610.

Falade, A. O., & Oboh, G. (2015). Thermal oxidation induces lipid peroxidation and changes in the physicochemical properties and β-carotene content of arachis oil. International Journal of Food Science, 2015(1), 806524.

FDA. 2007. US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. PH values of food products. *Journal of Food Engineering, 34*(3): 98-99.

Food Standards Scotland (15 de enero de 2025). Shelf-life guidance 2025. Food Standards Scotland. https://www.foodstandards.gov.scot/business-guidance/running-a-food-business/publications/shelflife-guidance-2025

Gałęcki, R., Bakuła, T., & Gołaszewski, J. (2023). Foodborne diseases in the edible insect industry in Europe—New challenges and old problems. *Foods*, *12*(4), 770.

Gandhi, K., Gautam, P. B., Kumar, K., Sharma, R., & Mann, B. (2021). Physico-chemical characteristics of biscuits fortified with whey protein concentrate–iron sulphate (WPC–FeSO 4) complex. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 2831-2841.

Gebreselassie, E., & Clifford, H. (2016). Oxidative stability and shelf life of crackers, cookies, and biscuits. In *Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats* (pp. 461-478). AOCS Press. https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00012-4

Gharby, S., Asbbane, A., Ahmed, M. N., Gagour, J., Hallouch, O., Oubannin, S., Bijla, L., Goh, K. W., Bouyahya, A. & Ibourki, M. (2025). Vegetable oil oxidation: Mechanisms, impacts on quality, and approaches to enhance shelf life. Food Chemistry: X, 102541.

Gomes, M. H., Ferrreira, M., Oliveira, J. (2020). Packaging solutions to extend the shelf life of biscuits: A review. *Food Packaging and Shelf Life, 24*:100-112.

Guzman-Puyol, S., Benítez, J. J., & Heredia-Guerrero, J. A. (2022). Transparency of polymeric food packaging materials. *Food Research International*, *161*, 111792.

Hough, G., & Fiszman, S. (2005). Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. *CYTED. Madrid. España*, *111*.

José, F. J. S., Collado-Fernández, M., & Álvarez-Castellanos, P. P. (2023). Variation, during shelf life, of functional properties of biscuits enriched with fibers extracted from artichoke (Cynara scolymus L.). *Nutrients*, *15*(15), 3329. https://doi.org/10.3390/nu15153329

Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *9*, 14-20. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.12.002

Kaur, P., Choudhary, M., & Sharma, S. (2023). Fatty acid profiling and oxidative stability of biscuits available in the market of the city of Ludhiana, India. *Scientific Reports*, *13*(1), 21791. https://doi.org/10.1038/s41598-023-44228-x

Loza, A., Quispe, M., Villanueva, J., & P Peláez, P. (2017). Development of functional cookies with wheat flour, banana flour (Musa paradisiaca), sesame seeds (Sesamum indicum) and storage stability. *Scientia Agropecuaria, 8*(4), 315-325.

Lu, L. X., & Xu, F. (2010). Effects of initial oxygen concentration and oxygen-barrier property of film on fat oxidation rate of packed cookies. *European Food Research and Technology*, *231*(2), 347-351.

Lupano, C. E. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento 1ª ed. UNLP. E-Book: ISBN 978-950-34-1028-8

Mafe, A. N., Edo, G. I., Makia, R. S., Joshua, O. A., Akpoghelie, P. O., Gaaz, T. S., ... & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances*, *5*, 100852.

Medina, A. V., Nazareno, M. A., & Chaillou, L. L. (2024). Inhibitory effect of phenolic compounds on lipoxygenase activity in reverse micellar systems. *Food Bioscience, 62*, 105039.

Nadarajah, S., & Mahendran, T. (2015). Influence of storage conditions on the quality characteristics of wheat-defatted coconut flour biscuits packed in metalized polypropylene. International Journal of Engineering Research and Technology, 4(7), 948-951.

Paciulli, M., Grimaldi, M., Rinaldi, M., Cavazza, A., Flamminii, F., Di Mattia, C., Gennari, M. & Chiavaro, E. (2023). Microencapsulated olive leaf extract enhances physicochemical stability of biscuits. *Future Foods*, *7*, 100209.

Patrignani, M., Conforti, P. A., & Lupano, C. E. (2014). The role of lipid oxidation on biscuit texture during storage. *International Journal of Food Science and Technology, 49*(8), 1925-1931.

Radovanovic, A.; Stojceska, V.; Plunkett, A.; Jankovic, S.; Milovanovic, D. & Cupara, S. (2015). The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry, 177*, 81-88.

Rakshit, M., & Srivastav, P. P. (2022). Sensory evaluation and storage stability of fat reduced shortdough biscuit using hydrolysable tannin encapsulated double emulsion as fat replacer. *Lwt, 154*, 112816.

Ranasinghe, M., Alghaithi, M., Mugdil, P., Sundarakani, B., Stathopoulos, C., & Maqsood, S. (2025). Fiber and polyphenol enriched biscuits using date palm byproduct: Physiochemical characteristics, sensory properties, in vitro digestion, and storage stability. *Journal of Food Science, 90*(1), e17667.

Robertson G. L. (2017). Food Packaging: Principles and Practice. CRC Press.

Subbarayudu, S., Namasivayam, S. K. R., & Arockiaraj, J. (2024). Immunomodulation in non-traditional therapies for methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) management. *Current Microbiology*, *81*(10), 346.

Senarathna, H. W. U. N., & Navaratne, S. B. (2017). Determination of the organoleptic quality of hard dough biscuits during the shelf life by chemical analysis.

Sharma, R., & Mann, B. (2021). Physico-chemical characteristics of biscuits fortified with whey protein concentrate–iron sulphate (WPC–FeSO 4) complex. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2831-2841.

Sharma, S., & Riar, C. S. (2020). Effect of storage period and packaging materials on textural, phenolic, antioxidant properties of cookies made from raw and germinated minor millet blends flour. *Annals: Food Science & Technology*, *21*(1).

Sin, L. T., & Tueen, B. S. (2022). *Plastics and Sustainability: Practical Approaches*. Elsevier. pp 45-89.

Singh, V. K., Verma, S., Chaudhary, V. & Shahi, N. C. (2025). Impact of packaging materials and storage conditions on the shelf life and quality of biscuits. *International Journal of Food Science and Nutrition, 10*(2), 9-11.

Souad, B. (2024). Hydrogenated oils and public health: a scientific analysis of trans fats and disease. Brazilian Journal of Health Review, 7(9), e74771-e74771.

Walker, C.E., Li, J. (2008). Crops and their processing. In: Pyler, E. (Ed.), Baking Science and Technology, fourth ed. Kansas City, MO, pp. 567–600.

Wang, D., Cheng, F., Wang, Y., Han, J., Gao, F., Tian, J., ... & Jin, Y. (2022). The changes occurring in proteins during processing and storage of fermented meat products and their regulation by lactic acid bacteria. *Foods*, *11*(16), 2427.

Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science, 8*(1), 35-44.

Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, *17*(1), 165-199.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo general diseñar, formular y caracterizar galletitas a base de harina de topinambur, evaluando sus propiedades nutricionales, funcionales, sensoriales y su comportamiento durante el almacenamiento. Los resultados obtenidos a lo largo de los cuatro capítulos permiten afirmar que este objetivo fue alcanzado de manera integral y con resultados de relevancia científica.

En primer lugar, se confirmó el elevado potencial del topinambur como ingrediente funcional. Su procesamiento para la obtención de harina tuvo un rendimiento acorde al reportado por estudios previos. Además, la harina resultó rica en fibra dietaria, proteínas y baja en grasas, lo que le confiere propiedades nutricionales atractivas para ser incorporada en alimentos como reemplazo parcial de harina de trigo, a fin de mejorar su perfil nutricional. Por otra parte, la harina presentó un considerable contenido fenólico y de inulina, que es indicio de un perfil antioxidante, prebiótico y bioactivo favorable. Adicionalmente, gracias a la determinación de propiedades físicas fue posible concluir que la harina posee estabilidad térmica cercana a los 200 ºC, lo que permite su incorporación en productos horneados sin una pérdida considerable de los carbohidratos que la componen, como la inulina. Además, su baja actividad acuosa le confiere estabilidad microbiana por inhibir el desarrollo de microorganismos. De esta manera, es posible almacenar la harina durante un período de tiempo considerable sin que sufra deterioro. Finalmente, su elevada capacidad de retención de agua y aceite demuestran el potencial de esta harina a contribuir a las propiedades estructurales de productos alimenticios. Por lo tanto, se concluye que las características nutricionales, bioactivas y fisicoquímicas determinadas demostraron que este tubérculo posee propiedades adecuadas para su incorporación en productos horneados, aportando simultáneamente valor nutricional y funcional, especialmente destinado a personas que requieran de una dieta de elevado contenido de fibra y prebióticos, y baja en azúcares fácilmente asimilables.

La aplicación del diseño de mezclas permitió desarrollar numerosas formulaciones de galletas con diferente contenido de harinas de topinambur, trigo integral y amaranto. Los resultados del diseño experimental indican que la proporción de harina de topinambur fue un factor de gran influencia sobre la textura de las galletitas, que se

asoció a la obtención de una estructura más rígida y crocante. A su vez, dio lugar a masas de mayor firmeza. Esta tendencia se atribuyó al elevado contenido de fibra de la harina de topinambur. Por otra parte, las determinaciones fisicoquímicas realizadas (pH, color y actividad acuosa) se mantuvieron dentro de rangos adecuados, confirmando la estabilidad y calidad tecnológica de las formulaciones desarrolladas. La optimización del diseño basada en las propiedades texturales de las galletas verificó que el modelo de regresión ajustado presentó una buena capacidad predictiva para las respuestas seleccionadas. De esta manera, fue posible identificar 3 formulaciones con perfiles texturales de buena crocancia combinando en distintas proporciones las tres harinas mencionadas. Las composiciones de estas premezclas se denominaron A_{opt}, B_{opt} y C_{opt}. Al evaluar las propiedades texturales de los productos elaborados se observó que las masas presentaron elevada firmeza, por lo que se incrementó el porcentaje de hidratación de las premezclas seleccionadas en base a su capacidad de retención de agua. De esta manera, las formulaciones se renombraron como A, B y C, ya que tuvieron mayor cantidad de agua que las obtenidas a partir de la optimización. Esta modificación dio como resultado una clara mejora de las propiedades texturales de las masas, al disminuir su firmeza y aumentar su elasticidad, por lo que se decidió incorporar este alto porcentaje de hidratación para el proceso de elaboración de las galletas. Por otra parte, se aumentó el tiempo de cocción para mantener bajos niveles de actividad acuosa y parámetros texturales favorables. De los tiempos probados, de 8 y 10 minutos, un mayor tiempo de cocción se vio relacionado con la obtención de una mejor crocancia y gran similitud con las propiedades texturales de galletas comerciales, por lo que se seleccionó este tiempo de cocción para experiencias futuras. La tendencia presentada se vio directamente relacionada a la diferencia en el contenido de humedad de las muestras: un mayor contenido de humedad se asoció en todos los casos con una textura más gomosa. De esta manera, las muestras con mayor cocción presentaron menor contenido de humedad y, por ende, una textura más crocante. A partir de las experiencias realizadas con mayor porcentaje de hidratación fue posible concluir que el contenido de agua proporcionó gran influencia sobre los parámetros de textura tanto en masas como en galletas. Un aumento en la cantidad de agua añadida contribuyó a la obtención de masas más blandas y fáciles de manejar. Pero, por otra parte, se asoció con galletas más deformables y de menor crocancia. Además, presentó influencia sobre el color de las galletas, que tendieron a un menor desarrollo de las reacciones de pardeamiento conforme aumentó su contenido de humedad. Por otra parte, la actividad

acuosa y pH de las galletas elaboradas se mantuvieron en niveles adecuados para este tipo de alimentos. Cabe destacar que, en todos los casos, las formulaciones seleccionadas A, B y C tuvieron un elevado contenido de HTPB, que varió entre 45% para la muestra B hasta un 75% para la muestra A. De esta manera, se puede concluir que es posible lograr una elevada incorporación de harinas funcionales, particularmente de topinambur, en la formulación de galletas de manera tal de mejorar sus propiedades nutricionales, como el contenido de fibra, sin comprometer su calidad tecnológica.

El análisis sensorial descriptivo permitió seleccionar la formulación B como la de mayor aceptabilidad general entre las formulaciones evaluadas. Esta formulación presentó buena aceptación en atributos de aroma, color y sabor y, significativamente, la mejor textura y aceptabilidad general. Estos resultados confirman que es posible elaborar un producto con alto contenido de topinambur sin comprometer su aceptación sensorial. De esta manera, la formulación B fue seleccionada para profundizar en su estudio. Desde el punto de vista nutricional, esta formulación se clasificó como fuente de proteínas y con elevado contenido de fibra dietaria, además de exhibir un perfil bioactivo relevante por su contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. De esta manera, es posible afirmar que el alimento elaborado presenta propiedades funcionales más allá de su aporte nutricional. Al analizar el contenido de aminoácidos esenciales de la mezcla de harinas en forma teórica, se encontró que la harina de amaranto es un ingrediente con el potencial de mejorar el perfil aminoacídico de los alimentos en los cuales se incorpora. Por otra parte, la galleta seleccionada presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas para este tipo de alimentos teniendo en cuenta sus valores de pH y actividad acuosa. Asimismo, esta formulación mostró muy baja liberación de sacáridos en los ensayos de digestibilidad *in vitro* de almidón. Además, al comparar la digestibilidad *in vitro* de otra formulación con menor contenido de topinambur, fue posible concluir que este ingrediente tiene la capacidad de disminuir el grado de liberación de azúcares debido a su elevado contenido de fibra. Estos resultados respaldan la potencial adecuación de este tubérculo, así como de las galletas elaboradas, para personas con diabetes. Al estudiar el aporte de los ingredientes y aditivos sobre la calidad tecnológica y las propiedades fisicoquímicas de masas y galletas se encontró que, en forma general, el contenido de agua, goma xántica, aceite y bicarbonato de sodio presentaron la mayor influencia. La textura de las masas se vio mayormente influenciada por la goma xántica y el agua, que proporcionaron una masa

resiliente, de fácil manejo, de baja adhesividad y dureza. Además, el contenido de agua se asoció con masas más claras y de superficie lisa. Por otra parte, el agregado de goma xántica, aceite y agua fueron los ingredientes de mayor influencia sobre la textura de galletas. El contenido de goma xántica y agua se relacionaron con una mayor capacidad de deformación de las galletas, mientras que, una mayor cantidad de aceite se asoció con una textura más crocante. Por otra parte, la goma xántica y el agua contribuyeron en forma positiva sobre el color de las galletas al favorecer el desarrollo de reacciones de Maillard. Estas reacciones le confieren a los productos horneados su color tostado característico, en relación al índice de pardeamiento. Con respecto a las propiedades fisicoquímicas analizadas, el bicarbonato de sodio contribuyó a la obtención de mayor pH, aunque en todos los casos los resultados obtenidos se encontraron dentro del rango establecido para galletas. Por otra parte, el contenido de aceite contribuyó a una disminución en la actividad acuosa de las galletas, mientras que el agregado de goma xántica mostró un comportamiento opuesto. De todas formas, todas las formulaciones presentaron bajos valores de actividad acuosa, asegurando inhibición de desarrollo microbiano. Finalmente, al evaluar el aporte nutricional en forma teórica de las galletas con reducción en la cantidad de aceite y sal, se encontró que la formulación con menos aceite es la única a la que no corresponde el sellado de exceso de grasas totales. Para todas corresponde el rotulado de exceso de sodio y ninguna formulación debería llevar el etiquetado de exceso de azúcares. Es importante resaltar que el alimento está destinado a personas con diabetes y las formulaciones no deberían exhibir el rotulado de exceso de azúcares, siendo acordes al público al que se dirigen. Se puede concluir que se logró la elaboración de una galleta con propiedades funcionales, buena aceptabilidad sensorial y muy bajo grado de liberación de sacáridos, por lo que son aptas para el público al cual están dirigidas y tienen el potencial de brindar numerosos beneficios a la salud.

Finalmente, el estudio de almacenamiento permitió evaluar la evolución del producto en envases de PEBD y PP durante 14 semanas en ambiente con atmósfera controlada (temperatura de 29,0 ± 2,6 ºC y humedad relativa de 40,8 ± 6,5%). No se observaron variaciones significativas en pH ni color. Por otra parte, tanto la actividad acuosa como la humedad disminuyeron en forma neta a lo largo del almacenamiento y se mantuvieron dentro de rangos apropiados durante todo el período evaluado, lo que es indicio de una elevada estabilidad microbiana. Este comportamiento se observó de

manera similar para los dos envases probados. Los cambios texturales registrados, incremento de dureza y disminución de deformación, se relacionaron con la pérdida de humedad y pueden asociarse a aumento de la crocancia. Por lo tanto, el almacenamiento no causó deterioro sobre las propiedades texturales del alimento. Los resultados obtenidos indican que las galletas conservaron de manera adecuada las propiedades sensoriales (textura y color) y fisicoquímicas (pH, actividad acuosa y humedad) bajo estudio, para los dos envases probados. En cuanto a su composición y determinación de compuestos bioactivos, se observó una progresiva disminución del contenido de inulina, que ocurrió en forma similar para los dos envases. Sin embargo, los resultados obtenidos sugieren que el alimento aportó contenido de prebióticos durante todo el almacenamiento. Por otra parte, el contenido fenólico también disminuyó a lo largo del almacenamiento, aunque hubo registro de compuestos bioactivos durante todo el período en estudio. Esta disminución es atribuible a su reacción con especies oxidantes, originadas principalmente mediante la oxidación lipídica de ácidos grasos insaturados. Las galletas mostraron un comportamiento diferente en función del envase utilizado: PEBD presentó una mejor retención de compuestos fenólicos, mientras que PP mostró una degradación más acelerada, atribuible a su menor espesor y mayor transparencia, por lo que presentó una barrera más débil al paso de oxígeno y luz. Esta disminución de TPC se vio asociada a un incremento en el índice de peróxidos. Nuevamente, la tendencia observada fue diferente en los dos envases. Las muestras almacenadas en PP presentaron valores significativamente mayores de peróxidos en todos los períodos determinados. Esto indica una protección sensiblemente inferior frente al oxígeno y la luz para este envase, atribuibles al menor espesor y mayor transparencia del PP, que pueden haber favorecido la penetración de radiación visible y la difusión de gases, acelerando los procesos oxidativos que dan lugar a la formación de peróxidos. Por el contrario, PEBD contribuyó a una mejor preservación de la estabilidad oxidativa del producto. De todas formas, las galletas almacenadas en ambos envases mantuvieron un índice de peróxidos dentro de los valores aceptables durante todo el almacenamiento. Finalmente, los ensayos de digestibilidad *in vitro* de almidón mostraron que las galletas, independientemente del envase utilizado, presentaron muy bajos índices de liberación de sacáridos en relación a miga de pan blanco. Esta tendencia se mantuvo a lo largo de todo el almacenamiento, validando que el alimento posiblemente no genere picos de glucosa al ser consumido, por lo que es potencialmente apto para personas con diabetes o prediabetes. En conjunto, este análisis de conservación revela que el envase de PEBD

es el más adecuado para preservar la calidad del producto, especialmente en lo referente a su eficacia para mitigar la oxidación lipídica. También se demostró que es posible el consumo de las galletas durante 14 semanas luego de su elaboración manteniendo un aporte de compuestos bioactivos y prebióticos.

Este trabajo ha revisado exhaustivamente la calidad tecnológica, propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de galletas con contenido de harina de topinambur. De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible concluir que este tubérculo es potencialmente apto para personas con diabetes o público en general que desee incorporar una dieta rica en fibra y de baja digestibilidad de almidón. Luego de la aplicación de una metodología integral fue posible obtener una galleta de buena aceptabilidad sensorial y numerosos beneficios para la salud como lo son su contenido de fibras, prebióticos, proteínas, capacidad antioxidante y baja digestibilidad de almidón. De esta manera, este trabajo aporta de manera significativa al marco teórico y experimental del campo de elaboración de alimentos funcionales, particularmente con contenido de topinambur y destinados a personas con diabetes.

En el Anexo E se listan los trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales en donde se da cuenta del desarrollo experimental de las galletas y de otros alimentos elaborados a partir del tubérculo de topinambur.

En conjunto, a partir de los resultados obtenidos, las conclusiones de mayor relevancia a las que se arribó pueden enumerarse de la siguiente manera:

1. La harina de topinambur es un ingrediente funcional promisorio, capaz de enriquecer productos horneados con fibra, antioxidantes y propiedades beneficiosas para el control glucémico.

2. La formulación optimizada B logró integrar adecuadamente las propiedades tecnológicas, nutricionales y sensoriales buscadas, evidenciando que es posible desarrollar galletitas saludables con buenas propiedades texturales utilizando porcentajes elevados de harina de topinambur.

3. Las galletitas desarrolladas presentan características funcionales destacadas, como elevado contenido de fibra, buena capacidad antioxidante y baja liberación de sacáridos, lo que las posiciona como una alternativa potencialmente adecuada para personas con diabetes o para consumidores que buscan alimentos con bajo impacto glucémico.

4. Las condiciones de almacenamiento evaluadas demostraron la estabilidad físico-química y funcional del producto, y el envase de polietileno de baja densidad (PEBD) mostró un desempeño superior en términos de protección frente a la oxidación que el envase de polipropileno (PP).

En síntesis, se logró desarrollar un alimento innovador, nutricionalmente valioso, funcional y tecnológicamente estable, empleando al topinambur como ingrediente funcional innovador. Este trabajo contribuye al conocimiento científico sobre el uso de harina de este tubérculo en matrices alimentarias y sienta bases para futuras aplicaciones en el desarrollo de alimentos saludables, con potencial de impacto tanto académico como industrial.

ANEXOS

ANEXO A

Determinaciones de inulina (fibra soluble) en Harina de Topinambur de Piel Blanca (HTPB) durante el período de estudio.

Tabla A.1. Contenido de inulina medio (%) en harina de acuerdo al año de cosecha del tubérculo (n=2).

Año	Base Húmeda	Base Seca
2017	24,64 ± 0,64	27,84 ± 0,61
2018	28,04 ± 0,91	30,28 ± 0,93
2019	24,14 ± 0,82	26,40 ± 0,94
2021	12,80 ± 0,40	13,82 ± 0,40
2022	8,59 ± 0,70	9,28 ± 0,80
2023	6,69 ± 0,18	7,22 ± 0,19
2024	2,16 ± 0,50	2,31 ± 0,53

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=2).

ANEXO B

B.1 DATOS DE SUPERFICIES DE RESPUESTA Y CONTORNO

Tabla B.1. Parámetros de textura de masas. Se presentan los promedios ± desviación estándar para cada formulación (n=2).

Formulación	Firmeza (N)	Resiliencia	Cohesividad	Adhesividad (N/s)	Elasticidad
1	34,58 ± 2,80	0,17 ± 0,02	0,63 ± 0,02	0,18 ± 0,01	1,27 ± 0,14
2	28,53 ± 5,50	0,13 ± 0,01	0,63 ± 0,04	0,20 ± 0,01	1,44 ± 0,08
3	16,38 ± 8,33	0,18 ± 0,01	0,67 ± 0,04	0,10 ± 0,03	1,93 ± 0,18
4	37,92 ± 3,69	0,14 ± 0,01	0,53 ± 0,02	0,30 ± 0,06	1,02 ± 0,05
5	31,14 ± 17,89	0,11 ± 0,01	0,51 ± 0,04	0,26 ± 0,24	0,97 ± 0,06
6	26,78 ± 5,43	0,20 ± 0,01	0,68 ± 0,01	0,11 ± 0,02	1,74 ± 0,04
7	26,03 ± 7,45	0,19 ± 0,03	0,68 ± 0,08	0,13 ± 0,03	1,74 ± 0,07
8	27,26 ± 7,75	0,19 ± 0,02	0,68 ± 0,03	0,14 ± 0,03	1,79 ± 0,05
9	46,42 ± 7,29	0,16 ± 0,06	0,63 ± 0,07	0,30 ± 0,01	1,28 ± 0,06
10	33,34 ± 16,78	0,18 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,27 ± 0,13	1,48 ± 0,09
11	27,53 ± 5,04	0,19 ± 0,02	0,73 ± 0,03	0,16 ± 0,10	1,66 ± 0,05
12	35,05 ± 14,33	0,16 ± 0,02	0,67 ± 0,03	0,21 ± 0,05	1,64 ± 0,05
13	13,88 ± 9,61	0,17 ± 0,01	0,66 ± 0,07	0,10 ± 0,01	1,80 ± 0,14
14	26,82 ± 21,24	0,16 ± 0,03	0,50 ± 0,14	0,30 ± 0,21	0,89 ± 0,03
15	7,09	0,13	0,44	0,10	1,06
16	21,45 ± 20,32	0,16 ± 0,04	0,54 ± 0,15	0,14 ± 0,06	1,20 ± 0,20
17	28,67 ± 10,83	0,19 ± 0,04	0,65 ± 0,03	0,09 ± 0,04	1,27 ± 0,13
18	23,08 ± 4,21	0,16 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,16 ± 0,05	1,64 ± 0,05

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=2).

Tabla B.2. Parámetros de textura de galletas. Se presentan los promedios ± desviación estándar para cada formulación (n=5).

Formulación	Módulo de Young (MPa)	Estrés de Fractura (MPa)	Tensión de fractura (%)
1	85,12 ± 17,93	1,93 ± 0,42	1,24 ± 0,23
2	23,82 ± 0,33	0,84 ± 0,18	1,40 ± 0,39
3	5,12 ± 1,95	0,26 ± 0,13	1,30 ± 0,42
4	15,82 ± 6,07	0,87 ± 0,28	1,86 ± 0,38
5	91,02 ± 14,53	2,61 ± 0,72	2,18 ± 0,95
6	27,37 ± 7,09	1,15 ± 0,53	2,15 ± 0,29
7	5,72 ± 1,69	0,25 ± 0,09	2,88 ± 1,44
8	36,69 ± 7,19	0,72 ± 0,09	1,12 ± 0,23
9	21,18 ± 6,80	0,92 ± 0,08	1,99 ± 0,41
10	18,47 ± 1,85	0,95 ± 0,28	1,90 ± 0,46
11	8,08 ± 4,63	0,34 ± 0,19	2,00 ± 1,27
12	6,82 ± 2,35	0,38 ± 0,13	1,72 ± 0,35
13	14,67 ± 1,46	0,26 ± 0,08	1,25 ± 0,23
14	63,81 ± 4,97	1,33 ± 0,12	1,50 ± 0,16
15	48,82 ± 25,09	1,16 ± 0,17	1,40 ± 0,32
16	43,61 ± 15,38	0,51 ± 0,11	0,86 ± 0,03
17	25,17 ± 17,74	0,98 ± 0,20	1,81 ± 0,80
18	31,53 ± 16,81	0,51 ± 0,02	1,29 ± 0,09

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=5).

Tabla B.3. Otras determinaciones en galletitas. Se presentan los promedios ± desviación estándar para cada formulación (n=3).

Formulación	pH	L^*	a^*	b^*	a_w
1	6,30 ± 0,12	34,34 ± 0,08	5,05 ± 0,12	27,24 ± 0,04	0,42 ± 0,01
2	6,35 ± 0,15	43,55 ± 0,02	3,45 ± 0,03	22,64 ± 0,02	0,37 ± 0,01
3	6,35 ± 0,08	49,03 ± 0,23	4,99 ± 0,46	25,36 ± 0,02	0,42 ± 0,01
4	6,48 ± 0,21	41,91 ± 0,13	6,62 ± 0,35	21,36 ± 0,08	0,49 ± 0,01
5	6,33 ± 0,17	34,45 ± 0,02	4,00 ± 0,01	14,87 ± 0,08	0,43 ± 0,01
6	6,34 ± 0,05	38,23 ± 0,02	4,66 ± 0,04	17,93 ± 0,03	0,37 ± 0,01
7	6,44 ± 0,17	43,12 ± 0,01	2,68 ± 0,04	24,24 ± 0,01	0,43 ± 0,01
8	6,31 ± 0,23	43,56 ± 0,01	4,77 ± 0,01	24,16 ± 0,02	0,37 ± 0,01
9	6,40 ± 0,09	34,36 ± 0,02	2,96 ± 0,04	20,96 ± 0,01	0,40 ± 0,01
10	6,40 ± 0,11	32,82 ± 0,02	3,61 ± 0,07	19,85 ± 0,07	0,39 ± 0,01
11	6,43 ± 0,15	34,99 ± 0,01	2,41 ± 0,05	22,65 ± 0,02	0,42 ± 0,01
12	6,49 ± 0,10	35,32 ± 0,08	2,53 ± 0,03	23,50 ± 0,03	0,43 ± 0,01
13	6,23 ± 0,16	48,65 ± 0,11	2,58 ± 0,49	25,84 ± 0,27	0,36 ± 0,01
14	6,29 ± 0,11	39,71 ± 0,52	4,26 ± 0,27	22,70 ± 0,72	0,33 ± 0,01
15	6,24 ± 0,17	35,25 ± 0,49	4,74 ± 0,17	19,49 ± 0,76	0,32 ± 0,01
16	6,19 ± 0,21	38,74 ± 0,53	5,08 ± 0,31	22,28 ± 0,80	0,27 ± 0,01
17	6,41 ± 0,10	39,16 ± 0,04	2,34 ± 0,03	19,57 ± 0,02	0,44 ± 0,01
18	6,16 ± 0,41	46,33 ± 1,74	4,18 ± 0,80	26,37 ± 1,14	0,29 ± 0,01

Los valores corresponden a los promedios ± desviación estándar (n=3).

B.2 DIAGRAMAS DE TEST DE RUPTURA DE TRES PUNTOS EN GALLETAS COMERCIALES Y FORMULACIONES OPTIMIZADAS. 8 Y 10 MINUTOS DE COCCIÓN.

Para las muestras comerciales (Fig. B.1) se observa una ruptura definida de las galletas, lo que se traduce como una menor capacidad de almacenamiento de energía de deformación por parte de la muestra, una característica habitual en este tipo de alimentos. Al visualizar las mismas curvas para muestras con 8 (Fig. B.2-B.4) y 10 minutos de cocción (Fig. B.5-B.7) se detectan rupturas menos marcadas para el tiempo de cocción de 8 minutos con respecto al de 10 minutos y, en ambos casos, la formulación B muestra un perfil textural más similar al comercial, con una ruptura bien definida. Esto podría estar indicando que esta formulación posee una textura adecuada. Para la muestra A en sus dos tiempos de cocción es difícil detectar el momento de la ruptura visualmente ya que no presenta un pico de fuerza definido, a diferencia de B y C, en cuyas gráficas el momento de ruptura puede detectarse en un menor rango de valores de distancia recorrida por la sonda (y, mm).

B.2.1 MARCA COMERCIAL

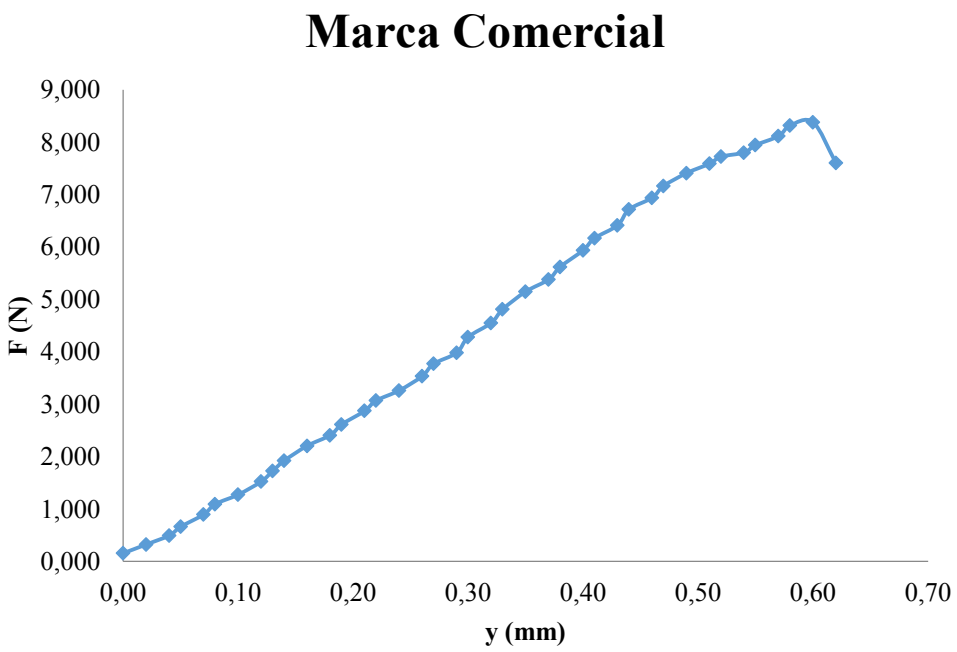


Fig. B.1. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita de marca comercial (Mini Crackers Carrefour, Carrefour, Argentina).

B.2.2 MUESTRAS DE 8 MINUTOS DE HORNEADO A 150°C

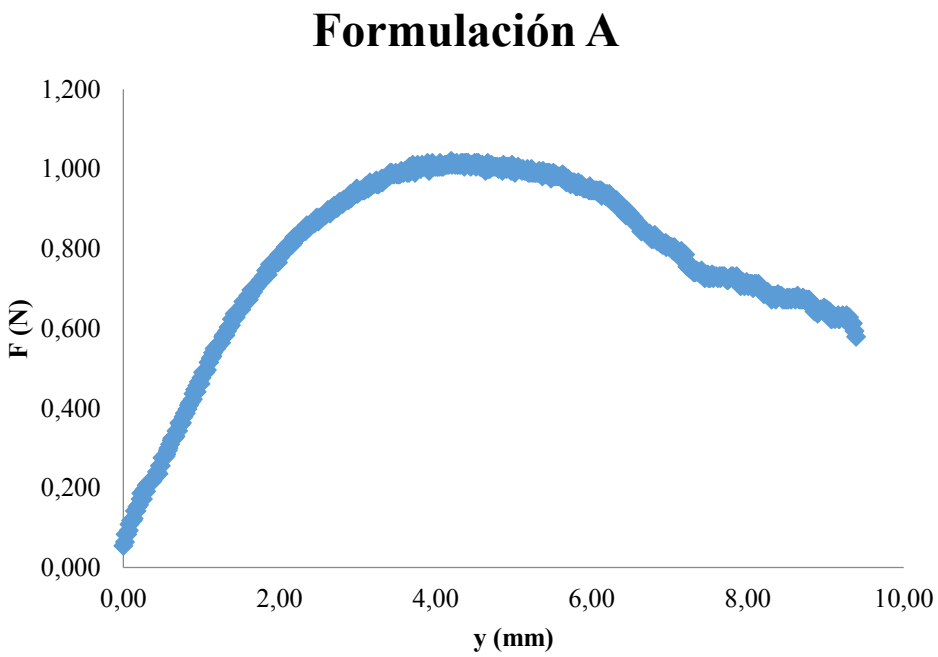


Fig. B.2. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación A (75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA). Condiciones de cocción: 8 minutos a 150°C.

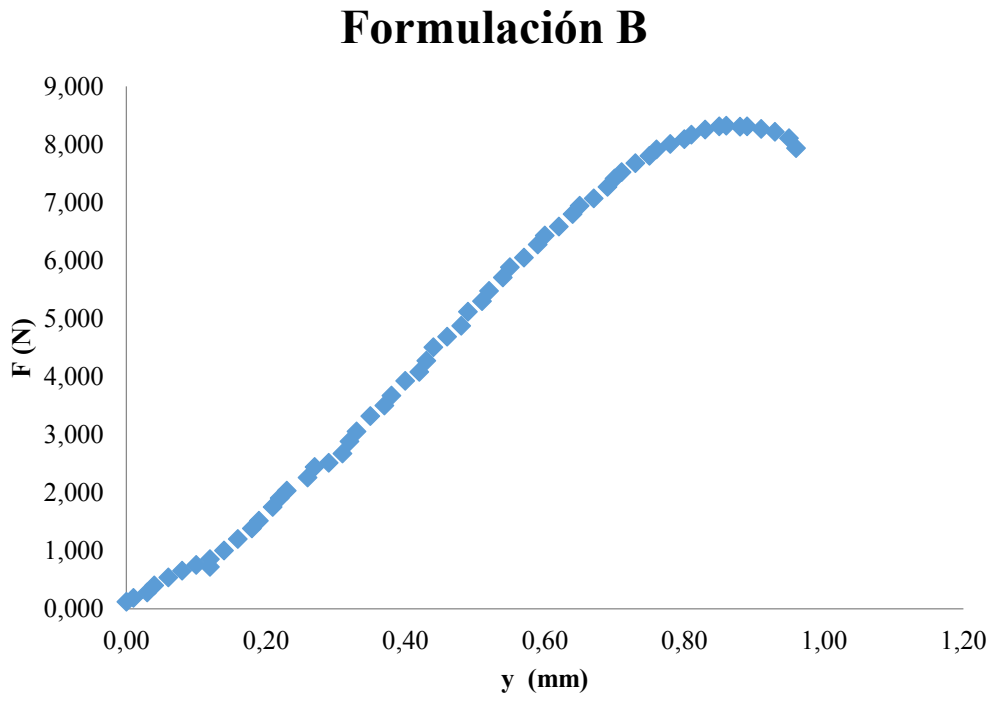


Fig. B.3. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación B (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA). Condiciones de cocción: 8 minutos a 150°C.

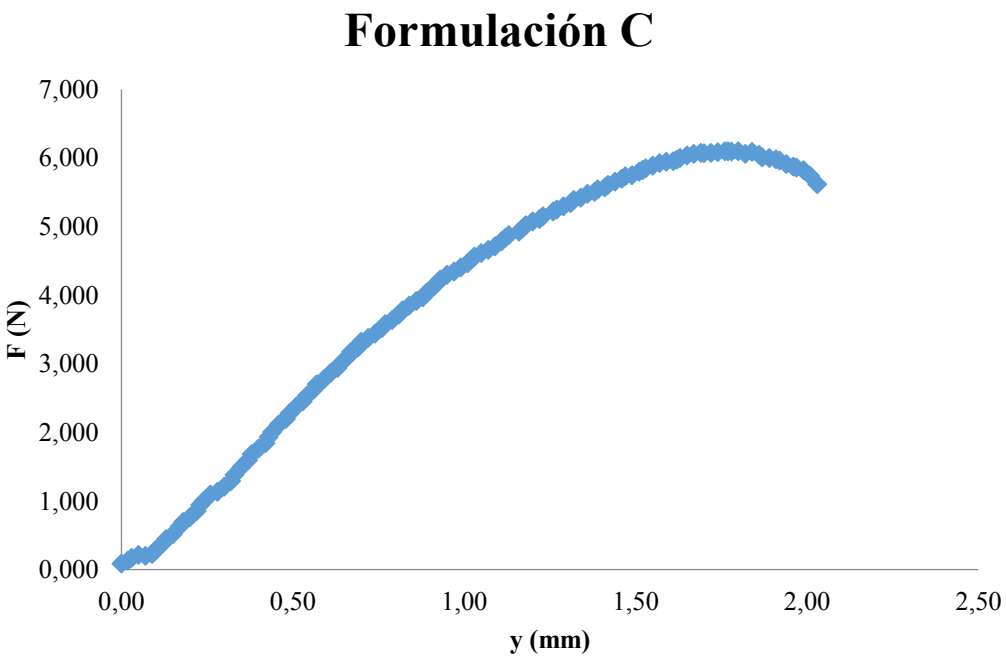


Fig. B.4. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación C (59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA). Condiciones de cocción: 8 minutos a 150°C.

B.2.3 MUESTRAS DE 10 MINUTOS DE HORNEADO A 150°C

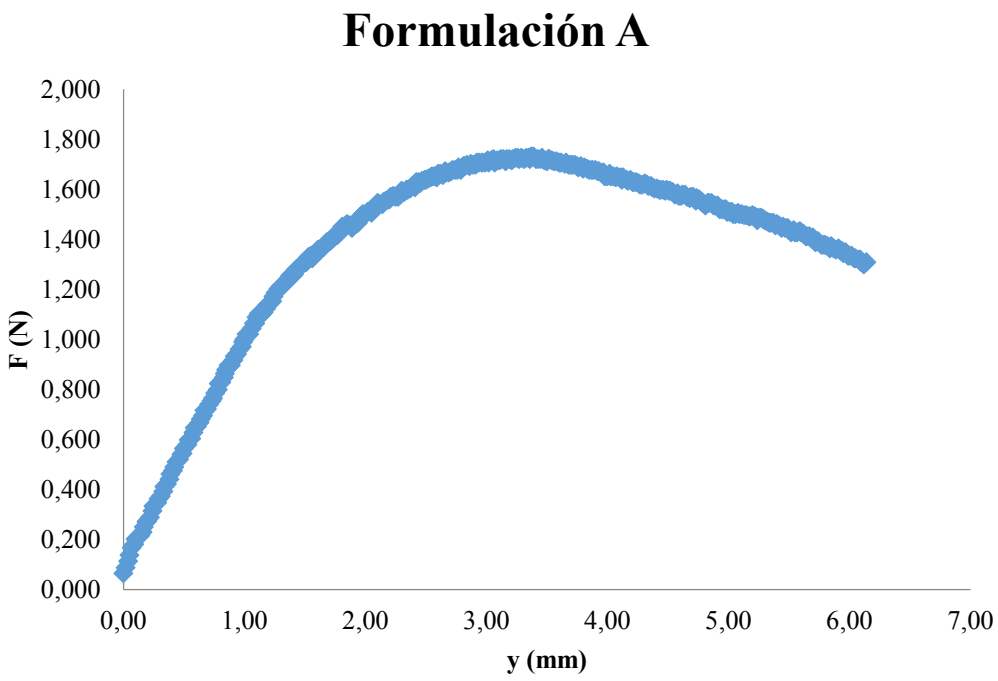


Fig. B.5. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación A (75% HTPB + 17,6% HTI + 7,4% HA). Condiciones de cocción: 10 minutos a 150°C.

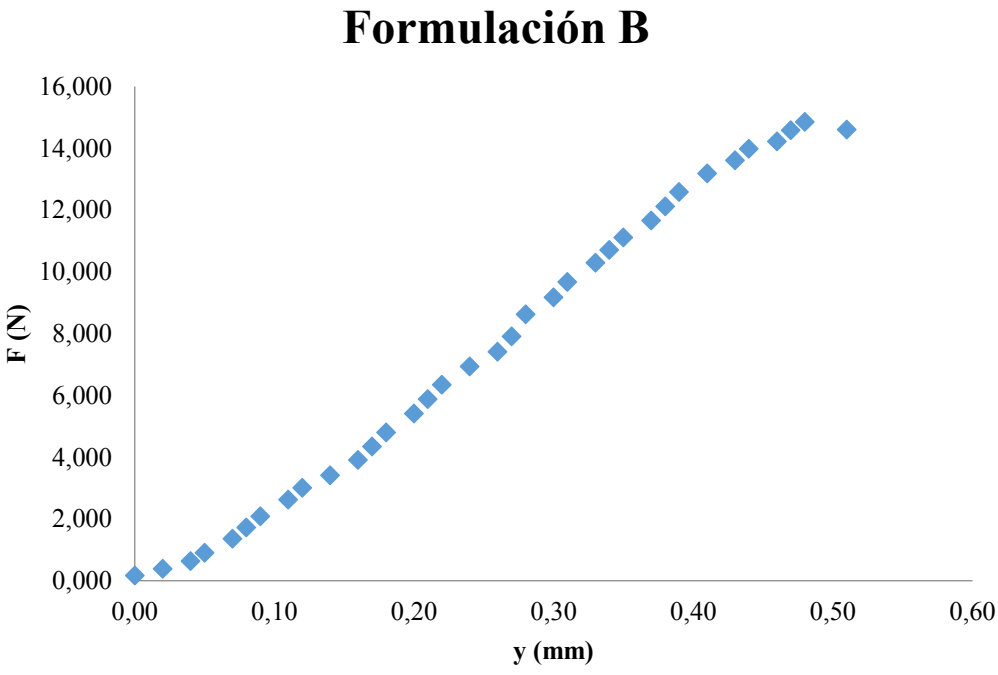


Fig. B.6. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación B (45% HTPB + 50% HTI + 5% HA). Condiciones de cocción: 10 minutos a 150°C.

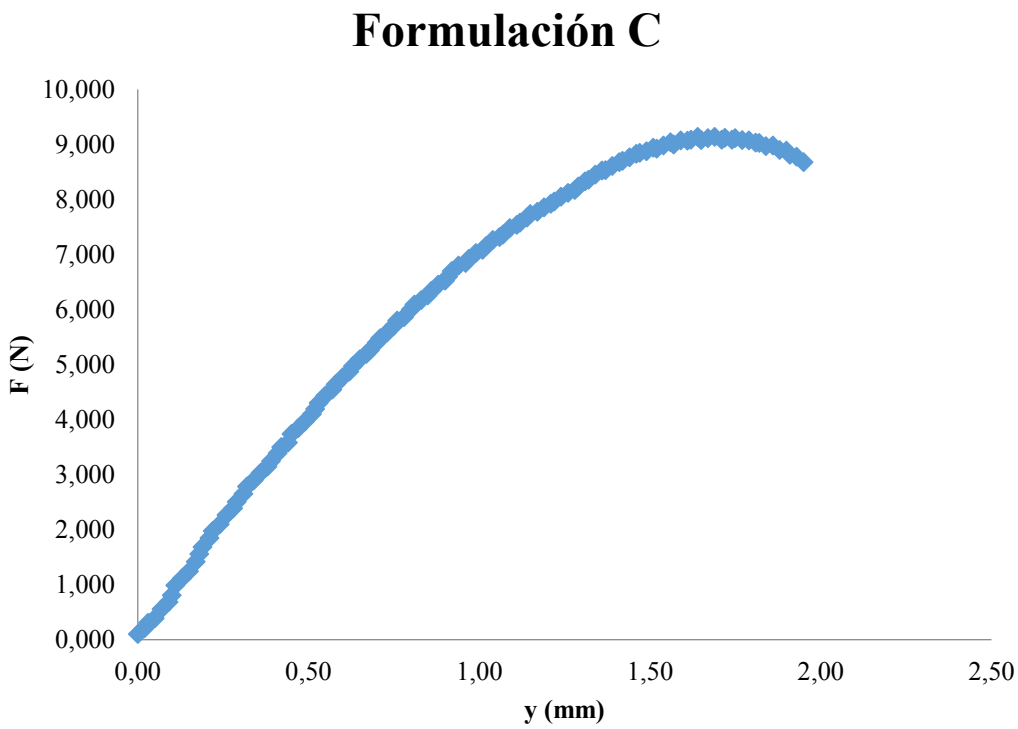
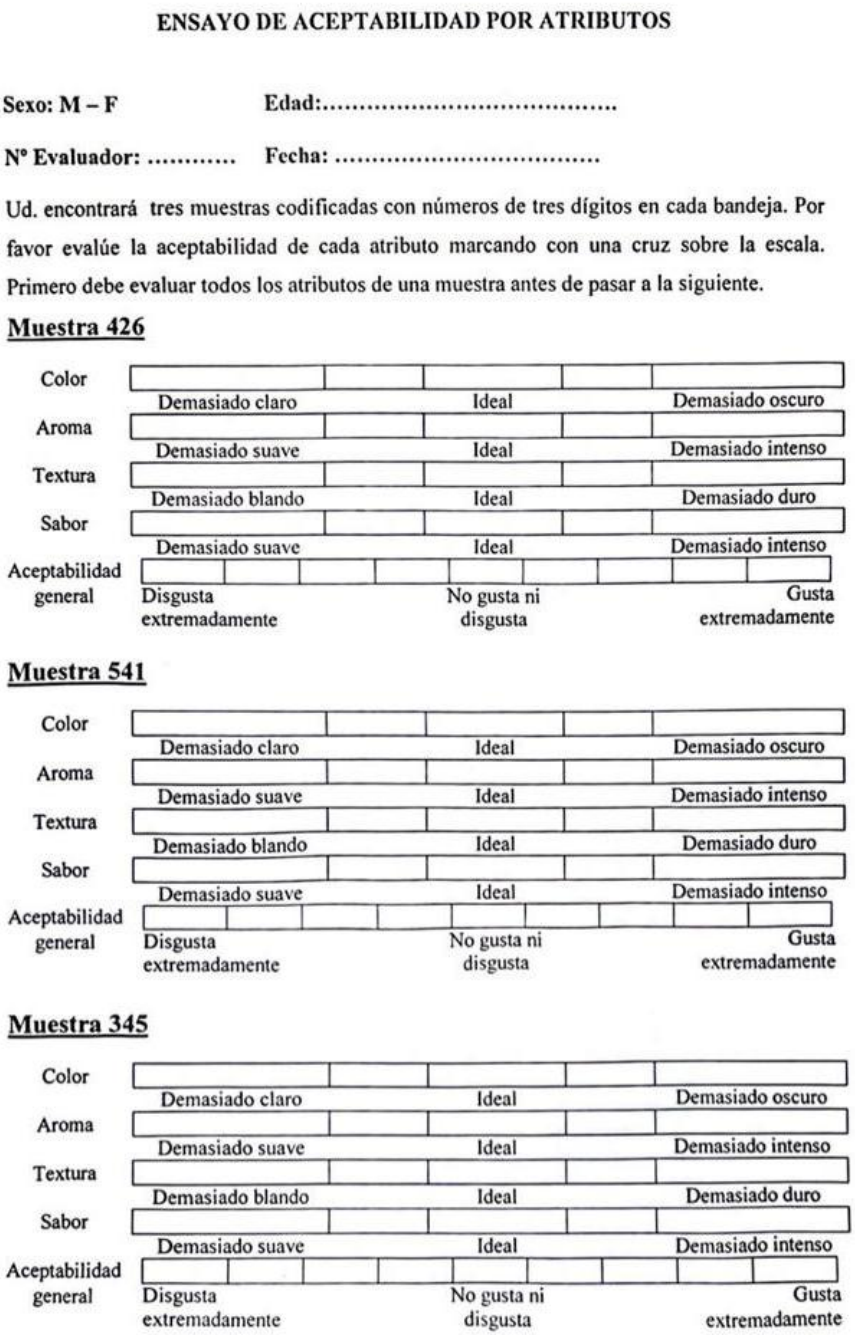


Fig. B.7. Gráfico de Fuerza (N) vs distancia recorrida por la sonda (y) para galletita formulación C (59,4% HTPB + 37,8% HTI + 2,8% HA). Condiciones de cocción: 10 minutos a 150°C.

ANEXO C

C.1 PLANILLA DE EVALUACIÓN SENSORIAL



ENSAYO DE ACEPTABILIDAD POR ATRIBUTOS

Sexo: M – F **Edad:**.....

Nº Evaluador: ..... **Fecha:** .....

Ud. encontrará tres muestras codificadas con números de tres dígitos en cada bandeja. Por favor evalúe la aceptabilidad de cada atributo marcando con una cruz sobre la escala. Primero debe evaluar todos los atributos de una muestra antes de pasar a la siguiente.

Muestra 426

Color	Demasiado claro	Ideal	Demasiado oscuro
Aroma	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Textura	Demasiado blando	Ideal	Demasiado duro
Sabor	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Aceptabilidad general	Disgusta extremadamente	No gusta ni disgusta	Gusta extremadamente

Muestra 541

Color	Demasiado claro	Ideal	Demasiado oscuro
Aroma	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Textura	Demasiado blando	Ideal	Demasiado duro
Sabor	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Aceptabilidad general	Disgusta extremadamente	No gusta ni disgusta	Gusta extremadamente

Muestra 345

Color	Demasiado claro	Ideal	Demasiado oscuro
Aroma	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Textura	Demasiado blando	Ideal	Demasiado duro
Sabor	Demasiado suave	Ideal	Demasiado intenso
Aceptabilidad general	Disgusta extremadamente	No gusta ni disgusta	Gusta extremadamente

Fig. C.1. Planilla de evaluación sensorial.

C.2 PUNTUACIONES DE ANÁLISIS SENSORIAL

Resultados de análisis estadísticos de las puntuaciones obtenidas en el panel sensorial para cada atributo. Los resultados se presentan por formulación y entre paréntesis la media.

COLOR

A: 1,5,3,5,5,3,4,5,4,2,5,3,5,5,3,3,1,2,3,3,5,3,5,4,3,3,3,5,5,4,3,5,1,3,1,5,5,4,3,5,3 **(3,61)**

B: 3,4,3,5,3,3,4,3,3,3,3,2,5,3,3,3,3,2,3,3,4,5,2,3,3,3,3,5,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,4,5 **(3,27)**

C: 2,4,5,5,3,5,3,5,4,2,5,4,5,5,5,5,3,2,4,3,3,5,4,3,3,3,3,5,3,3,3,5,5,5,3,5,5,3,4,3,3 **(3,85)**

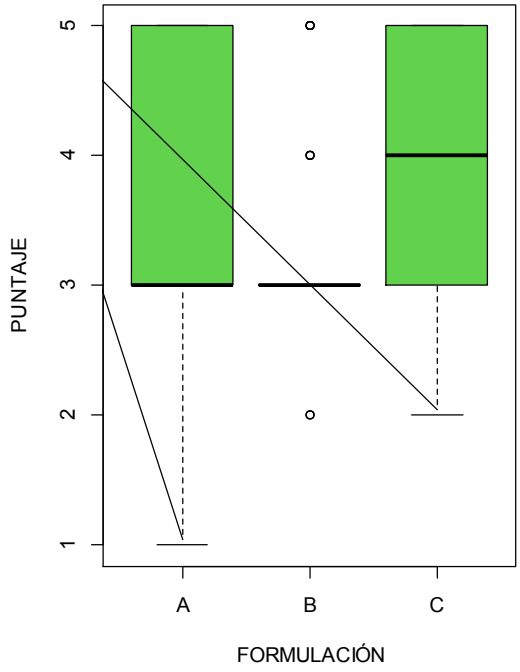


Fig. C.2. Diagrama de cajas para puntuaciones de color.

P valor paramétrico: 0,0463. Existen diferencias significativas de color entre las muestras B y C (p = 0,03648).

El test de normalidad de los residuos arroja un p valor de $8{,}898 \times 10^{-6}$, por lo que los datos no tienen distribución normal. Se realiza el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, que da un p valor de 0,03057, por lo que se encuentran diferencias significativas entre las muestras B y C (p = 0,046). Por lo tanto, en forma significativa, las formulaciones A y B presentan el color más aceptable.

AROMA

A: 2,2,3,3,3,1,2,1,1,2,5,2,1,3,3,5,1,3,2,2,4,4,1,1,1,3,3,3,1,3,1,1,3,1,1,3,1,2,3,3,5 **(2,32)**

B: 3,3,1,3,3,1,2,5,2,1,3,3,1,3,3,3,1,3,2,2,3,4,5,1,5,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,1,1,3,1,2,3 **(2,61)**

C: 2,2,5,3,5,3,2,1,2,2,3,3,1,3,3,1,3,3,2,3,3,5,4,3,3,1,5,3,3,1,1,3,3,3,3,3,3,5,2,1,3 **(2,76)**

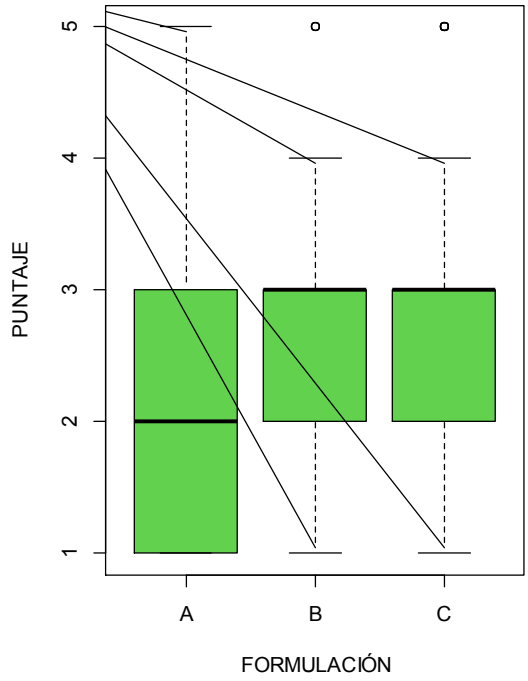


Fig. C.3. Diagrama de cajas para puntuaciones de aroma.

P valor paramétrico: 0,22. No existen diferencias significativas de aroma entre las muestras.

El test de normalidad de los residuos arroja un p valor de $2{,}202 \times 10^{-6}$, por lo que los datos no tienen distribución normal. Se realiza el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, que da un p valor de 0,1829; por lo que no se encuentran diferencias significativas entre las muestras.

TEXTURA

A: 1,1,3,1,1,3,1,1,2,1,3,1,1,1,1,1,5,1,3,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 **(1,32)**

B: 3,3,3,3,5,3,3,3,3,3,3,4,4,3,5,3,3,3,4,3,5,3,5,4,5,3,3,5,5,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,4,3 **(3,46)**

C: 1,2,1,1,3,3,2,3,3,3,3,4,1,3,3,5,3,1,4,1,5,3,1,1,3,5,1,3,1,5,1,1,3,3,3,3,3,1,4,1,1 **(2,49)**

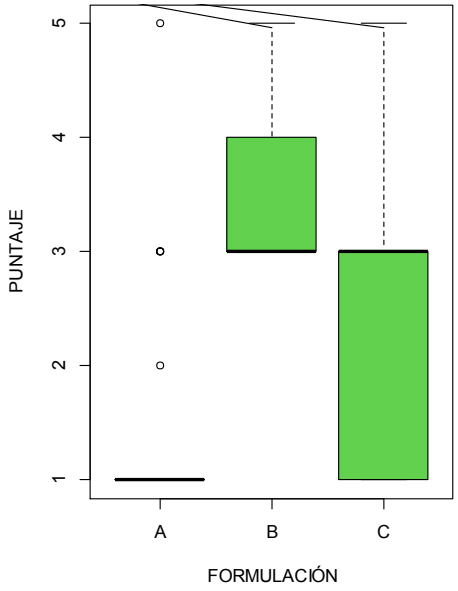


Fig. C.4. Diagrama de cajas para puntuaciones de textura.

P valor paramétrico: $1{,}42 \times 10^{-15}$. Existen diferencias significativas de textura entre todas las muestras: entre A y B ($p = 0$), entre A y C ($p = 2{,}2 \times 10^{-6}$) y entre B y C ($p = 8{,}2 \times 10^{-5}$).

El test de normalidad de los residuos arroja un p valor de $3{,}902 \times 10^{-9}$, por lo que los datos no tienen distribución normal. Se realiza el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, que da un p valor de $4{,}44 \times 10^{-13}$, por lo que se encuentran diferencias significativas entre todas las muestras: entre A y B ($p = 7{,}6 \times 10^{-12}$), entre A y C ($p = 0{,}00037$) y entre B y C ($p = 0{,}00437$).

Por lo tanto, en forma significativa, la formulación B presenta la mejor textura.

SABOR

A: 4,4,1,5,1,3,5,5,2,3,1,2,1,5,3,5,3,1,2,3,1,2,2,2,1,1,1,5,3,1,5,1,3,3,3,5,5,2,4,3,5 **(2,85)**

B: 3,3,3,3,5,3,4,3,3,4,3,3,1,3,3,3,3,3,3,4,3,5,4,3,4,1,3,3,5,5,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,5 **(3,27)**

C: 4,3,4,5,3,5,5,5,4,4,3,3,1,5,5,3,5,1,2,3,3,4,5,3,3,1,2,1,1,1,1,5,4,5,5,5,3,4,5,5,3 **(3,46)**

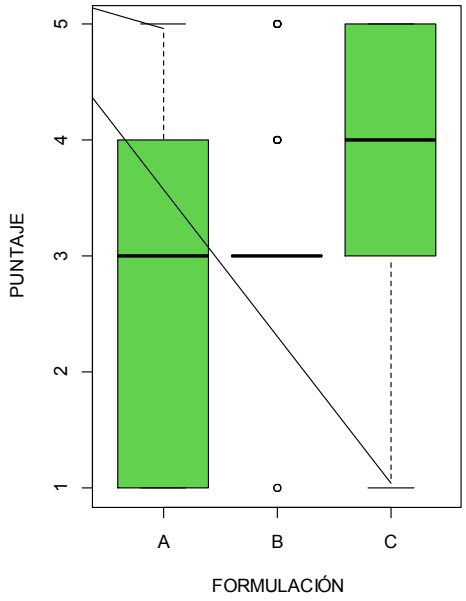


Fig. C.5. Diagrama de cajas para puntuaciones de sabor.

P valor paramétrico: 0,105. No existen diferencias significativas de sabor entre las muestras.

El test de normalidad de los residuos arroja un p valor de $3{,}596 \times 10^{-5}$, por lo que los datos no tienen distribución normal. Se realiza el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, que da un p valor de 0,09133, por lo que no se encuentran diferencias significativas entre las muestras.

ACEPTABILIDAD GENERAL

A: 4,6,8,3,5,6,4,2,6,4,3,3,3,1,5,1,4,5,5,6,5,5,3,4,5,4,7,1,3,5,3,5,5,5,3,2,5,3,1,3,2 **(3,98)**

B: 6,9,5,8,5,7,7,8,7,8,7,8,2,8,8,9,7,7,7,8,3,4,7,7,3,7,7,1,8,9,7,8,8,8,7,7,7,8,7,6,3 **(6,66)**

C: 5,7,5,6,8,4,3,5,5,6,5,7,2,1,8,5,5,5,4,7,4,6,3,6,4,1,3,5,5,5,4,5,7,2,7,5,1,4,3,5,3 **(4,66)**

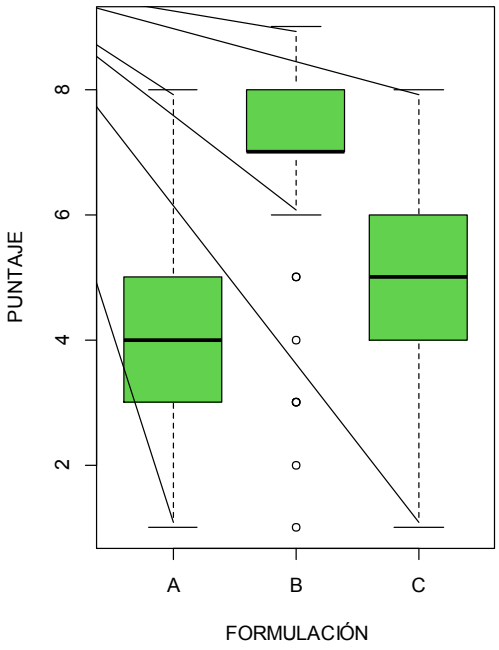


Fig. C.6. Diagrama de cajas para puntuaciones de aceptabilidad general.

P valor paramétrico: $1{,}05 \times 10^{-9}$. Existen diferencias significativas de textura entre las muestras A y B ($p = 0$) y entre B y C ($p = 5 \times 10^{-6}$).

El test de normalidad de los residuos arroja un p valor de 0,000288, por lo que los datos no tienen distribución normal. Se realiza el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, que da un p valor de $7{,}13 \times 10^{-9}$, por lo que se encuentran diferencias significativas entre las muestras A y B ($p = 1{,}8 \times 10^{-8}$) y entre B y C ($p = 4{,}2 \times 10^{-5}$).

Por lo tanto, en forma significativa, la formulación B presenta la aceptabilidad general más elevada.

ANEXO D



Fig. D.1. Materiales utilizados para la conservación de galletas. Izq.: polietileno de baja densidad (PEBD). Der.: polipropileno (PP).

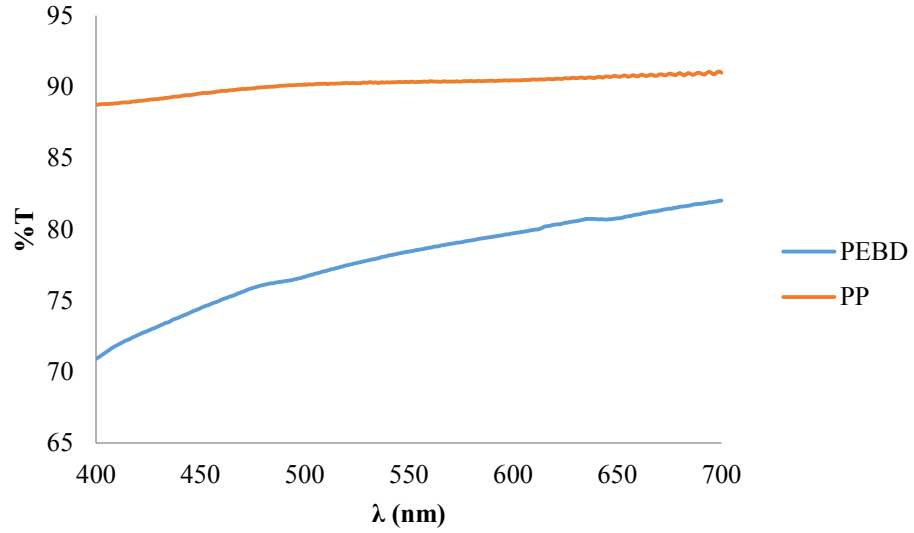


Fig. D.2. Espectro de transmitancia para PEBD (azul) y PP (naranja).

ANEXO E

E.1 PRESENTACIONES EN CONGRESOS

- Determinaciones Físicoquimicas de harinas obtenidas a partir de dos variedades de tubérculos de topinambur. Micaela Monasterio, **Magdalena Costanzo**, Juan Manuel Quiroga, Nora Comelli. XXIII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química, II Congreso Tri Nacional de Estudiantes deIngeniería Química. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. U.N.C. 2018.

- Elaboración de galletitas saludables usando harinas de Topinambur y Amaranto. **Costanzo, M**. **M.**; Comelli, N. A.; Quiroga, J. M.; Conforti, P.; Ponzi, M. I. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. CyTAL – ALACCTA 2019. UCA. Buenos Aires, Argentina. 2019.

- Elaboración de barras de cereal saludables usando chips de Topinambur. **Costanzo, M. M.**; Comelli, N. A.; Ponzi, M. I. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. CyTAL – ALACCTA 2019. UCA. Buenos Aires, Argentina. 2019.

- Aprovechamiento del tubérculo de *Helianthus tuberosus L.*, topinambur, para la obtención de alimentos funcionales, con el agregado de otras harinas. **Costanzo, M. M.**; Comelli, N. A.; Ponzi, M. I. Primer Congreso Nacional de Alimentos ANMAT. 2 – 3 diciembre 2019. Buenos Aires, Argentina.

- Elaboración de barras de cereal saludables utilizando chips de topinambur. **Costanzo, M. M.**; Comelli, N. A.; Ponzi, M. I. Primer Congreso Nacional de Alimentos ANMAT. 2 – 3 diciembre 2019. Buenos Aires, Argentina.

- Use of Sourdough for the elaboration of healthy cookies. **Costanzo M.**, Comelli N. A., Conforti P., Quiroga J., Ponzi M. XXXVII Reunión Científica Anual de la Sociedad de Biología de Cuyo. 5 y 6 de diciembre 2019. Ciudad de San Luis, Argentina.

- Yield and inuline content in tubers of two *Helianthus tuberosus L.* Cultivars. Rossi R, Chicahuala M, Comelli NA, Mora D, Monasterio M, **Costanzo MM**, Quiroga JM.

XXXVII Reunión Científica Anual de la Sociedad de Biología de Cuyo. 5 y 6 de diciembre de 2019, Ciudad de San Luis, Argentina.

- Bocaditos saludables aptos para diabéticos. Comelli, Nora Alejandra, **Costanzo M. Magdalena**, Quiroga Juan Manuel, Mora Dario, Ponzi Marta I. X Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos. 27 de septiembre al 1 de octubre de 2021. Montevideo, Uruguay.

- Formulación de galletitas saludables a partir del tubérculo *Helianthus tuberosus L.*. **Costanzo, Maria Magdalena**; Comelli, Nora Alejandra; Quiroga, Juan Manuel. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTAC 2022). Córdoba, 4-6 de octubre 2022.

- Bocadito saludable con bajo contenido en azúcar. Mora, Darío M. A.; **Costanzo, Maria Magdalena**; Comelli, Nora Alejandra; Quiroga, Juan Manuel. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTAC 2022). Córdoba, 4-6 de octubre 2022.

- Ensayo de digestibilidad de almidón *in vitro* para galletas elaboradas con *Helianthus tuberosus L.*. **Costanzo, Maria Magdalena**; Comelli, Nora Alejandra; Conforti, Paula Andrea. XVIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Cytal 2023). Buenos Aires, 4-6 de octubre de 2023.

- Estudio de vida útil en galletas elaboradas a partir de *Helianthus tuberosus L.*. **Costanzo, Maria Magdalena**; Quiroga, Juan Manuel; Del Negro, Natalia; Conforti, Paula Andrea; Comelli, Nora Alejandra. XVIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Cytal 2023). Buenos Aires, 4-6 de octubre de 2023.

- Formulación, ensayo de aceptabilidad y análisis de panes con contenido de *Helianthus tuberosus L.*. Baroja M.A., **Costanzo M.M**., Comelli N.A. CIAL 4.0 I Congreso Iberoamericano de Alimentos 4.0. Entre Ríos, 21-22 de agosto, 2024.

- Preparación y caracterización de carbón activado a partir de desechos aéreos de Topinambur, su aplicación como descontaminante en aguas residuales. Comelli N.A., Del Negro N., Mora D., **Costanzo M.M.**, Ávila M.C, Ruiz M.L. IX Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTAC 2024). Córdoba, 16-18 octubre 2024.

- Influence of additives on biscuits made with a high proportion of *Helianthus tuberosus L.*. **Costanzo, M. M.**, Comelli N. A., Conforti, P. A. 4th International Workshop on STEM, XII Jornadas de I+D+i y IX Jornadas del Programa de Doctorado en ISI. Escuela Politécnica Superior. Sevilla, España, 29-31 octubre 2025.

E.2 PUBLICACIONES EN REVISTAS

- Elaboración de galletitas saludables usando harinas de Topinambur y Amaranto. 2020. **Costanzo, M. M.**; Comelli, N. A.; Quiroga, J. M.; Conforti, P.; Ponzi, M. I. Heladería Panadería Latinoamericana. Año XLVII 271. Pp. 40-46.

- Comelli, N. A., **Costazo, M. M.**, Quiroga, J. M., & Mora, D. (2022). Bocaditos saludables con bajo contenido de azúcar. *Innotec*, (23 ene-jun), e597-e597. DOI: 10.26261/23.05