



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

REVALORIZACIÓN DE OKARA, SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA SOJERA, A TRAVÉS DEL DESARROLLO DE ALIMENTOS FUNCIONALES

MAXIMILIANO KNIAZEV D'ANGELO
INGENIERO ALIMENTARIO

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Programa de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y Facultad de
Química, Universidad de la República (UdelaR)

Julio 2024

REVALORIZACIÓN DE OKARA, SUBPRODUCTO DE LA
INDUSTRIA SOJERA, A TRAVÉS DEL DESARROLLO DE
ALIMENTOS FUNCIONALES

MAXIMILIANO KNIAZEV D'ANGELO

Nombre del Director Académico: Dr. Ing. Alim. Ignacio Vieitez¹

Nombre de los Directores de tesis: Dra. QF. Adriana Gámbaro²
Dr. Ing. Alim. Ignacio Vieitez

Tribunal: Dr. Ing. Quim. Eduardo Boido³
Dra. Ing. Quim. María Cecilia Penci⁴
Dra. Ing. Alim. María Eugenia Vila⁵

¹Área Tecnología de los Alimentos, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química, UdelaR.

²Área Evaluación Sensorial, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química, UdelaR.

³Área Enología y Biotecnología de las Fermentaciones, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química; UdelaR.

⁴Área Ingeniería y Tecnología de los Alimentos, Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; UNC.

⁵Departamento de Bioingeniería, Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería; UdelaR.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis tutores, Adriana e Ignacio, por su invaluable contribución a mi formación. Su disposición para atender todas mis dudas y discutir los problemas que surgieron en el camino fue fundamental. A mi compañera Florencia, y a mis amigos y amigas, cuyo interés constante me permitió mantenerme en el rumbo correcto. Un agradecimiento especial a mi familia, Angelina, Sergio, Agustín e Irene, por su apoyo incondicional durante estos años de cambio y crecimiento.

También quiero agradecer a Pablo Ribotta y su equipo del ICYTAC de Córdoba, Argentina, por su especial disposición y calidez durante mi estadía en dicha ciudad y mi paso por la Universidad Nacional de Córdoba.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer a mis compañeros de trabajo del Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, quienes me acompañaron durante todo el proceso. No solo brindaron su ayuda durante el desarrollo del trabajo experimental, sino que varios de ellos formaron parte del panel de jueces sensoriales: Miguel A., Cecilia A., Valeria B., Jessica B., Carla B., Andrea C., Cecilia D., Gonzalo D., Ana E., Adriana F., Natalia H., Alejandra M., Marcelo M., Melissa R., Matías R., Florencia T., Nahir U., Victoria O., Solange W.

Quiero concluir agradeciendo a la ANII por financiar mi beca de posgrado, a la CSIC por apoyar un proyecto que financió parte de este trabajo, al CIPU por permitirme usar las instalaciones de la Escuela de Panadería y a Naturezas por proveer la materia prima y mantener sus puertas siempre abiertas para visitas y consultas.

Publicaciones y presentaciones en congresos

Se publicó el siguiente artículo en la revista Food Science and Technology (Acceso libre):

- KNIAZEV, M., GÁMBARO, A., & VIEITEZ, I. (2023). Physicochemical and sensory characterization of okara obtained by two different processes and the study of its use as breaded food. Food Science and Technology, 43.
<https://doi.org/10.5327/fst.23523>

Se presentaron y presentarán los siguientes trabajos en congresos:

- Póster y presentación oral: KNIAZEV, M., GÁMBARO, A., & VIEITEZ, I. Revalorización de un subproducto de la industria agroalimentaria: Okara; a través del desarrollo de alimentos tecnofuncionales. Primer Congreso Latinoamericano de Sustentabilidad y Sostenibilidad de Alimentos - Noviembre 2023, Montevideo, Uruguay (Anexo [D.1](#))
- Póster y presentación oral: KNIAZEV, M., RIBOTTA, P., GÁMBARO, A., & VIEITEZ, I. Desarrollo de galletas fuente de fibra con okara nativo y extrusado. ID: 6399890, aceptado el 18/06/24 para presentar en el 4° Congreso Iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos - Setiembre 2024, Montevideo, Uruguay.

Esta página fue dejada en blanco a propósito.

Índice general

Índice general	5
Índice de cuadros	10
Índice de figuras	12
1. Introducción general	23
1.1. La soja: Del campo al plato	24
1.1.1. Breve historia de la soja	24
1.1.2. Productos alimentarios en base a soja	25
1.2. El okara como subproducto de la industria sojera	28
1.2.1. Nutrientes claves del okara	29
1.3. La revalorización como foco de trabajo	32
1.4. Objetivos y estructura de la Tesis	35
1.4.1. Objetivos generales	35
1.4.2. Objetivos específicos	35
1.5. Estructura de la Tesis	36
Acerca del formato de la Tesis	37
Presentación de resultados y tratamiento estadístico	39
2. Obtención y caracterización del okara	43

2.1.	Introducción	44
2.1.1.	El okara en Uruguay	44
2.1.2.	Secado del okara	49
2.2.	Metodología y materiales	51
2.2.1.	Estandarización del proceso industrial	51
2.2.2.	Secado y molienda	53
2.2.3.	Carga microbiológica	55
2.2.4.	Composición proximal	55
2.2.5.	Otras determinaciones fisicoquímicas	60
2.2.6.	Caracterización sensorial	63
2.2.7.	Ejemplo de aplicación: Bifes de tofu empanados	64
2.2.8.	Estabilidad temporal	66
2.3.	Resultados y discusión	67
2.3.1.	Estandarización del proceso industrial	67
2.3.2.	Secado y molienda	70
2.3.3.	Carga microbiológica	70
2.3.4.	Caracterización de las materias primas	73
2.3.5.	Caracterización sensorial	78
2.3.6.	Aplicación	79
2.3.7.	Estabilidad temporal	82
2.4.	Conclusiones	83
3.	Transformación del okara mediante un proceso de extrusión	84
3.1.	Introducción	85
3.1.1.	La fibra dietética y su relación con el proceso Salud-Enfermedad	85
3.1.2.	La fibra soluble en el okara	88
3.1.3.	El proceso de extrusión	89
3.2.	Metodología y materiales	92

3.2.1.	Extrusión	92
3.2.2.	Caracterización del producto	93
3.3.	Resultados y discusión	98
3.3.1.	Obtención de los extrusados y selección de la mejor condición	98
3.3.2.	Caracterización del producto	101
3.4.	Conclusiones	103
4.	Aplicación del HOU y HOE: Formulación de galletas marinas con fuente de fibra	105
4.1.	Introducción	106
4.1.1.	Antecedentes de aplicaciones alimentarias con okara	106
4.1.2.	Galletas marinas fuente de fibra	108
4.1.3.	Caracterización Sensorial	109
4.1.4.	Foco en el consumidor	111
4.2.	Metodología y materiales	113
4.2.1.	Formulación y obtención de producto	113
4.2.2.	Caracterización sensorial: CATA y DA	118
4.2.3.	Análisis estadístico de los ensayos sensoriales	121
4.3.	Resultados y discusión	124
4.3.1.	Obtención de los productos iniciales	124
4.3.2.	Caracterización fisicoquímica	126
4.3.3.	Tabla nutricional y escalado de producción	131
4.3.4.	Análisis sensorial con jueces entrenados: Análisis Descriptivo.	132
4.3.5.	Análisis sensorial con consumidores: Aceptabilidad y preguntas CATA	133
4.4.	Conclusiones	138
5.	Análisis económico preliminar	140

5.1. Introducción	141
5.2. Estudio de inversiones	142
5.3. Estudio de costos de producción	144
5.4. Viabilidad económica	146
5.5. Conclusiones	148
A. Deducciones y transformaciones	170
A.1. Transformación de base húmeda (X_{wb}) a base seca(X_{db})	170
A.2. Masa final de un sistema bajo proceso de secado en función de su humedad objetivo conociendo la humedad inicial y la masa inicial	171
B. Datos complementarios	173
B.1. Distribución del tamaño de partícula del pan rallado	173
B.2. Determinación de tablas nutricionales	174
C. Complemento al análisis económico preliminar	177
C.1. Selección de horno y tiempo de secado industrial	178
C.2. Cálculo de consumo de electricidad de la operación unitaria de secado .	182
C.3. Trituradora de okara seco	183
C.4. Selección de extrusor y cálculos asociados	183
D. Trabajos presentados en congresos	185
R. Código utilizado en R	187
R.1. Producción Mundial de Soja	187
R.2. Evolución temporal de artículos publicados sobre tópicos en valorización de algunos subproductos	189
R.3. Evolución temporal de la producción mundial de algunos productos alimentarios	190
R.4. DCA y Gráfico: Resultados °Bx vs proporción agua/porotos	191

R.5. Gráfico: Resultados del ensayo Humedad vs método	193
R.6. Prueba pareada y gráfico: Resultado de análisis proximal	194
R.7. Gráfico: Distribución del tamaño de partícula del pan rallado	198
R.8. Gráfico: Composición de los ácidos grasos del okara	200
R.9. Análisis de datos - Productos registrados en IM	202
R.10.Gráfico y ANOVA: Determinación de la humedad en función del tiempo de almacenamiento	208
R.11.Gráfico y ANOVA: Evolución de la estabilidad oxidativa del okara seco	209
R.12.Gráfico y ANOVA: Evolución de la estabilidad sensorial del okara seco	210
R.13.Tamaño de partícula del HOE y OD	215
R.14.CRA y FS	217
R.15.Mapeo Proyectivo: Biplot	220
R.16.Círculo de correlación de variables auxiliares	224
R.17.Gráfico y ANOVA: DA	227
R.18.Gráfico: Penalty Lifts de ensayo CATA	229
R.19.Gráfico de análisis de correspondencia CATA	231
R.20.Gráfico y ANOVA: Textura en galletas fuente de fibra	234

Índice de cuadros

1.1. Composición aproximada del Okara	30
2.1. Tiempo de secado vs temperatura	71
2.2. Resultados del análisis microbiológico de las muestras frescas	71
2.3. Resultados microbiológicos luego del proceso de secado	72
2.4. Resultados de colorimetría instrumental	76
2.5. Resultados de los ensayos de polifenoles totales y rancidez oxidativa	76
2.6. Resultados del ensayo de actividad ureásica	78
2.7. Resultados sensoriales de los okara seco	81
2.8. Resultados sensoriales de los bifes de tofu	81
3.1. Tipos de fibras y roles nutricionales	86
3.2. Parámetros del ensayo de tamaño de partículas: HOE y HOU	102
3.3. Determinación de TDF y SDF para okara seco y extrusado	103
4.1. Productos desarrollados con okara	107
4.2. Formulaciones de galletas marinas de okara	113
4.3. Formulaciones de galletas marinas de okara	117
4.4. Resultados de humedad y merma en galletas marinas	127
4.5. Resultados de colorimetría en galletas marinas con okara	129
4.6. Tabla de contingencia: Edad vs Sexo	134

5.1. Costos amortizables aproximados con sus referencias.	143
5.2. Resumen de costos de producción	145
B.1. Valores diarios de referencia de nutrientes	175
B.2. Composición de materias primas	176
C.1. Ficha técnica del horno de secado	178
C.2. Extrusoras disponibles con información publicada en Alibaba	183

Índice de figuras

1.1. Rama de la planta de soja.	24
1.2. Producción mundial de soja en 2022	26
1.3. Productos que se obtienen de la semilla de soja	28
1.4. Fotografía del okara fresco	29
1.5. Principales compuestos fenólicos presentes en okara	31
1.6. Evolución de artículos publicados sobre valorización	33
1.7. Producción mundial de algunos alimentos	34
1.8. Resumen de trabajo de maestría	38
1.9. Inferencia estadística	39
2.1. El proceso industrial del Tofu	46
2.2. Proceso de molienda con molino de martillo y disco	48
2.3. Ensayo de fibra dietaria total	59
2.4. Reacción redox en el método de Folin-Ciocalteu	61
2.5. Reacción principal del ensayo de TBARS	62
2.6. Resultados °Bx vs proporción agua/porotos	68
2.7. Resultados humedad okara vs método	69
2.8. Fotografía del okara fresco	70
2.9. Resultados: Composición proximal	74
2.10. Composición de los ácidos grasos del okara	75

2.11. Resultados de la cocción de los bifes de tofu rebozados	79
2.12. Estabilidad temporal del okara - Humedad y TBARS	82
3.1. Esquema de un extrusor de doble tornillo	90
3.2. Configuración del tornillo del equipo de extrusión	93
3.3. Esquema de determinación de capacidad de hidratación	95
3.4. Pasos del ensayo de determinación de TDF y SDF	97
3.5. Resultados del ensayo de CRA para okara seco y extrusados	99
3.6. Fotografías del equipo de extrusión	100
3.7. Fotografía en macro del producto extrusado	101
3.8. Resultados del ensayo de tamaño de partícula: HOE y HOU.	102
4.1. Detalle del texturómetro	116
4.2. Boleta presentada a los jueces sensoriales	120
4.3. Boleta presentada a los consumidores	122
4.4. Registro fotográfico: Etapa de laboratorio de las galletas marinas	125
4.5. Macro fotografía: Galletas marinas con okara	126
4.6. Determinación del Factor Galleta	128
4.7. Resultados del ensayo de textura en galletas marinas	130
4.8. Tablas nutricionales de galletas con HOU, HOE y Salvado	131
4.9. Masa cruda de las distintas galletas marinas	132
4.10. Resultados del DA	133
4.11. Resultados del ensayo CATA	136
4.12. Análisis de penalización de atributos	137
B.1. Distribución de tamaño de partícula del pan rallado	174
C.1. Secado: Volumen de control	179
C.2. Velocidad de secado vs Humedad	180

D.1. Póster: Congreso CLASS 2023	186
--	-----

Resumen

En esta tesis se exploraron las capacidades de la harina de okara uruguaya (*HOU*) como materia prima para la fortificación de alimentos con fibra, proteínas y micronutrientes de la misma. Para ello se estandarizó la obtención de dicha materia prima, y se realizó su caracterización composicional, así como algunos parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y sensoriales. De forma paralela la materia prima se extruyó para cambiar su estructura interna y en una instancia posterior se formularon alimentos con HOU y HOU extrusada (HOE): Bifes de tofu empanados y fritos, y galletas saladas fuente de fibra, caracterizándolos desde un punto de vista fisicoquímico y sensorial.

In this thesis, the capabilities of Uruguayan okara flour (*HOU*) as a raw material for food fortification with fiber, proteins, and micronutrients were explored. To achieve this, the production of this raw material was standardized, and its compositional characterization was conducted, along with some physicochemical, biochemical, and sensory parameters. Concurrently, the raw material was extruded to alter its internal structure, and subsequently, foods were formulated with HOU and extruded HOU (HOE): breaded and fried tofu steaks, and salty crackers as a source of fiber, characterizing them from a physicochemical and sensory perspective.

Lista de Abreviaturas

A

a*: En el contexto del espacio CIELab representa la posición entre verde y rojo.

a_w : *Actividad de agua*. Es una medida de la disponibilidad de agua libre en un producto.

AACC: *American Association of Cereal Chemists*. Organización que desarrolla métodos oficiales para cereales.

A.C.: *Antes de Cristo*.

AC: *Análisis de Correspondencia*. Es una técnica de estadística descriptiva de disminución dimensional.

ANOVA: *Analysis of variance*. Es una técnica de análisis estadístico.

AOAC: *Association of Official Analytical Collaboration*. Es una organización que desarrolla métodos estandarizados de análisis para asegurar la calidad y seguridad de alimentos.

AOCS: *American Oil Chemists' Society* es una organización que promueve la ciencia y la tecnología de grasas, aceites, surfactantes y detergentes.

APHA: *American Public Health Organization*. Organización convocante, cataliza-

dor y defensor para fortalecer la capacidad en la comunidad de salud pública Americana.

AUGM: *Asociación de Universidades del Grupo Montevideo*. Es una Red de Universidades públicas, autónomas y autogobernadas de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay.

B

°Bx: *Grados Brix*. Unidad de medida de concentración de sólidos solubles.

b*: En el contexto del espacio CIELab representa la posición entre azul y amarillo.

C

°C: *Grados Celcius*. Unidad de medida de temperatura.

(C_j:i n-k): En el contexto de ácidos grasos, j es el largo de la cadena carbonada, i la cantidad de insaturaciones y k dónde se encuentra la primera de ellas comenzando a contar desde el carbono terminal.

CATA: *Check-all-that-applies*. Metodología sensorial aplicada en la Parte 4.

χ : *Proporción de humedad*. Refiere a la cantidad de gramos de agua por gramo de masa.

CA: *California*. Un estado de Estados Unidos.

Cal: *Calorías*. Una unidad de medida de energía.

CE: *Comunidad Europea*. Un bloque comercial regional de Europa.

CIELab: *CIE Lab Color Space*. Espacio de color usado para representar todos los colores visibles para el ojo humano.

CIPU: *Centro de Industriales Panaderos del Uruguay*.

CRA: *Capacidad de retención de agua de un sistema*.

CSIC: *Comisión Sectorial de Investigación Científica*. Es un órgano universitario cogobernado de la Udelar.

CV: *Coeficiente de Variación*. Valor que se calcula para una muestra numérica, determina la proporción de la desviación estándar en base al promedio.

D

D: Puede referirse a *Disco*; un método de molienda o *Diámetro* según el contexto.

d^6 : *Diámetro equivalente de galleta* calculado como el promedio de 6 unidades.

DA: *Análisis Descriptivo*. Una técnica de análisis sensorial.

%DB: *Porcentaje expresado en base seca*.

Esto es, tomando como base la masa del producto restando su contenido de agua.

DCA: *Diseño Completamente al Azar*. Es un tipo de diseño experimental donde todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo.

E

ΔE^* : *Delta E*. Medida de la diferencia de color en el espacio CIELab.

EEUU: *Estados Unidos*.

ESCALA: *Espacio Académico Común Ampliado Latinoamericano*. Programa que busca impulsar y fortalecer el proceso de construcción de un espacio académico común regional a través de la movilidad de estudiantes.

EXW: *Ex Works*. Es un término de comercio internacional que indica que el comprador asume todos los costos y riesgos desde el punto de entrega.

F

F_g : *Factor galleta*. Resultado numérico del ensayo con el mismo nombre.

$F_{P/N}$: *Factor P/N*. Factor adimensional que relaciona el contenido de nitrógeno en una muestra con su contenido de proteína.

FAO: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. La FAO es la agencia de las Naciones Unidas que lidera el esfuerzo internacional para poner fin al hambre.

FDA: *Food and Drugs Administration*; Agencia Federal de los Estados Unidos, responsable de regular la seguridad de los alimentos y otros productos, asegurando que estos sean seguros, eficaces y correctamente etiquetados para el consumo público.

FID: *Detector de ionización de llama*. Es un detector del equipo de GC que mide la cantidad de iones producidos durante la combustión de los compuestos orgánicos.

g: *Gramos*. Unidad de medida de masa.

FING: *Facultad de Ingeniería*.

FOB: *Free on Board*. Expresión del precio de un producto que corresponde al costo del mismo incluyendo el traslado de la planta donde se fabrica al puerto más cercano.

FP: *Flash Profile*. Una técnica de análisis sensorial.

FS: *Fracción Soluble* de un sistema.

FQ: *Facultad de Química*.

G

GAE: *Galic Acid Equivalents*. Unidad que relaciona el resultado con una curva de calibración de ácido gálico.

GC: *Cromatografía Gaseosa*. Es una técnica analítica que separa y analiza compuestos volátiles en una muestra mediante su vaporización y su paso a través de una columna cromatográfica.

GMC: *Grupo Mercado Común*. Es el Grupo Mercado Común es el órgano ejecutivo del MERCOSUR.

H

h: *Horas*. Unidad de medida de tiempo. A menos que se indique lo contrario.

h^6 : *Altura equivalente de galleta* calculado como el promedio de 6 unidades.

HOE: *Harina de Okara Extrusada*. Producto que se obtuvo como resultado en el Capítulo 3.

HOU: *Harina de Okara Utilizada*. Producto que se obtuvo como resultado en el Capítulo 2

HP: Puede referirse a *Hewlett-Packard*, empresa productora de hardware o a *Caballos de potencia*, unidad de medida de Potencia.

HSD: *Honest Significant Difference*. Estadístico utilizado para determinar diferencias significativas en análisis de varianza.

HEX: *Hexadecimal*. Representación de color basada en la transformación de los valores en el espacio CIELab al espacio HEX.

I

ISO: *Internacional Organization for Standardization*. Organización Internacional de Normalización, cuya principal actividad es la elaboración de normas técnicas internacionales.

IDF: *Insoluble Dietary Fiber*. Fibra dietética insoluble.

IR: *Infra-Rojo*, es una parte del espectro de luz.

IUPAC: *International Union of Pure and Applied Chemistry*. Es una organización que establece estándares y nomenclaturas en química.

J

J: *Joules*. Unidad de medida de energía.

L

L*: En el contexto del espacio CIELab representa la *luminosidad*, donde 0 es negro y 100 es blanco. **L:** *Litros*. Unidad de medida de volumen. A menos que se indique lo contrario.

L/D: *Length to Diameter Ratio*. Relación de longitud a diámetro.

LSD: *Least Significant Difference*. Estadístico utilizado para determinar diferencias significativas en análisis de varianza.

M

m: Puede referirse a “*masa*” como abreviación, o a *metro*, la unidad de medida de longitud.

m: Puede referirse a *Flujo másico* o a *Velocidad de secado*.

M: Puede referirse a *Martillo*; un método de molienda o *Molaridad*; unidad que expresa la cantidad de moles disponibles en un litro de solución.

MERCOSUR: *Mercado Común del Sur*.

Es un bloque comercial regional de América del Sur.

MDA: *Malonaldehído*. Molécula objetivo del ensayo de TBARS.

MIMO: *Multiple Imputs, Multiple Outputs*. Una estrategia de modelado de sistemas.

μ : Puede referirse a la *media aritmética* o al subfijo *micro*, correspondiente a un factor de 10E-6 sobre la unidad que lo acompaña.

N

n: Puede referirse a *cantidad* en el contexto de un conteo o a *revoluciones* de un sistema.

N: *Newton*. Es una unidad de medida de Fuerza.

O

OD: *Okara de Disco*. Okara obtenido a partir de un proceso de molienda utilizando un molino de discos de piedra.

OM: *Okara de Martillo*. Okara obtenido a partir de un proceso de molienda utilizando un molino de martillo.

P

P: *Potencia*.

PBI: *Producto Bruto Interno* de un país, es el valor total de todos los bienes y servicios producidos dentro de sus fronteras en un período determinado.

PDF: *Portable Document Format*. Es un formato de almacenamiento para documentos digitales

p-valor o **p:** *Significancia Observada*. Valor utilizado para comparar frente a la significancia predefinida en pruebas estadísticas.

pH: Es una medida de acidez de una solución, se calcula como $-\log_{10}[H^+]$ donde $[H^+]$ es la concentración molar de hidrogeniones.

PVDF: *Fluoruro de polivinilideno*. Es un tipo de plástico.

Q

QDA: *Quantitative descriptive analysis*. Una técnica de análisis sensorial.

QR: *Quick Response*. Es un tipo de código de barras bidimensional que puede almacenar información alfanumérica y se puede escanear rápidamente con un dispositivo móvil para acceder a datos como URLs, textos, o detalles de contacto.

R

R: *Software R*. Software utilizado para análisis estadísticos y generación de gráficas.

R^2 : *Coefficiente de correlación*. Referido a una curva que ajusta una serie de datos, refleja qué tan bien la misma se ajusta a éstos.

RATA: *Rate-all-that-applies*. Metodología sensorial.

REDOX: *Reducción - Oxidación*. Es un tipo de reacción química.

RBN: *Reglamento Bromatológico Nacional*.

RGB: *Red, Green, Blue*. Sistema de colores aditivos utilizado en dispositivos electrónicos.

S

SaaS: *Software as a Service*. Es un modelo de distribución de software en el que las aplicaciones se alojan en la nube y se accede a ellas a través de Internet, permitiendo a los usuarios utilizarlas sin necesidad de instalarlas localmente.

SDF: *Soluble Dietary Fiber*. Fibra dietética soluble.

SME: *Specific Mechanic Energy*. Energía mecánica específica de un sistema.

T

T: *Temperatura*.

TC: *Tabla de Contingencia*. Es una matriz que muestra la frecuencia de ocurrencia de variables categóricas.

TBARS: *Thiobarbituric Acid Reactive Substances*. Ensayo para medir la rancidez oxidativa.

TCA: *Ácido tricloroacético*. Reactivo de la técnica de TBARS.

TDF: *Total Dietary Fiber*. Fibra dietética total.

U

UdelaR: *Universidad de la República*.

UFC: *Unidades formadoras de colonias*. Unidad de medida de resultados microbiológicos.

USD: *United States Dollar*. Moneda de los Estados Unidos.

UV-Vis: *Ultra Violeta - Visible*. Rango del espectro de luz.

V

VD: *Valores Diarios*. Referido a la cantidad de un nutriente mínimo necesario para el funcionamiento del cuerpo humano.

VUSP: *Vinculación Universidad - Sociedad y Producción*. Es una categoría de proyectos financiados por la CSIC.

W

w: *Watt*. Unidad de medida de potencia.

%WB: *Porcentaje expresado en base húmeda*. Esto es, tomando como base la masa del producto en su totalidad.

Capítulo 1

Introducción general

1.1. La soja: Del campo al plato

1.1.1. Breve historia de la soja



Figura 1.1: Rama de la planta de soja, ilustración. Imagen generada por OpenAI GPT-4.

El nombre “Soja” proviene del chino *chiang-yiu* que se traduce como “salsa de soja”, los japoneses pronunciaban *show-yu*, lo que eventualmente se contrajo a *so-ya*. *so-ya*, con el tiempo, fue transfigurándose a *soy-a* o directamente *soya* llegando al vocablo que conocemos actualmente – *soybean* en inglés, *soja* en español–. El origen del nombre habla del origen de la planta, botánicamente conocida como *Glycine max* (L.) (Figura 1.1), aparece en la literatura Chi-

na antigua como una planta extensamente cultivada y muy valiosa como alimento varios siglos antes de que existieran los registros escritos. Su primera aparición en la literatura describe las plantaciones del Emperador *Sheng-Nung* en el 2838 A.C. La soja era considerada la legumbre cultivada de mayor importancia y era reconocida como uno de los cinco granos sagrados –arroz, soja, trigo, cebada y mijo– esenciales para la existencia de la civilización china (Morse, 1950).

En primer lugar, la planta de la soja fue sembrada para consumo directo, tanto humano como animal, así como ingrediente para producir otros alimentos como salsa de soja, tofu, leche de soja, y brotes de soja. También la planta era conocida por sus propiedades con impacto directo en el correcto funcionamiento del corazón, hígado, riñones, estómago e intestinos –algunas de estas propiedades fueron eventualmente probadas ciertas por la ciencia moderna– sin embargo, no fue hasta que se descubrió como fuente de aceite que su producción creció y se extendió por el mundo (Morse, 1950).

No existe ninguna mención del aceite de soja en la literatura antigua, por lo que se concluye que obtener aceite a partir de la trituración de la semilla en cuestión

comenzó a ocurrir en tiempos modernos. Las primeras importaciones importantes de soja a Europa datan del 1908, a raíz de la guerra ruso-japonesa; el clima europeo no es propicio al desarrollo de esta agricultura y solo se estableció su producción en países de Europa del este. En el caso de América, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos comenzó a importar la semilla en 1898, principalmente como cultivo de forraje y pastura, y durante la Segunda Guerra Mundial en el 1942, en respuesta a la urgencia de Estados Unidos por conseguir aceite y grasas, la proporción de hectáreas dedicadas a pastura contra grano se invirtió, dando lugar al rápido crecimiento de esta última (Morse, 1950).

Actualmente, la soja es el cuarto cultivo más cosechado a nivel mundial; posicionado luego del trigo, maíz y arroz, suma una producción total de 133,7 millones de hectáreas que resulta en 348,8 millones de toneladas de granos de soja –El 9 % de toda la tierra dedicada a la agricultura es plantación de granos de soja–, en la Figura 1.2 se puede ver una representación de la distribución global de estas plantaciones para el año 2022, siendo sus principales productores Brasil (31 % de las hectáreas mundiales dedicadas a semilla de soja), Estados Unidos (26 %), Argentina (12 %), India (9 %) y China (8 %) (FAO, 2024b).

Uruguay aparece en el puesto número 12 de la producción mundial de esta planta, con poco más de 1,0 millones de hectáreas dedicadas a la producción de soja, esta cantidad representa el 43 % de toda la producción agrícola del Uruguay y desde un punto de vista económico, el 17 % del ingreso total del país por concepto de comercio total durante el 2022 –sumando 1.927 millones de dólares, representando un 2,7 % del PBI de ese año– (FAO, 2024a).

1.1.2. Productos alimentarios en base a soja

Los granos de soja contienen un alto contenido de proteína y aceite, aproximadamente un 60 %BS de la misma expresada en base seca; el resto de los macronutrientes

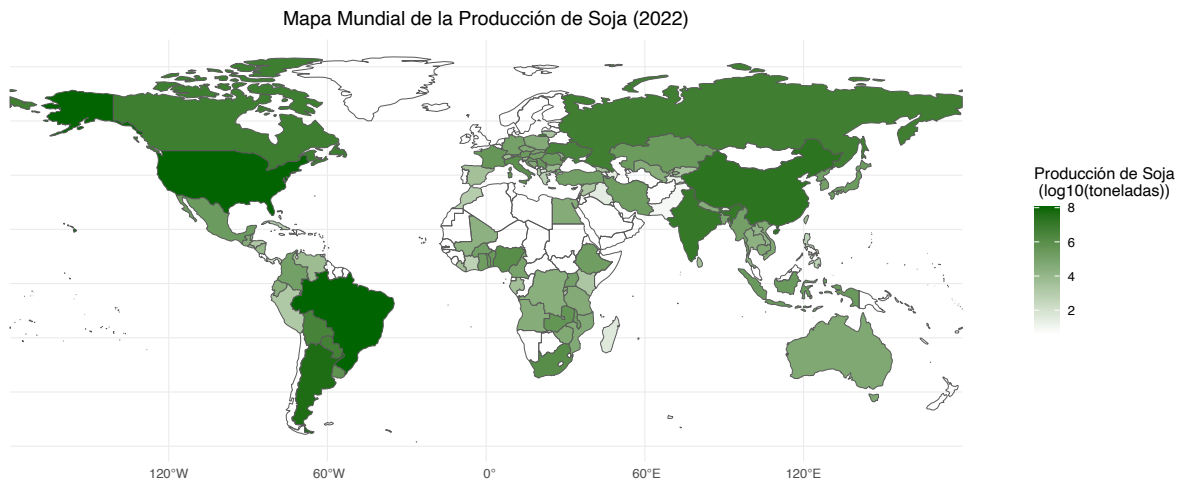


Figura 1.2: Producción mundial de soja en 2022, se muestran los totales como logaritmo en base 10 de las toneladas producidas. Datos extraídos de FAO, [2024b](#) el 31/01/2023. Gráfico generado en R (Anexo [R.3](#)).

se dividen en un 35 %BS de carbohidratos y 5 %BS de ceniza (K.-I. Chen et al., [2012](#)). En particular, la proteína de soja es catalogada como un buen sustituto de la proteína animal debido a que esta semilla oleaginosa ofrece un perfil proteico "completo"; la soja contiene todos los aminoácidos esenciales para la nutrición humana, los cuales deben ser aportados a través de la dieta debido a la incapacidad de síntesis de las mismas en el cuerpo humano (Henkel, [2000](#)).

Según Henkel, [2000](#), en la *FDA Consumer Magazine*, las formas más comunes de consumo de soja incluyen:

- **Tofu:** Elaborado a partir de soja cocida y molida, procesada en una torta con proceso similar al flan. Posee un sabor neutro y puede ser salteado, mezclado en "batidos", o convertido molido para lograr una textura de queso crema para usar en dips o como sustituto del queso. Se presenta en texturas firme, suave y sedosa.
- **Leche de soja:** Nombre fantasía que algunos comerciantes utilizan para una *bebida vegetal a base de soja*, se produce moliendo soja descascarillada y mezclándola

con agua para formar un líquido similar a la leche. Puede consumirse como bebida o utilizarse en recetas como sustituto de la leche de vaca. La leche de soja, a veces fortificada con calcio, se ofrece natural o en sabores como vainilla, chocolate y café. Para personas intolerantes a la lactosa, puede ser un buen reemplazo para los productos lácteos.

- **Harina de soja:** Se obtiene moliendo soja tostada en un polvo fino. Esta harina es utilizada en alimentación animal y también fortifica la proteína de productos horneados. En algunos casos puede usarse como sustituto del huevo. También se encuentra en cereales extrusados, mezclas para panqueques, postres congelados y otros alimentos comunes.
- **Proteína de soja:** Para obtener proteína de soja texturizada se parte de harina de soja desgrasada, la cual es extrusada y deshidratada. Puede utilizarse como sustituto de la carne o como relleno en platos como el pastel de carne. La proteína de soja también se encuentra en muchos productos "análogos de carne", como salchichas de soja, hamburguesas, chorizos y fiambres, así como también la proteína de soja en polvo puede aparecer en yogures y quesos de soja, todos ellos destinados como sustitutos de sus contrapartes basadas en animales.
- **Tempeh:** Elaborado con soja entera cocida formada en una torta masticable y utilizada como sustituto de la carne.
- **Miso** Es una pasta de soja fermentada utilizada para sazonar y o como ingrediente en caldos de sopa.

De todos los productos obtenidos a partir de este grano (Figura 1.3), la leche de soja tiene uno de los valores económicos más alto, dado que además de comercializarse como tal, se usa como base para la elaboración de una gran variedad de productos alimenticios, incluyendo tofu, suero de leche de soja, yogur de soja y quesos basados de soja (Voss et al., 2018).

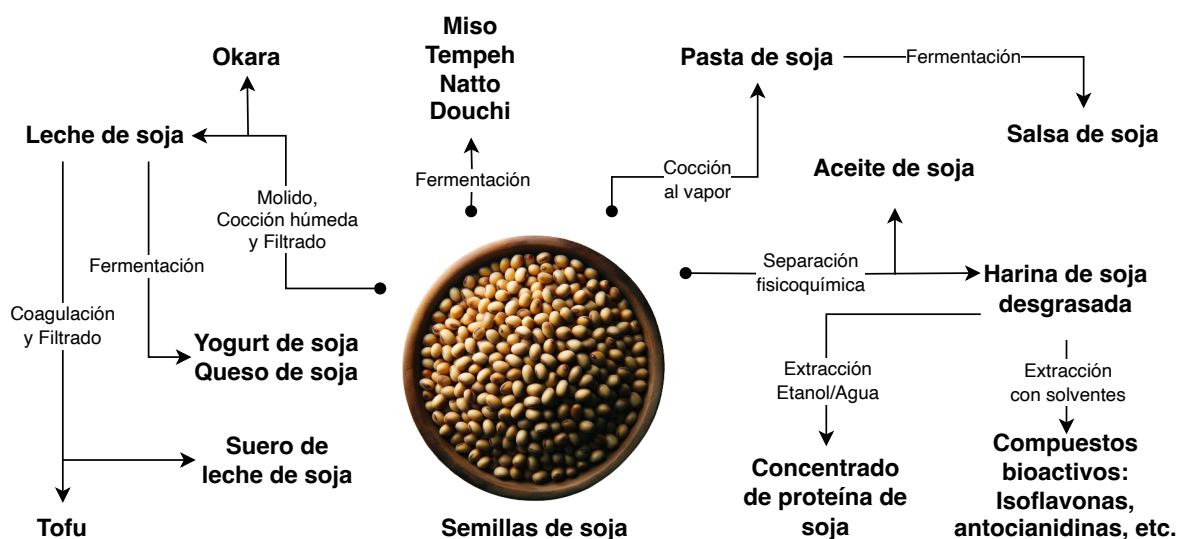


Figura 1.3: Mapa de productos obtenidos a partir de la semilla de soja y sus métodos de obtención, diagrama reinterpretado de K.-I. Chen et al., 2012.

1.2. El okara como subproducto de la industria sojera

El residuo que se obtiene al moler los granos de soja luego de la extracción de la fracción soluble en agua para producir leche de soja, lleva por nombre okara (Figura 1.4). Por cada kilogramo de granos de soja procesados para elaboración de leche de soja, se obtiene aproximadamente 1.1 kilogramos de okara fresco (Shurtleff & Aoyagi, 2000).

La extracción de la leche de soja implica la separación de la fase líquida por métodos mecánicos. El okara remanente se obtiene con diferentes grados de humedad dependiendo de la eficiencia con la cual se removió la fase líquida en la etapa anterior. Esta eficiencia depende del método utilizado para la molienda y separación de los granos como ser un molino de martillo, desintegradores, molino de agujas o molinos tipo licuadora de cuchillas, seguido de centrifugación o separación manual con filtros. Por lo tanto, la composición química del okara dependerá de la cantidad de fase acuosa extraída de los granos de soja molidos, y si durante el proceso se agregó o no más agua

para extraer compuestos residuales (Shurtleff & Aoyagi, 2000).



Figura 1.4: Fotografía del okara fresco sobre una bandeja. Tomada en los laboratorios de Facultad de Química.

Dada la naturaleza del okara como subproducto, su obtención está íntimamente relacionada a los parámetros con los que se decida obtener la leche de soja, en particular se busca que la misma posea alto porcentaje de sólidos solubles – especialmente de proteínas – disminuyendo la riqueza de algunos macronutrientes del okara (Shurtleff & Aoyagi, 2000; Li et al., 2012). Un flujograma de proceso de una de las formas de obtención del tofu, y por ende, de la obtención del okara puede verse en la Figura 2.1, Sección 2.2.1.

Otros factores que inciden en la composición del mismo serán la zona donde se cosechó el grano de soja, donde por ejemplo, Grieshop y Fahey, 2001, analizaron semillas de soja de diferentes regiones de los mayores productores de la misma: Brasil, China y Estados Unidos (Figura 1.2), encontrando en promedio 27,7 %BS, 29,2 %BS y 30,5 %BS de proteínas; y el método de producción de tofu seleccionado donde los principales son el *método Chino* y el *método Japonés*, cuya principal diferencia es que en el último los granos de soja rehidratados son cocidos antes de molerse y filtrarse (Li et al., 2012). En el Cuadro 1.1 se muestra la composición aproximada del okara según varios autores recopilados por Li et al., 2012.

1.2.1. Nutrientes claves del okara

Fibra dietética El Okara contiene abundante fibra dietética (Cuadro 1.1), principalmente polisacáridos de las paredes celulares, y proteína, además de una concentración considerable de isoflavonas y elementos minerales, por lo que posee un alto valor nu-

Tabla 1.1: Composición aproximada del Okara (g/100g en base seca)

Proteína	Grasa	Fibra Dietética	Carbohidratos	Cenizas
25,4 - 28,4	9,3 - 10,9	52,8 - 58,1	3,8 - 5,3 ^a	3,0 - 3,7
15,2	8,3	42,4	4,1 ^b	3,9
28,5	9,8	55,5	5,1	4,5
33,4	8,5	54,3	3,9 ^c	3,7

Cada fila es el resultado de una caracterización fisicoquímica por un autor/autora independiente, la tabla compilación fue tomada y traducida de Li et al., 2012.

^a Monosacáridos, oligosacáridos y almidón; ^b azúcares reductores; ^c carbohidratos de bajo peso molecular.

tricional y potencial efecto prebiótico. Podría ser usado como ingrediente funcional con atributos positivos para la salud (Li et al., 2012).

Proteína El contenido de proteína de este residuo es de aproximadamente 25 % en base seca, con una alta calidad nutritiva y un índice de eficiencia proteica alto, lo cual sugiere una fuente potencial de proteína vegetal de bajo costo para el consumo alto. El contenido de aminoácidos esenciales en el aislado de proteínas de la Okara es similar al de aislado comercial de proteína de soja (Supro 610) y a otros productos de soja (Li et al., 2012).

Compuestos fenólicos Las Isoflavonas son un grupo de fenoles heterocíclicos naturales que se encuentran principalmente en el grano de soja y se le acreditan varias funciones promotoras de salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares, cánceres, y síntomas menopáusicos. Las isoflavonas de más importancia en el grano de soja son la genistina y la daidzeína, cuya fórmula estructural se muestra en la Figura 1.5. La mayoría de las isoflavonas en el Okara están combinadas con un β -glucósido. Según el método de fabricación de leche de soja, la extracción de estas isoflavonas se dará en mayor o menor medida (molido en frío/caliente), potencialmente quedando un remanente en el okara que podría dotarla de bioactividad relacionada a dichos compuestos

(Li et al., 2012).

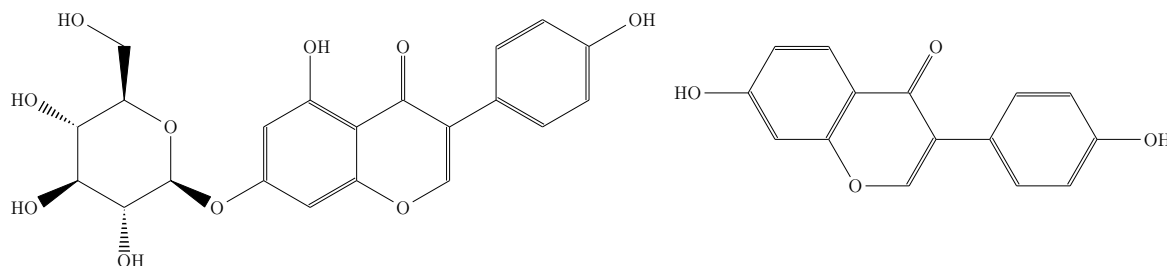


Figura 1.5: Principales compuestos fenólicos presentes en okara. Fórmula estructural de la genistina (izquierda) y daidzeína (derecha).

En contraposición a los beneficios hasta ahora nombrados, los porotos de soja crudos poseen factores anti-nutricionales en cantidades no despreciables, en particular, los inhibidores de tripsina. Los inhibidores de tripsina son uno de los factores más importantes a la hora de evaluar la utilización del okara como ración animal y más aún humana, como en el caso de esta Tesis. El ganado alimentado con okara crudo muestran problemas de indigestión por estas enzimas (Stein et al., 2018). Existen resultados contundentes que demuestran que el okara fresco, utilizado como alimento animal, posee un impacto significativo en el crecimiento, comportamiento y actividad física. Los métodos de inhibición de actividad anti tripsina abarcan métodos físicos, químicos, de bioreducción y procesos fermentativos, en particular esta actividad suele extinguirse durante las extracciones y/o los procesos de tostado/secado (Colletti et al., 2020) (Colletti et al., 2020).

Al día de hoy, el término “Inhibidores de tripsina” de la soja engloban variantes de enzimas inhibidoras de actividad anti-tripsina y anti-quimotripsina aisladas y conocidas a través de los nombres *inhibidores de Kunitz* e *inhibidores de Bowman-Birk* respectivamente, los cuales se medían mediante electroforesis (Ruiz et al., 2020) hasta que Caskey y Knapp, 1944 demostró que el tratamiento térmico para destruir la enzima ureasa presente en la soja es el mismo que el requerido para la destrucción de los inhibidores de tripsina. Y desarrolló un método colorimétrico utilizando un patrón de urea

para medir su inactivación. La necesidad del mercado ganadero de un método rápido para conocer la seguridad de la ración animal generó el método oficial (AACC Method 22-90 - Determinación de la actividad ureásica AACC, 2000) a partir de éste.

1.3. La revalorización como foco de trabajo

Algunas industrias alimentarias generan grandes cantidades de subproductos lignocelulósicos a partir del procesamiento de materias primas, los cuales son considerados desechos y generalmente contaminantes del medio ambiente. Esto es un problema demostrado y ampliamente estudiado en grandes industrias como la cerveza, café, vino, caña de azúcar, vegetales y frutas, entre otras (Gomez-Garcia et al., 2021). Globalmente, el descarte y manejo de subproductos agroindustriales poseen un impacto negativo demostrado en los sectores sociales y económicos; impacto que puede ser reducido aprovechando el alto contenido de biomoléculas que agregan valor a estos subproductos.

La revalorización como foco de estudio es un tema de actualidad y en auge, como puede verse en la Figura 1.6, donde se denota un aumento del número de publicaciones en esta temática independientemente del tipo de subproducto.

Las biomoléculas en cuestión actúan como nutrientes y/o son utilizadas por las plantas para protegerlas de enfermedades, insectos y microorganismos; de acuerdo con su actividad en el metabolismo de las plantas, estas moléculas se pueden dividir principalmente en dos grupos: Los constituyentes primarios, que se corresponden con los azúcares y fibras, aminoácidos, proteínas, y clorofilas, mientras que los constituyentes secundarios incluyen los alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, carotenoides, compuestos fenólicos y entre otros con comprobados efectos en la salud (Gomez-Garcia et al., 2021).

De cara al futuro, es esperable que la cantidad de subproductos alimentarios generados aumente, en concordancia con la tendencia al aumento de producción total de

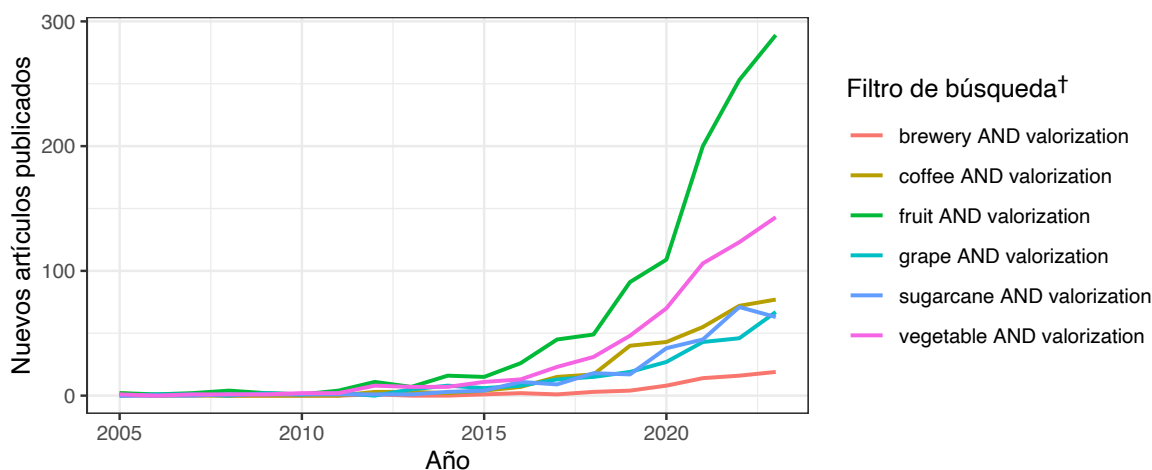


Figura 1.6: Evolución de artículos publicados sobre tópicos en valorización de algunos subproductos. †El filtro de búsqueda implica que ambos términos aparecen de forma obligatoria, al menos una vez, en el título del paper o en su abstract, lo cual implica una cota inferior de la cantidad real de publicaciones en la temática. Datos extraídos del software [Dimensions.ai](#) (Hook et al., 2018) el 9/03/24. Gráfico generado en R (Anexo R.2)

alimentos (Figura 1.7). Estos subproductos requerirán de un aprovechamiento y un manejo inmediato luego de su producción priorizando tecnologías verdes que no impriman un estrés extra en el medio ambiente, lo cual podrá recuperar de forma eficiente los recursos invertidos mientras se disminuyen los impactos negativos del manejo actual. Esta tendencia de *economía circular* descrita y revisada en Campos et al., 2020, se describe como alternativa a la economía lineal –esto es: los materiales crudos son tomados, procesados, consumidos y descartados como basura– incluyendo en la cadena la recuperación y valorización de los materiales intermedios que puedan generar valor al ciclo, a la vez que se disminuyen las pérdidas medioambientales.

Uno de los posibles fines para las biomoléculas que al ser descartadas constituyen un problema medioambiental son los *alimentos funcionales*, término introducido por primera vez en Japón en la década del 1980, al día de hoy, según FAO, 2018, *no existe*

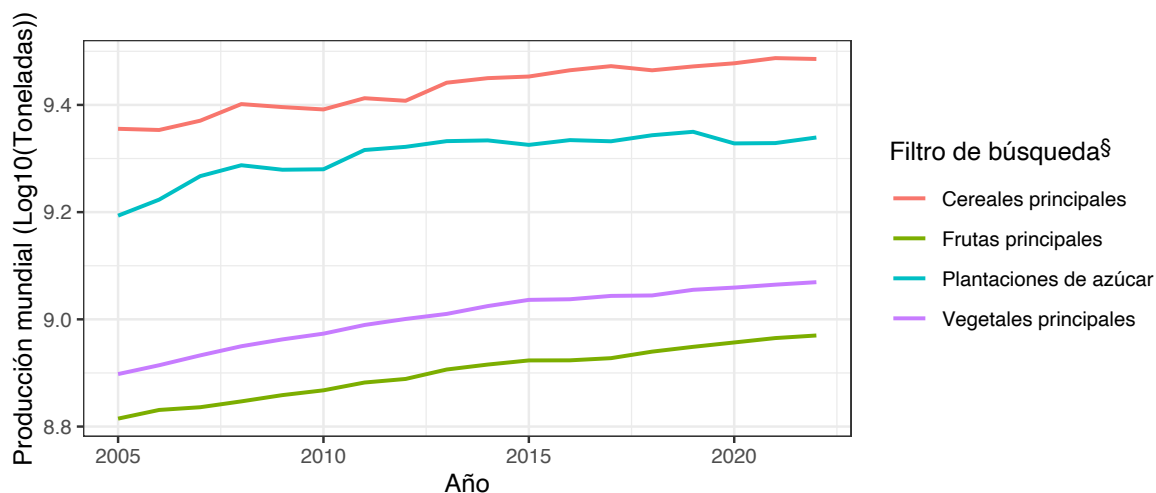


Figura 1.7: Evolución temporal de la producción mundial de algunos alimentos. Se muestran los totales como logaritmo en base 10 de las toneladas producidas. La tendencia histórica de la agroindustria es al crecimiento. Datos extraídos de FAO, [2024b](#) el 31/01/2024. Gráfico generado en R (Anexo [R.3](#))

una definición unánimemente aceptada de "Alimento funcional", aunque se han propuesto varias definiciones. En general, es aceptado en el mismo glosario: Un alimento que proporciona un beneficio para la salud más allá de la nutrición básica, demostrando beneficios médicos o de salud específicos, incluida la prevención y el tratamiento de enfermedades. En particular, en el marco de esta Tesis se desarrollará la fibra dietaria incluida en el okara como potencial ingrediente bioactivo y se estudiarán a su vez los compuestos fenólicos disponibles en la misma.

1.4. Objetivos y estructura de la Tesis

En esta breve sección se presentarán los objetivos generales y específicos, así como la estructura de la Tesis y lineamientos para seguir el formato de la misma.

1.4.1. Objetivos generales

El objetivo general de esta Tesis es explorar las capacidades de la harina de okara uruguaya (HOU) como materia prima para la fortificación y enriquecimiento de alimentos con fibra, proteínas y micronutrientes de la misma.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Obtención de la harina de okara uruguaya de manera estandarizada.

Por tratarse de un trabajo sobre valorización, es necesario contar con una materia prima estable y por tanto este objetivo se subdivide en los siguientes objetivos.

- a) Estudiar y estandarizar el proceso de obtención del okara fresco.
- b) Estudiar y estandarizar el proceso de secado y molienda del okara fresco.

2. Comparar el rendimiento, la composición nutricional, el perfil sensorial y estudiar la potencialidad como ingrediente bioactivo de muestras de HOE obtenidas por dos métodos de producción, utilizando un molino de martillo y un molino de piedra.

3. Estudiar la evolución temporal de las muestras de okara seco como materia prima.

Este estudio es necesario para evaluar la estabilidad del lote a lo largo del desarrollo de la Tesis y proporciona información valiosa con miras a su aplicación industrial.

4. Evaluar la aplicación del HOU en productos panificados, utilizando como foco la opinión de los consumidores.

La obtención de la materia prima carecería de sentido por sí misma si no es evaluada por consumidores en un contexto que aproxime la realidad industrial.

5. Evaluar la posibilidad de agregar valor al okara transformando la materia prima a través de un proceso de extrusión.

Más allá de la aplicación directa del HOU como ingrediente en productos alimenticios, resulta interesante fortalecer el mismo en algunas de sus propiedades nutraceuticas.

6. Realizar un análisis económico preliminar que sienta las bases para que una empresa interesada en el proceso pueda generar un estudio completo del proceso.

1.5. Estructura de la Tesis

La presente Tesis de posgrado está estructurada en 5 Capítulos, incluyendo el actual, que contiene la introducción general y la estructura de la Tesis. Puede verse un resumen del trabajo de la misma en la Figura 1.8.

El Capítulo 1 corresponde a una Introducción General a la temática. Se plantean en ésta los objetivos y estructura de Tesis, así como también el criterio general de presentación de resultados y tratamiento estadístico.

En el Capítulo 2 se tratará la obtención del HOU, su caracterización, la evaluación temporal del mismo y una aplicación directa.

El Capítulo 3 se corresponde con el desarrollo y resultados de una pasantía realizada en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina en el marco del programa ESCALA de estudios de posgrado. Se trabajó sobre la transformación física del HOU por medio de un proceso de extrusado, obteniendo como resultado harina de okara

extrusada (HOE), para mejorar sus propiedades fisicoquímicas.

Como cierre del trabajo experimental de la Tesis, en el Capítulo 4 se trabajó en la aplicación del HOU y HOE como materias primas en galletas saladas fuente de fibra, incluyendo la evaluación sensorial por parte de consumidores.

En último lugar, se realizó un análisis económico preliminar de la obtención del HOU y HOE, así como del costo de cada producto alimenticio obtenido en el Capítulo 5.

Acerca del formato de la Tesis

Este documento fue escrito utilizando L^AT_EX, una herramienta de preparación de documentos científicos y técnicos¹. Una de las ventajas de este software es el manejo interno de referencias y citas. Durante todo el documento se pueden observar hipervínculos de color verde-azulados que permite la navegación facilitada por el documento. Un ejemplo es el siguiente, que puede utilizarse para volver al Capítulo 1, o para visualizar rápidamente la Figura 1.8, que corresponde con el flujograma de la Tesis.

Como último comentario, todos los Capítulos, Secciones y Subsecciones poseen un identificador único y están indexadas en la Tabla de Contenido de este documento. Su lector de PDF debería contar con una opción para desplegar dicha Tabla y poder navegar por las mismas.

¹Puede leerse más del proyecto y el software de uso libre en <https://www.latex-project.org/>

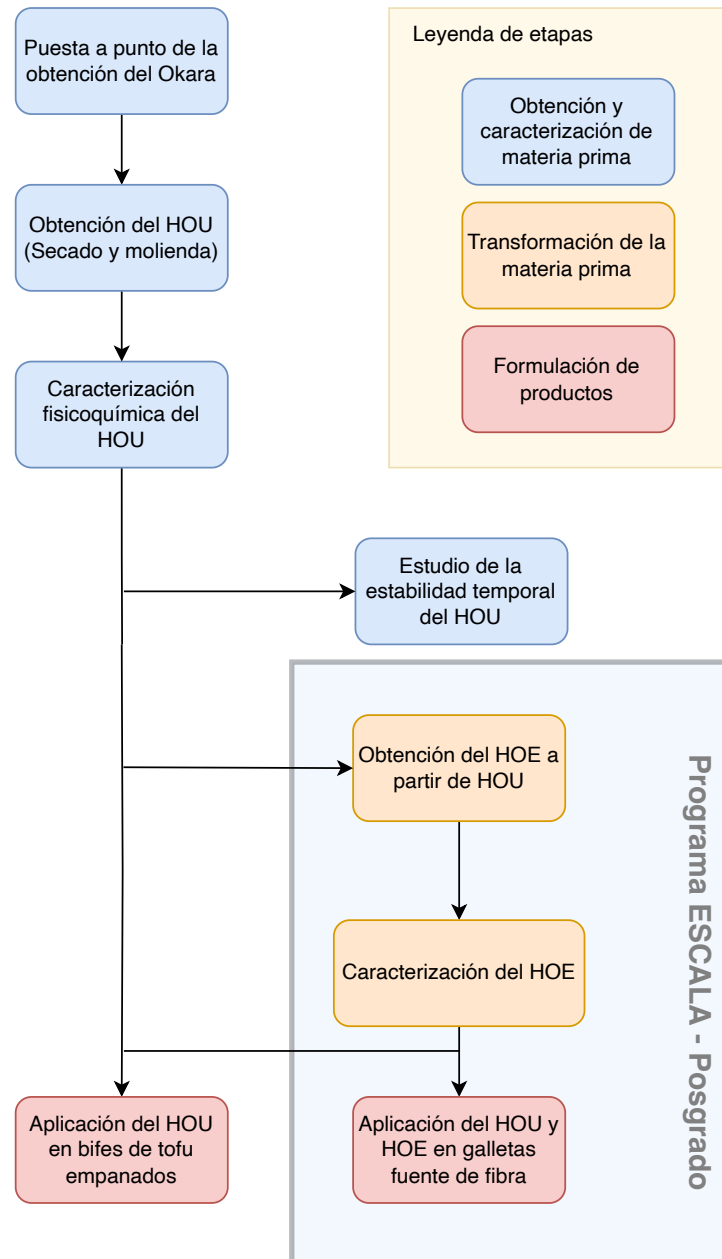


Figura 1.8: Resumen del trabajo de maestría. Se ilustra como flujograma para resaltar el avance temporal de la misma. Se resalta en gris el trabajo perteneciente al programa ESCALA - Posgrado, parcialmente llevado adelante en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. HOU: Harina de Okara Uruguaya, HOE: Harina de Okara Extrusada.

Presentación de resultados y tratamiento estadístico

Inferencia estadística Por las características inherentes a la obtención de información, las respuestas medidas serán distintas en cada determinación analítica (Pulido, 2004). Sin embargo, en la *estadística inferencial* se puede modelar según la Ecuación 1.1 que esta respuesta proveniente de una réplica corresponde a una medida poblacional –parte sistémica, que depende de la población que se quiere investigar– sumado a un cierto error aleatorio e impredecible que aparta la medición de la media poblacional dada.

$$\underbrace{\text{Observación}(\overbrace{y}^{\text{Réplica}})}_{\text{Respuesta medida}} = \underbrace{\text{Parte sistémica}}_{\text{Respuesta media, predecible}} + \underbrace{\text{Parte Aleatoria}}_{\text{Variabilidad de la media, impredecible}} \quad (1.1)$$

El uso de la *inferencia estadística* es necesario debido a que la población en estudio es infinita, muy grande o imposible de medir por practicidad o costo, por lo tanto, se analiza una *muestra representativa* de dicha población, y con base en las características medidas en esta muestra –*estadísticos*– se podrán realizar afirmaciones acerca de los parámetros de la población (Figura 1.9).

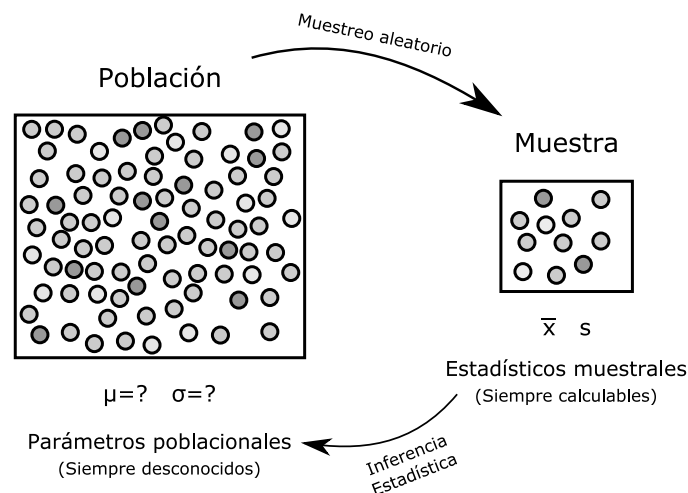


Figura 1.9: Mapa de inferencia estadística: Relación entre población y muestra, parámetros y estadísticos. Adaptado de Pulido, 2004

Caracterización de las poblaciones Por lo general, y a menos que se explice lo contrario, en este trabajo se expresará la parte sistemática de una observación con la media *–promedio–* de una variable x como $\bar{x}$ y se define para n mediciones de la misma variable en la Ecuación 1.2, donde x_i implica cada medición en condiciones replicables. En el ambito alimentario y para los análisis presentados en este documento, típicamente se requiere un mínimo de 3 réplicas (Nielsen, 2014).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1.2)$$

Por otro lado, debido a que el promedio es un *estimador puntual* de la variable en estudio –un valor numérico simple que estima un valor poblacional, en este caso, la *media poblacional* (μ)–, en la presentación de resultados, se acompañará la misma con una medida de dispersión de los datos; por defecto, y a menos que se indique lo contrario, se trabajará con la *desviación estándar muestral corregida* (SD), definida en la Ecuación 1.3 la cual es un estimador puntual de la *desviación estándar poblacional* (σ) quien indica qué tan cerca están los valores reales unos de otros (Peña, 2014).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1.3)$$

Expresión de resultados Combinando los conceptos anteriores, en general se expresarán los resultados de este trabajo a través de *estimaciones por intervalos*, en particular, se asumirá que las medidas poseen una respuesta con *distribución de probabilidad normal* para los fenómenos fisicoquímicos y otros datos típicos donde no se especifique lo contrario (Nielsen, 2014) y se utilizará la regla empírica de que los datos de una población normal bien caracterizada (se conoce el $\mu \sim \bar{x}$ y el $\sigma \sim SD$) posee el 68 y 95 % de sus respuestas en el intervalo de la Ecuación 1.4, cuando n toma los valores 1 y 2 respectivamente (Nielsen, 2014; Peña, 2014). También, en los gráficos que corresponda mostrar el error, se utilizará para su representación la desviación estándar muestral, a menos que se especifique lo contrario.

$$\mu = (\bar{x} \pm n \times SD) \quad (1.4)$$

Criterio de homogeneidad Para determinar si una serie de datos recolectados pertenecen a la misma distribución se utilizará el criterio de la Ecuación 1.5, donde CV es el *coeficiente de variación* y compara la desviación estándar con el promedio de la serie (Nielsen, 2014).

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \leq 10 \quad (1.5)$$

Tests de hipótesis Por lo general, interesará comparar el efecto de dos o más tratamientos o procesos sobre una media poblacional, para esto, plantearemos un *test de hipótesis estadístico*, es decir, una afirmación sobre los valores de las medias determinadas, que será susceptible de probarse a partir de la información contenida en la muestra representativa que es obtenida de la población. Las hipótesis estadísticas toman la forma de dos situaciones mutuamente excluyentes y que engloban todos los casos posibles para una situación determinada: La *hipótesis nula* (H_o) y la *hipótesis alternativa* (H_A).

Las dos hipótesis estadísticas más usuales en este trabajo serán: La prueba *t* de Student, para comparación de dos medias (Ecuación 1.6) y su extensión para la comparación de múltiples medias, el *análisis de la varianza* o ANOVA (Ecuación 1.7) (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

$$\begin{cases} H_o : \mu_1 = \mu_2 \\ H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad (1.6)$$

$$\begin{cases} H_o : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu \\ H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \end{cases} \quad (1.7)$$

Criterio de rechazo Para el criterio de rechazo o aceptación, se calculará la *significancia observada* del test (p -valor) y se comparará frente a la significancia predefinida (α), la cual se define como el riesgo máximo que el experimentador está dispuesto a correr por rechazar H_o indebidamente (error tipo I) (Gutiérrez & De la Vara, 2008). H_o se rechaza si $p\text{-valor} < \alpha$ y se utilizará $\alpha = 0,05$ como criterio de rechazo.

Comparaciones pareadas Luego de rechazar la hipótesis nula en un análisis de varianza, es necesario determinar cuáles son los tratamientos que presentan *diferencias significativas*, es decir, aquellas medias que si se tomasen de a pares con una prueba t habría evidencia estadística suficiente ($p\text{-valor} < \alpha$) para rechazar la hipótesis nula y se podría considerar las medias como distintas.

Esto no se determina par a par, sino que, a menos que se especifique lo contrario, se calculará el estadístico conocido como *mínima diferencia significativa honesta (HSD)* de Tukey, la cual tiene en cuenta las distancias de cada resultado de las unidades experimentales frente a una media global y calcula cuánto tiene que apartarse en valor absoluto la media de un tratamiento de otro para considerarlos distintos. Aquellas medias que no se consideran distintas se les asigna un mismo *grupo* y las que difieren más que el *HSD* se les asigna uno distinto.

Software estadístico Todos los análisis estadísticos presentados en esta tesis se realizaron utilizando el software R, versión 4.2.2 (R Core Team, 2022), incluyendo en documentos anexos el cálculo de las pruebas estadísticas, el análisis exploratorio de datos, y la generación de las gráficas (Anexo R).

Capítulo 2

Obtención y caracterización del okara

2.1. Introducción

2.1.1. El okara en Uruguay

Naturezas, es una empresa familiar uruguaya con más de 20 años de trayectoria en la producción de productos a base de soja¹. Durante todo el trabajo de Tesis se trabajó en conjunto con la empresa proveedora de la materia prima. *Naturezas* produce tofu siguiendo el proceso descrito en la Figura 2.1. En primer lugar, los granos de soja crudos son enjuagados de tierra e impurezas físicas (ramas, piedras, etc), luego son hidratados en un tanque de remojo con agua potable a temperatura ambiente durante 8 horas; a continuación, el sobrenadante es eliminado y las semillas hidratadas son *molidas* con un agregado de agua conocido. Esta etapa se conoce como “obtención de la leche” debido a la extracción acuosa de toda la materia orgánica forzada por la destrucción de las paredes celulares y el hinchamiento previo; como paso extra, se debe agregar una solución de siliconas para evitar el espumado en exceso producido por las proteínas presentes.

Luego de la obtención de la leche, la misma se bombea a un segundo tanque pasando por un filtro de retención de sólidos. En esta etapa de filtrado se retira el okara como subproducto de la elaboración de leche de soja, el cual se coloca en bolsas de descarte, despachándose una vez al día la totalidad de okara – aproximadamente 100 kilogramos diarios – con destino a alimentación suina. Un quemador a gas calienta la segunda olla hasta los 120°C, acción que junto al agregado de coagulante – Cloruro de Calcio – forma coágulos de tofu que se separan naturalmente del suero de leche de soja por flotabilidad.

Por último, los coágulos de tofu son retirados del suero por filtrado y se coloca en un molde rectangular cubierto con una tela de lino porosa aún en caliente para su prensado. El prensado sucede en etapas, aumentando la fuerza de la prensa cada vez

¹Sitio web de *Naturezas*: <https://naturezas.com.uy/>

que el suero que escapa con esta acción se agota. Al lograr la firmeza deseada, el bloque de tofu es enfriado instantáneamente en un baño de hielo, escurrido y dispuesto en un congelador hasta que su temperatura esté cercana a los 4°C, momento en el cual se retira para su corte, pesado, empaquetado al vacío y despacho/stockeado en cámara. La operación unitaria de prensado ocurre temporalmente en paralelo a una nueva molienda, extracción de leche de soja y coagulación.

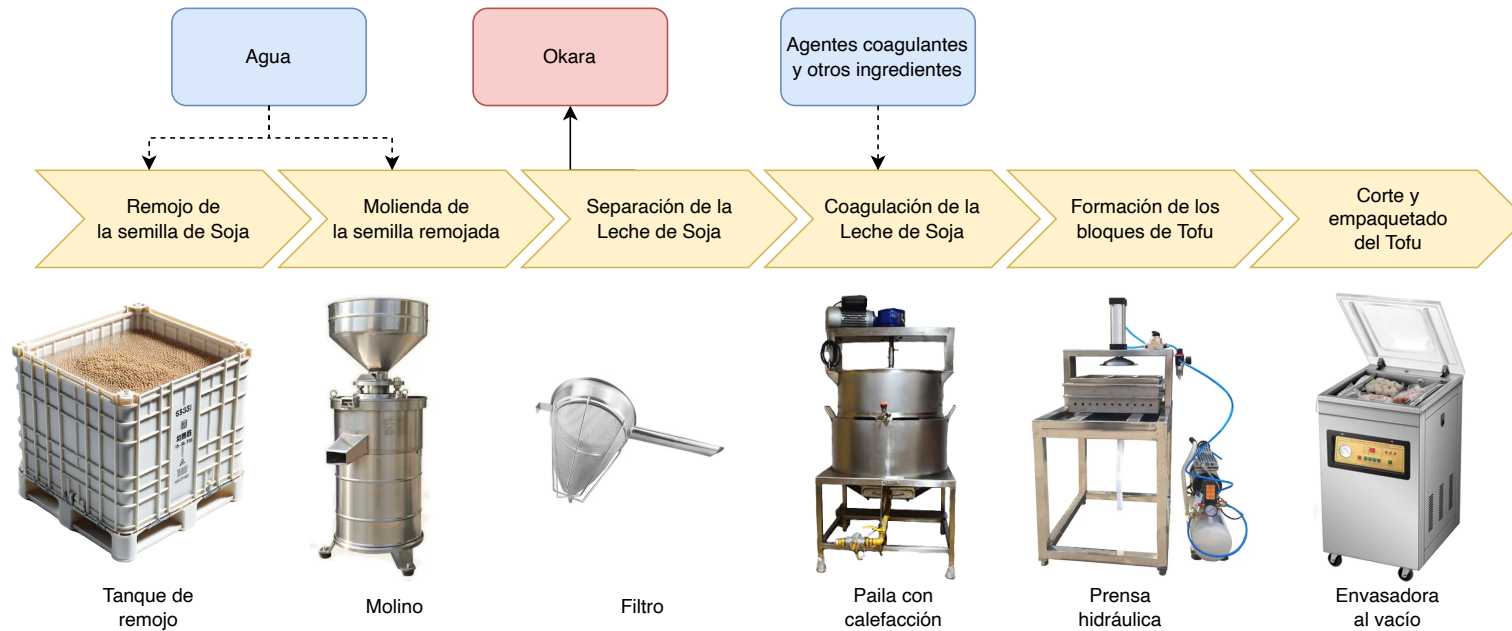


Figura 2.1: Flujograma del proceso industrial del tofu (*método Chino*) –en amarillo–, y por ende, del okara –en rojo–; utilizado por la empresa Navemas S.A., gentil proveedora de la materia prima para la Tesis. Se añade debajo del mismo una ilustración de las principales máquinas que llevan adelante las operaciones unitarias requeridas en cada paso. La imagen ilustrativa del tanque de remojo fue generada por OpenAI GPT-4, las imágenes de equipos industriales fueron tomados de los sitios web de cada proveedor: Molino y Prensa hidráulica de *Shanghai Tiangang Machine Manufacture Co., Ltd.*, Filtro manual de *Cathay Concept & Source Ltd.*, Paila con calefacción de *Ing. Eloy Alavarez*, Envasadora al vacío de *Hangzhou Jingyi E-Commerce Co., Ltd.*

Para llevar adelante el proceso anteriormente descrito, desde su inicio la empresa utilizaba exclusivamente un molino denominado “*Molino de martillo*”, con el cual obtiene *Okara de Martillo* u *OM*. Este tipo de molino consta de una cámara de molienda, martillos, un rotor y tamices. Los ingredientes se introducen a través de una tolva hacia la cámara donde el rotor, equipado con martillos. Estos martillos giran a alta velocidad e impactan los ingredientes con fuerza contra las paredes de la cámara y entre sí. Esta acción de golpeo no solo tritura el material, sino que también lo descompone en partículas más pequeñas y uniformes.

A razón de modernizar y estandarizar la línea de producción de tofu; Naturezas adquirió a principios del año 2022 un “*Molino de disco de piedra*”, con el cual se obtiene *Okara de Disco* u *OD*. El molino de disco se distingue del molino de martillo principalmente en su mecanismo de molienda, que ocurre en una cámara donde dos discos de piedra, robustos y pesados, giran en direcciones opuestas. Estos discos están ajustados con un gradiente de abertura variable que permite triturar y pulverizar eficazmente el material introducido entre ellos.

Desde un punto de vista de funcionamiento industrial, la principal diferencia entre estos molinos reside en que el primero requiere el agregado de agua en condiciones cercanas a ebullición (90°C) de forma continua, proveniente de una caldera y suministrada con una llave de bola, sumado a la recirculación de la leche de soja primaria con el okara, para lograr una correcta extracción acuosa. En el segundo molino, la mejora de eficiencia proviene de lograr una mayor concentración de solutos a partir de la misma cantidad de materia prima en una única operación de molienda en batch. Lo cual implica fijar y lograr controlar de forma exacta la cantidad de agua a utilizar en la etapa. El molino de disco posee la ventaja extra de no precisar agua caliente para moler los granos de soja, sino que puede hacerse con agua a temperatura ambiente. Este cambio en el proceso también implica que el okara extraído no habrá pasado por una etapa de calentamiento y sea posiblemente más inseguro desde un punto de vista microbiológico.

Puede verse un flujograma de estos dos molinos y sus diferencias en la Figura 2.2.

La primera etapa de la Tesis refiere a la estandarización del proceso de obtención de la leche de soja con el nuevo molino de disco, lo cual implica la estandarización de la obtención del nuevo okara.

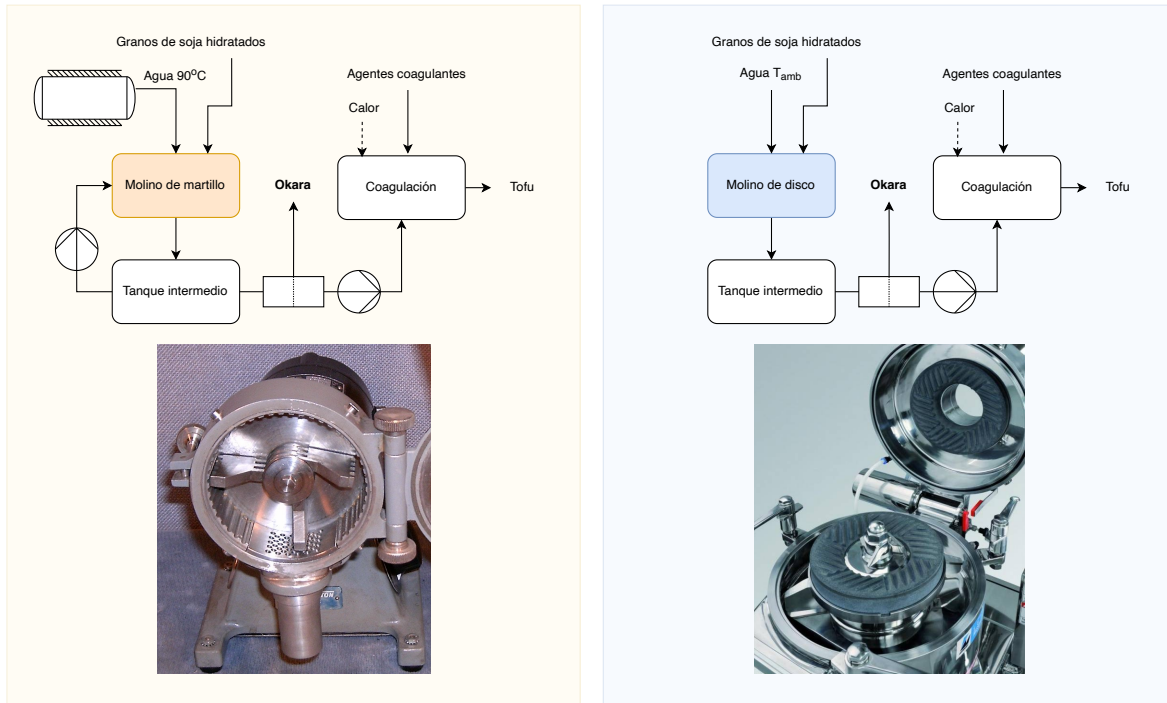


Figura 2.2: Flujograma del proceso de molienda y obtención del tofu, y por ende, del okara –en negritas–; se muestra a la izquierda el molino de martillo y a la derecha el molino de disco. La imagen del molino de martillo es ilustrativa y corresponde al fabricante Glen Creston Stanmore y fue tomada del repositorio gratuito de *Wikimedia Commons*; la imagen del molino de disco corresponde al fabricante Fusch Maschinen AG y fue tomada de un newsletter online del portal *Bulk Solids*.

2.1.2. Secado del okara

La elevada cantidad de humedad y proteína en el Okara produce una rápida descomposición de éste. Adicionalmente, los granos de soja y sus productos derivados contienen algunos factores antinutricionales, específicamente inhibidores de tripsina, que reduce la utilización efectiva de los nutrientes de la soja, aunque puede ser inactivada por tratamiento con calor (Li et al., 2012). Esto ocasiona que en general este subproducto sea direccionado como alimento para animales, quemado para obtener energía o descartado como residuo, lo cual para los volúmenes de producción industriales implica un potencial problema ambiental (Noguchi, 1984). Para superar estas limitaciones, el Okara fresco debe ser deshidratado en forma inmediata para facilitar su digestibilidad, manejo y transporte.

El uso de las operaciones de secado es ampliamente estudiado y aplicado para la conservación de alimentos. Los productos deshidratados poseen una vida útil más extendida en el tiempo, debido a su actividad de agua baja; su transporte y almacenamiento son facilitados debido a que el producto ocupa un volumen menor y se elimina la necesidad de ser refrigerado o congelado (Baker, 2011).

Las posibles desventajas del proceso de secado son las alteraciones en las cualidades sensoriales, tales como sabor, color y aroma que pueden darse, así como en sus propiedades fisicoquímicas (procesos de oxidación, pérdida de nutrientes) o funcionales (cambios en la estructura de sus proteínas). Estas alteraciones se darán en distinta medida según la intensidad y la naturaleza propia del proceso seleccionado para el secado. Para matrices complejas, particularmente matrices biológicas, los procesos de deshidratación no pueden ser representados por modelos generalizados, por lo que es necesario el estudio de las características de secado y las condiciones del proceso para obtener el producto final deseado (Perussello et al., 2012).

En todos los métodos de secado, ocurre a la vez transferencia de masa (agua) y de calor, lo que reduce el contenido de humedad del alimento y aumenta su temperatura. En

los métodos de secado más básicos convectivos, el aire caliente fluye de manera natural, o forzado por turbinas, a través o alrededor de una muestra de alimento húmedo (Curcio et al., 2008).

Aunque las características sensoriales y fisicoquímicas del okara son significativamente influenciadas con los procesos y condiciones utilizadas para su secado (Yadav, 2023); existen resultados previos positivos sobre secado conductivo por calentamiento indirecto con agitación de aire aplicado al Okara (Guimarães et al., 2020; Muliterno et al., 2017), que inicialmente se presenta en forma de grumos pegajosos, pero se desintegra en pequeñas piezas o partículas sueltas durante el secado. El Okara deshidratado en ensayos con secadores de lecho fluidizado *–jet-spouted bed dryer–*, posee cualidades aceptables en términos de color, cantidad de proteína, y particularmente se disminuye su actividad ureásica, que es un indicador indirecto de la inhibición de tripsina (Li et al., 2012).

2.2. Metodología y materiales

Los granos de soja, cosechados durante el año 2022, fueron provistos gentilmente para el desarrollo de la Tesis por NAVEMAS S.A., con nombre comercial *Naturezas*. Los granos enteros y crudos fueron utilizados en etapas primarias de estandarización del proceso industrial (Sección 2.2.1). Luego, en las demás etapas del desarrollo del trabajo de Tesis se trabajó con el okara, congelado luego de su recolección en una cámara de frío industrial a -28°C y transportados en conservadora hermética a congeladores de Facultad de Química seteados a -18°C hasta su secado y molienda (Sección 2.3.2).

2.2.1. Estandarización del proceso industrial

Durante esta primera etapa que surge debido a la compra del nuevo molino como se introdujo en la Sección 2.1.1, se trabajó principalmente en la planta física de Naturezas, ubicada en el Parque Tecnológico Industrial del Cerro; utilizando sus instalaciones, incluyendo los equipos y maquinarias industriales descriptos a continuación con el objetivo de obtener un okara de disco estandarizado que servirá como base para el resto del trabajo de Tesis.

Concentración de sólidos solubles La concentración de sólidos solubles en la leche de soja puede usarse como indicador de la eficiencia de extracción acuosa de la misma de forma directamente proporcional (Cai & Chang, 1997; Nielsen, 2014). Los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) se definen como el porcentaje en peso de sacarosa pura en solución acuosa, y es una unidad de medida que sirve para medir en general la concentración de sólidos solubles por densimetría o refractometría. En particular, se midieron los grados Brix de la leche de soja usando un refractómetro digital Nohawk BM-03.

Determinación de relación óptima porotos de soja/agua Se parte de la premisa de que el molino de Disco conseguirá una mayor homogeneidad en el tofu de la empresa,

así como un mayor rendimiento en masa de tofu partiendo de los granos de soja, lo cual fue el principal motivo para el cambio en los procesos de elaboración, esto fue estudiado en investigaciones previas de la empresa. Inicialmente, con el nuevo molino en planta, fue necesario calibrar la relación óptima de granos de soja y agua para obtener una concentración de sólidos solubles de 8,5 °Bx, el cual es un parámetro de calidad objetivo de Naturezas. Para esto, luego de realizar corridas experimentales de prueba, se generó un diseño experimental completamente al azar según Pulido, 2004 (DCA); fijándose 1kg de porotos de soja hidratados y variando la cantidad de agua en el rango 0,5L a 2L. Finalmente, se midió para cada corrida los °Bx de la leche de soja obtenida luego del filtrado.

Estandarización del okara El proceso de estandarización del okara se llevó a cabo tras determinar la relación ideal de porotos de soja y agua para el molino de disco. En tres batchs industriales independientes, que utilizaron 9kg de soja cada una, se midieron los grados brix de la leche de soja y se estableció la humedad del okara como parámetro de estandarización. Esto marcó un cambio de enfoque, cambiando el foco de aquí en adelante al subproducto en lugar del sistema leche de soja/tofu. Como se mencionó en la Sección 2.1.2, es crucial secar el okara inmediatamente después de su obtención para prevenir el deterioro microbiológico y facilitar su manipulación. Por ello, se buscó obtener el okara con la menor humedad posible usando ambos métodos. Durante esta etapa, se monitorizó la humedad del okara con una balanza de humedad por IR Radwag MA50.R. Se exploraron diversas hipótesis para reducir la humedad antes del secado, siendo las más viables la compra de una centrífuga o la utilización de la prensa utilizada para formar el tofu (Figura 2.1), dado que el tiempo y la energía requeridos para el proceso dependen directamente de la humedad inicial del material.

Se decidió explorar la viabilidad de usar la prensa sobre el okara a contraturno de la producción. Esta estrategia, asumiendo su eficiencia para reducir la humedad inicial del okara crudo, incorporaría un tiempo adicional manejable dentro de la línea

de producción. Para evaluar el impacto de este prensado, se recogieron las tres bachadas industriales mencionadas previamente junto con otras tres del molino de martillo. Estas seis muestras fueron divididas en dos partes iguales: una mitad fue prensada a máxima presión durante 5 minutos y la otra no. Finalmente, se comparó la humedad del okara crudo procedente tanto del molino de disco como del de martillo, tanto en las muestras prensadas como en las no prensadas (OM, OD, OMP, y ODP), para determinar las diferencias en los niveles de humedad.

2.2.2. Secado y molienda

Secado preliminar En una primera instancia, se trabajó en colaboración con el Grupo de Modelado de Procesos de Transferencia de calor y materia del Área de Ingeniería de procesos de la Facultad de Ingeniería, UdelaR; quienes en el marco del proyecto CSIC VUSP Mod. 2 “Revalorización de okara a través de la caracterización y desarrollo de alimentos funcionales”, cuyos responsables son el Dr. Ignacio Vieitez y la Dra. Adriana Gámbaro; ensayaron los parámetros de velocidad y tiempo de secado en un secador tipo túnel con flujo de aire paralelo, a una velocidad constante de 1 m/s.

Las experiencias se realizaron a 75, 90 y 105°C por duplicado hasta lograr una humedad menor al 8 %, valor máximo exigido para la harina de soja por el Reglamento Bromatológico Nacional (Uruguay, 2012a). En todos los casos se utilizó una bandeja metálica de 15 cm de diámetro, y se cargó con okara fresco (OM y OD) hasta un espesor de 0,5 cm (Aproximadamente 75 g). Durante las corridas experimentales se registró la variación de la masa con el tiempo mediante una balanza (Ohaus, Adventure) en forma continua, se registró temperatura y humedad relativa del aire de secado (con un medidor VAISALA HM70 y una sonda HMP77) y la velocidad de aire (con un anemómetro TSI VelociCheck, modelo 8330).

Estos resultados, en combinación con la carga microbiológica, y otras consideraciones que se plantean en la discusión (Sección 2.3.2) determinaron una temperatura

de secado del okara de 105°C para continuar con el desarrollo experimental.

Secado de muestras: Escala piloto Una vez determinada la temperatura de secado, las muestras fueron sometidas a este proceso en un horno eléctrico de mesa Cuori Verona hasta alcanzar una humedad final aproximada de 8 %; en una bandeja metálica de 27x20 cm², con una capa de espesor de 0,5cm para ambos tipos de okara, disco y martillo. Se siguió a modo de control el tiempo de secado; cada 20 minutos se retiró la bandeja para homogeneización de humedad y control de peso, disminuyendo el intervalo de tiempo arbitrariamente al acercarse al final de la corrida.

Se determinó el final del proceso de secado según la Ecuación 2.1, al obtener una masa final del sistema bandeja-okara (m_{tf}) dada, calculada en función de la masa inicial de muestra (m_i) y las humedades en base húmeda objetivo (χ_{wbf}) e inicial (χ_{wbi}), esta última se determinó para cada ensayo de la misma forma que en la Sección 2.2.1, y se prosiguió de la misma forma para corroborar que la humedad se encontraba debajo del 8 % al finalizar una corrida. Esta relación se deduce en el Anexo A.2.

$$m_{tf} = m_i(1 - \chi_{wbi}) \left(1 + \frac{\chi_{wbf}}{1 - \chi_{wbf}} \right) \quad (2.1)$$

Molienda El okara seco se molió en un molinillo de especias Peabody Mc9100 doméstico, en tandas de entre 100-150g (volumétrico), durante 3 intervalos de 30 segundos. Entre cada intervalo, se homogeneizó el material en el recipiente de molido con una cuchara. Los ODS y OMS fueron obtenidos luego de ser tamizados con un tamaño de partícula tal que atraviesan un tamiz de 500 μ m (Detallado en Anexo B.1) utilizando un juego de tamices estandarizados VWR Scientific Products.

Las muestras secas y molidas fueron fraccionadas en 250g, en bolsas de polipropileno, selladas con calor, y guardadas en un armario exclusivo, fresco y seco hasta su utilización posterior.

2.2.3. Carga microbiológica

Por tratarse de un subproducto que se planea consumir como alimento, tanto el okara fresco como el okara seco obtenido bajo las temperaturas de 75 y 105°C. fueron analizados según el reglamento en ejecución CE 2073/2005 y 1441/2007 de la Unión Europea para harinas y sémolas por considerarse alimentos de relativa similaridad al secarse y dada la falta de especificación nacional para definir la calidad microbiológica de las muestras de okara. Se determinó realizar los siguientes ensayos microbiológicos: recuento total de aerobios mesófilos (ISO 4833-2013), hongos totales (VAM cap. 4), levaduras y coliformes totales (APHA 2001 cap 20), *Salmonella* spp (ISO 6579:2017) y *Listeria Monocytogens* (ISO 11290-1:2017), a través de un laboratorio de control de calidad microbiológica de forma tercerizada.

2.2.4. Composición proximal

Las muestras de okara, tanto frescas como secas y de cada molino fueron caracterizadas en pos de responder las siguientes preguntas: ¿Es el nuevo sistema de molino de disco una buena adquisición? y ¿Qué sabemos de la materia prima propuesta para el trabajo de maestría? En este contexto, se debe recordar que el okara es el subproducto de una línea de interés económicamente viable, por lo tanto, los resultados de la primera pregunta no son los mismos de la pregunta *¿Es el okara de disco mejor que el okara de martillo?* Esta última pregunta es inherente al trabajo de Tesis pero no es de interés industrial.

El análisis de composición proximal se utiliza para determinar las cantidades de proteína, lípidos, agua, cenizas y carbohidratos en cualquier muestra alimentaria u orgánica en general (Thangaraj, 2015). Las proteínas, lípidos y carbohidratos digeribles contribuyen a la densidad energética de los alimentos, estos últimos resultan de la resta entre los carbohidratos totales y la fibra alimentaria, razón por la cual se determinó la fibra total en esta sección. El agua y las cenizas (contenido mineral) desde un punto de

vista composicional solo agregan masa al alimento.

Dado que diferentes bachadas de okara podrían tener diferente cantidad de agua, especialmente en el caso del okara de martillo, y en particular, para comparar nuestros resultados con otros disponibles, fue conveniente expresar todas las propiedades (a_{wb}) en *base seca* (a_{db}) la cual será invariable con la humedad (χ), y permitirá comparaciones composicionales entre ambos molinos utilizados. Para esto se utilizará la relación de la Ecuación 2.2, la cual se explica en detalle en el Anexo A.1.

$$a_{wb} = a_{db} \times (1 - \chi) \quad (2.2)$$

Contenido de Humedad Para determinar el contenido de humedad de las muestras se siguió el método descrito por Gardner, 2018, se colocaron 5g de okara por triplicado en placas inertes metálicas previamente pesadas, y se llevaron a una estufa convencional a $110^{\circ}C$. Se determinó el contenido de humedad ($\% \chi$) como el porcentaje de la masa inicial que queda de la diferencia entre la masa inicial (m_o) y la masa final, es decir, aquella que se mantiene estable en el tiempo en dos intervalos consecutivos de 1 hora ($m_{\theta \rightarrow \infty}$) (Ecuación 2.3).

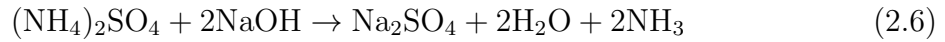
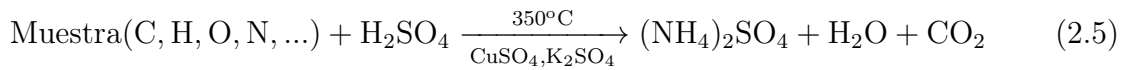
$$\% \chi = \frac{m_o - m_{\theta \rightarrow \infty}}{m_o} \times 100 \quad (2.3)$$

Contenido de Cenizas Se determinó el contenido de cenizas totales por el método oficial AOAC 900.02A (AOAC et al., 2012). 3g de muestra por triplicado fueron colocados en crisoles de cerámica inértres previamente pesados (m_{crisol}) e incinerados en campana hasta lograr una carbonización completa de las mismas – de forma de evitar proyecciones por cambios bruscos de temperatura debido al contenido de agua en las muestras y otros volátiles – a continuación se colocaron en una mufla a $550^{\circ}C$ durante 8 horas, donde todas las sustancias orgánicas se incineran en presencia del oxígeno del aire dando como resultado CO_2 y óxidos de N_2 y se determinó la masa muflada (m_{mufla})

esta diferencia se relaciona con la masa de muestra ($m_{muestra}$) según la Ecuación 2.4.

$$\%C_{wb} = \frac{m_{muff} - m_{crisol}}{m_{muestra}} \times 100 \quad (2.4)$$

Contenido de Proteínas El contenido de proteínas se determinó utilizando el método de Kjeldahl - AOAC 970.02 (AOAC et al., 2012). Se mineralizó por triplicado el nitrógeno orgánico en 1g de muestra en ion amonio con ácido sulfúrico concentrado y catalizadores (Ecuación 2.5). El amonio obtenido es neutralizado con hidróxido de sodio, dando como resultado amoníaco que es destilado por arrastre con vapor y recogido en una solución de ácido bórico en exceso (Ecuaciones 2.6 y 2.7). El ion borato formado en la recolección es retrovalorado con una solución conocida de ácido clorhídrico (Ecuación 2.8) y finalmente se calculan los moles de nitrógeno en la muestra con un factor ($F_{P/N}$) tabulado que relaciona gramos de proteína húmeda en función de los gramos de nitrógeno orgánico 2.9. Para el okara se seleccionó 5,52 como dicho factor, por tratarse de proteínas provenientes de la soja (Nielsen, 2014).



$$\%P_{wb} = \%N \times F_{P/N} \quad (2.9)$$

Contenido de Lípidos Para determinar el contenido de lípidos totales se siguió el método descrito por Hara y Radin, 1978 modificado, las muestras de okara fueron puestas en contacto estrecho con una mezcla de solvente Hexano:Isopropanol (3:2 v/v), en una relación masa de muestra:solvente (1:15 m/v). Las muestras fueron homogeneizadas en equipo Vortex por dos minutos, agitadas magnéticamente por 1,5 horas y centrifugadas a 3000rpm. La fase líquida fue extraída a un balón de fondo redondo y luego de dos enjuagues – donde se añadió 5 mL de solvente, agitación por Vortex y centrifugación – se rotaevaporó el solvente y se determinó el contenido de grasa en base húmeda restando la masa del balón rotaevaporado (m_{Rot}^b) a la masa de balón inicial (m_o^b) y relacionando esta cantidad con la masa de muestra inicial ($m_{muestra}$) (Ecuación 2.10).

$$\%L_{wb} = \frac{m_{Rot}^b - m_o^b}{m_{muestra}} \quad (2.10)$$

Contenido de Fibra Dietética La fibra dietética total fue medida por el método Prosky - AOAC 985.29 (AOAC et al., 2012) modificado de la siguiente forma: 1 g de muestra es suspendida en buffer fosfato pH 6,0 por sextuplicado, luego la misma es gelatinizada con α -amilasa y digerida enzimáticamente con *proteasa* y *amiloglucosidasa* ajustando el pH en cada etapa, para eliminar la proteína y el almidón presentes en la muestra. Se añade etanol para precipitar la fibra dietética soluble y el residuo es filtrado y lavado con etanol y acetona. Luego del secado, se pesa el residuo (m_{res}). La mitad de las repeticiones son analizadas para determinar el contenido de proteína por el método de Kjeldahl (m_{Prot}) y la otra mitad se incinera para determinar el contenido de cenizas (m_{cen}). La fibra dietética total ($\%F_{wb}$) se determina con la diferencia entre la diferencia del peso de los residuos con el peso de la proteína y cenizas, y posteriormente relacionándolo con el promedio de las dos masas de muestra que dan estos datos ($\bar{m}_{muestra}$) (Ecuación 2.11). Se puede ver un resumen detallado de la técnica en la Figura 2.3.

$$\%F_{wb} = \frac{m_{res} - (m_{Prot} + m_{cen})}{\bar{m}_{muestra}} \quad (2.11)$$

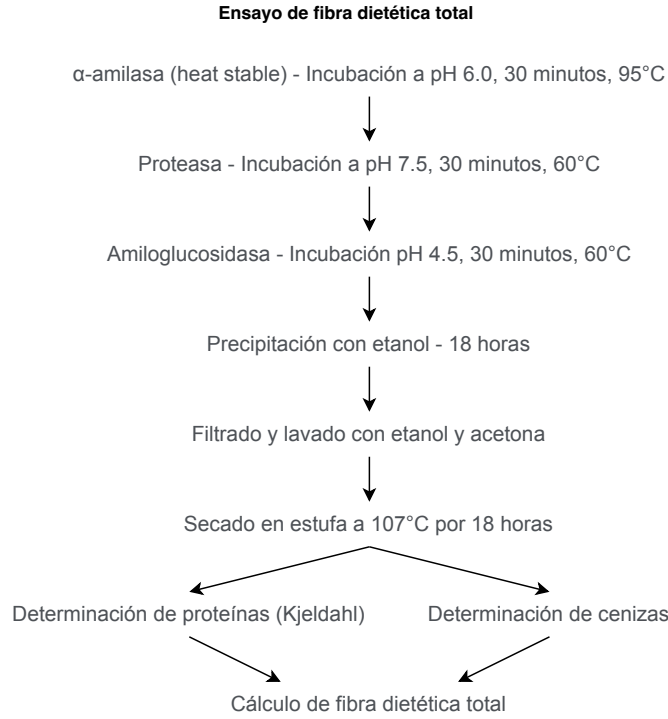


Figura 2.3: Esquematzación del ensayo de fibra dietaria total. Adaptado y traducido de la técnica oficial AOAC 985.29 (AOAC et al., 2012).

Contenido de Carbohidratos digeribles El contenido de carbohidratos digeribles en base seca de las muestras (CH_{db}^{dig}) fue determinado por diferencia entre el total de la masa y la suma de las medias del contenido de proteínas (P_{db}), fibra dietética total (F_{db}), lípidos totales (L_{db}) y cenizas (C_{db}) expresados en base seca, debido a que podemos considerar el aporte a la masa total de los micronutrientes como despreciable (Nielsen, 2014, Ecuación 2.12).

$$1 = CH_{db}^{dig} + P_{db} + F_{db} + L_{db} + C_{db} \quad (2.12)$$

2.2.5. Otras determinaciones fisicoquímicas

Como complemento a la caracterización proximal, se determinó el contenido de polifenoles totales, perfil lipídico, rancidez oxidativa, color instrumental y actividad ureásica con el objetivo de determinar un perfil de producto más completo.

Contenido de polifenoles totales Como se introdujo en la Sección 1.2.1, resulta de interés caracterizar la materia prima local en su contenido de polifenoles totales, metabolitos con amplias propiedades benéficas demostradas para el organismo incluyendo su acción anti diabética, anti inflamatoria, anti hipertensiva y actúan con cambios benéficos en las enfermedades cardiovasculares, y dolores gastrointestinales (Rasouli et al., 2017). La concentración de polifenoles totales se siguió por el método propuesto por Slinkard y Singleton, 1977, el cual consiste en una reacción de reducción/oxidación (REDOX) entre los polifenoles presentes en una muestra y el reactivo de Folin Ciocalteu (Figura 2.4). Los extractos para análisis fueron obtenidos con una concentración de 10 % (masa/volumen) utilizando como solvente una mezcla metanol:agua (80:20). La extracción se realizó en tubos falcon con agitación magnética a temperatura ambiente durante 1 hora. Los extractos fueron centrifugados a 4500 rpm por 15 minutos y el sobrenadante fue filtrado utilizando una membrana de fluoruro de polivinilideno (PVDF) de 0.45 μ M. La reacción REDOX se midió por espectrofotometría UV-Vis a 750 nm por quintuplicado y los resultados se interpolaron de una curva de calibración con patrón de ácido gálico, informando g GAE / 100g de muestra seca.

Perfil lipídico La determinación de la composición en ácidos grasos del aceite obtenido de las diferentes muestras de okara se realizó mediante previa derivativización de los aceites según el procedimiento IUPAC 2.301 (Paquot, 1979), en la misma, se generan ésteres metílicos de la reacción de los aceites con hidróxido de potasio metanólico y se analizaron los mismos según AOCS Ce 1c-89, AOCS Ce 1f-96 (Firestone, 1998), utilizando un equipo marca Shimadzu modelo 2014 equipado con detector FID y provisto

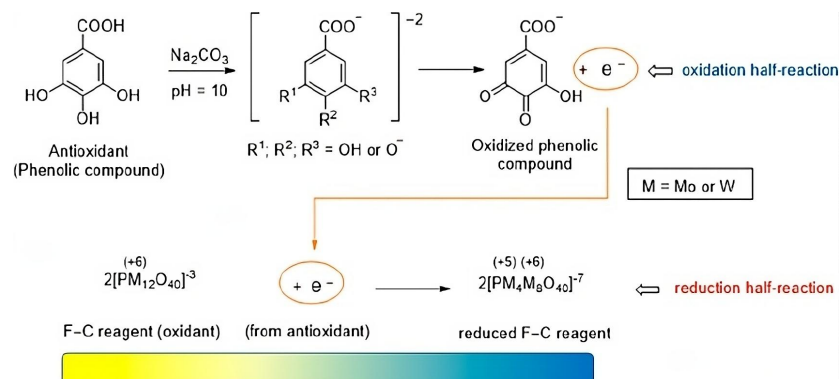


Figura 2.4: Reacción redox general del método de Folin-Ciocalteu. Las moléculas objetivo son oxidadas con una solución de carbonato de sodio y los electrones liberados reducen el reactivo de FC produciendo un cambio de coloración del amarillo al azul oscuro. Imagen tomada de Pérez et al., 2023.

con una columna capilar Supelco SP-2560 de 100 metros de largo. Para la identificación de los picos se utilizó el estándar 189-19 de Supelco con los ésteres metílicos de los ácidos grasos de interés para el análisis.

Rancidez oxidativa La rancidez oxidativa es una de las causas más frecuentes de deterioro de alimentos con matrices ricas en ácidos grasos poliinsaturados (Velasco et al., 2010). El daño oxidativo de los lípidos en los alimentos puede afectar su sabor, textura y valor nutricional, y también puede tener implicaciones para la salud humana. Por lo tanto, la evaluación de la oxidación de los lípidos en los alimentos es importante para garantizar la calidad y seguridad alimentaria. Se seleccionó el análisis de TBARS (*Thiobarbituric-acid reactive species*) para estudiar la oxidación de los lípidos del okara. La técnica TBARS se utiliza en la investigación con diversos alimentos, como aceites vegetales, carne, pescado, productos lácteos, nueces, etc (Ghani et al., 2017). En este ensayo, la muestra se trata con ácido tricloroacético (TCA) para precipitar las proteínas y liberar los lípidos. Luego, se agrega una solución de ácido tiobarbitúrico (TBA) y se calienta a alta temperatura para inducir la reacción de formación del complejo MDA-TBA (Fernández et al., 1997, Figura 2.5).

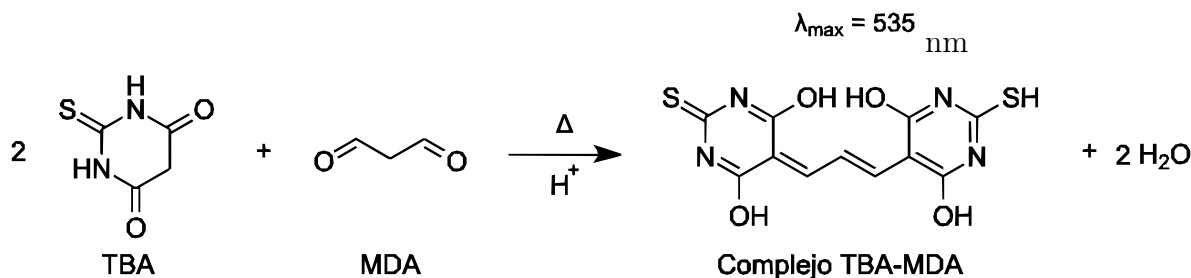


Figura 2.5: Reacción principal del ensayo de TBARS, dos moléculas de TBA reaccionan endotérmicamente con MDA (producto principal de la oxidación secundaria de los ácidos grasos insaturados) en medio ácido para producir un complejo coloreado TBA-MDA que posee una absorbancia máxima en longitud de onda de 535nm.

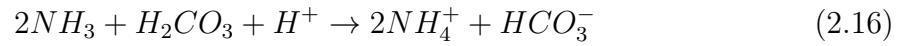
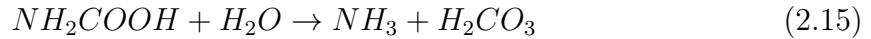
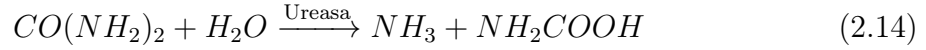
El MDA se genera como un producto de oxidación secundaria de los lípidos poli-insaturados. En presencia de TBA y altas temperaturas, el MDA reacciona con el TBA para formar un complejo de color rojo o rosado que puede ser detectado y cuantificado espectrofotométricamente. El ensayo se realizó por triplicado y para los cálculos, se asume que se cumplen las hipótesis de la ley de Lambert-Beer, y se obtiene la concentración del complejo de la muestra utilizando la Ecuación 2.13. En nuestras condiciones de trabajo podemos asumir que $\epsilon_{\text{MDA}} = 157000 \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Du & Bramlage, 1992) y que $b = 1 \text{cm}$.

$$A = \epsilon * b * C \begin{cases} A = \text{absorción registrada (adimensional)} \\ \epsilon = \text{coeficiente de extinción molar (M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}) \\ b = \text{longitud de paso de la cubeta (cm)} \\ C = \text{concentración que deseamos obtener (M)} \end{cases} \quad (2.13)$$

Color instrumental Los parámetros de color instrumental L^*a^*b de las diferentes muestras de okara colocadas en placas de Petri fueron analizados con un colorímetro Konica Minolta CM-2300d tomando 10 mediciones en posiciones arbitrarias en la

superficie de una placa de petri conteniendo una submuestra representativa de cada muestra.

Actividad ureásica Se utilizó el método AACC Method 22-90 - Determinación de la actividad ureásica (AACC, 2000), como seguimiento de la actividad anti-tripsina. En este, la muestra finamente molida se suspende en un buffer fosfato (pH 7,0) y se incuba a 30°C durante 30 minutos con una solución de urea junto con un blanco. Al finalizar el tiempo, se mide el pH del blanco y de la muestra y se registra el cambio de pH promovido por la descomposición de la urea según las Ecuaciones 2.14, 2.15 y 2.16. En el primer paso, la urea se descompone en amoníaco y carbamato gracias a la acción de la enzima ureasa. Luego, el carbamato se descompone espontáneamente en amoníaco y ácido carbónico; finalmente los productos se equilibran con un aumento de pH en la solución (Krishnan et al., 2023).



2.2.6. Caracterización sensorial

Debido a los resultados microbiológicos de las muestras de okara húmedo, se realizó solamente la caracterización sensorial de las muestras de okara seco.

El panel de jueces sensoriales estuvo integrado por 8 personas de entre 25 y 61 años con experiencia previa (mínimo 250 horas) en pruebas discriminativas y en la evaluación de diversos alimentos mediante análisis descriptivo. Para generar los descriptores, a cada

juez se le presentaron individualmente muestras de okara de martillo secas y de okara de disco secas. Los jueces escribieron los descriptores que diferenciaban las muestras y a través de una discusión abierta con el líder del panel se acordaron los términos a utilizar. Se seleccionaron para describir las muestras de okara seco los siguientes atributos: color, intensidad de olor, crocancia, sequedad, intensidad de sabor, sabor a soja, sabor amargo y persistencia de sabor. Para la evaluación, 30 g de cada muestra (OMS y ODS) fueron servidas a los 8 jueces por duplicado, en platillos de cerámica blancos siguiendo un diseño completamente al azar. Se midió la intensidad de los atributos seleccionados con una escala no estructurada de 10 cm con los extremos “Poco” y “Mucho”, excepto para color, donde se utilizaron los extremos “Claro” y “Oscuro”. Se utilizó agua sin gas y galletas sin sal como borradores. Todas las pruebas se realizaron en un laboratorio sensorial diseñado según ISO 8589:1988.

2.2.7. Ejemplo de aplicación: Bifes de tofu empanados

En el marco del trabajo hacia una economía circular de la empresa NAVEMAS S.A. que elabora leche de soja y tofu, obteniendo okara como subproducto, se decidió estudiar la posibilidad de utilizar el okara como sustituto total o parcial de pan rallado en el rebozado de un producto que la empresa ofrece al mercado: filetes de tofu rebozados congelados para cocer por frito u horneado.

Descripción de producto El producto actual comercializado por la empresa consiste en un filete de tofu de 10 x 6,5 cm² superficie y 1 cm de altura. El mismo posee una masa de 75 g en promedio y es sumergido en una suspensión de almidones formulada con 400 g de fécula de mandioca, 35 g de harina de garbanzo y 35 g de sal por cada litro de agua. Posteriormente, se pone en contacto íntimo con una mezcla seca compuesta por 89 % pan rallado, 8 % de semillas de lino y sésamo en iguales proporciones y el restante 3 % de ajo en polvo, orégano y tomillo en iguales proporciones. Los filetes

empanados tienen una masa promedio de 100 g y son empaquetados y congelados en un túnel de congelación a -30°C . Finalmente, se mantienen a -18°C para su venta.

Proceso de obtención del producto El producto en el marco de esta Tesis se obtuvo realizando el mismo procedimiento que el utilizado por la empresa para la producción de los filetes de tofu rebozados congelados, sustituyendo total o parcialmente el pan rallado por okara.

Todos los ensayos referidos al diseño de producto se realizaron con el okara de disco debido a que esta metodología fue seleccionada por la empresa debido a la mejora del rendimiento de obtención de tofu de 55 % (1,4 g de tofu por gramo de semilla de soja en el molino de disco contra 0,9 g de tofu por gramo de soja en el molino de martillo).

El ODS fue molido y tamizado por un diámetro de 500 μm , tamaño equivalente al 96 % del pan rallado utilizado por la empresa (Anexo [B.1](#)).

El diseño experimental de la obtención de los filetes rebozados consistió en un factorial completo de un factor (cantidad de sustitución de pan rallado por okara) con 5 niveles (0, 25, 50, 75 y 100 %) según Pulido, [2004](#). Los filetes obtenidos fueron cocidos en forma unitaria y en orden aleatorio por inmersión en 2 litros de aceite de girasol alto oleico a $180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 2,5 minutos cada uno.

Caracterización sensorial El panel de jueces sensoriales estuvo integrado por los 8 jueces que caracterizaron previamente al okara seco. Para generar los descriptores apropiados para llevar a cabo el análisis descriptivo, a cada juez se le presentaron individualmente muestras de los filetes con diferente porcentaje de sustitución de pan rallado por okara, previamente cocidos como se indicó en el párrafo anterior. Los jueces escribieron los descriptores que diferenciaban las muestras y a través de una discusión abierta con el líder del panel se acordaron los términos a utilizar. Se seleccionaron para describir las milanesas los siguientes atributos: color, intensidad de olor, crocancia, firmeza, humedad, intensidad de sabor, sensación grasa en boca y sabor ácido.

Para la evaluación, un cuarto de cada filete de las muestras 0, 25, 50 75 y 100 % de aproximadamente 25 g, fueron servidas por duplicado en platillos de cerámica blancos a los 8 jueces siguiendo un diseño completamente al azar. Se midió la intensidad de los atributos seleccionados con una escala no estructurada de 10 cm con los extremos “Poco” y “Mucho”, excepto para color, donde se utilizaron los extremos “Claro” y “Oscuro”. Se utilizó agua sin gas como borrador. Todas las pruebas se realizaron en un laboratorio sensorial diseñado según ISO 8589:1988.

Caracterización fisicoquímica Se determinó la absorción de aceite durante el frito comparando grasa total del bife, previa y posteriormente a la fritura en los niveles 0 y 100 % de sustitución con okara, con la misma técnica de extracción reportado en la Sección 2.2.4 utilizando la mezcla de solventes hexano/isopropanol (3/2 v/v) (Hara & Radin, 1978)

2.2.8. Estabilidad temporal

T. K. Singh y Cadwallader, 2002 destacan que para comprender la vida útil esperada de un alimento, es fundamental conocer las reacciones microbiológicas, enzimáticas, sensoriales y fisicoquímicas que ocurren simultáneamente en cualquier matriz. Comenta que es necesario identificar los mecanismos responsables del deterioro o la pérdida de características deseables como textura, sabor, olor o nutrientes. Los cuatro factores críticos de este fenómeno son: la formulación, el procesamiento, el envasado y las condiciones de almacenamiento.

Aunque estos factores pesan de forma distinta según el tipo de alimento, se espera que un alimento deshidratado y conservado en condiciones adecuadas pueda ser edible entre 6 meses y 3 años luego de su manufactura, siendo la absorción de agua y el enranciamiento los limitantes en este tipo de productos (T. K. Singh & Cadwallader, 2002).

En particular, en Montevideo, de los 65.000 productos registrados en el Servicio de Regulación Alimentaria (Intendencia de Montevideo, 2024), aplicando filtros de búsqueda para productos envasados en bolsa y que pertenezcan a capítulos del RBN de relativa similaridad al okara deshidratado, se obtienen 5.500 productos con una vida útil entre 12 y 36 meses. Estos productos incluyen las palabras “polvo”, “harina”, o algún cereal en su nombre (Se explica cómo se concluye esto en el Anexo R.9). Dado estos hechos, se estableció la hipótesis de una estabilidad del okara seco de al menos 18 meses.

Como no se contaba con un control fresco para cada punto de muestreo, por la variabilidad propia de la materia prima y el tiempo que insume la tarea, se decidió evaluar de forma más laxa la estabilidad temporal en lugar de la vida útil de las muestras del okara de disco y martillo. Para ello, las muestras originales fueron guardadas en un lugar fresco y seco durante 18 meses, tiempo usual de la vida útil de materias primas con humedades bajas. Se controló su humedad y se repitió el ensayo de rancidez oxidativa (TBARS) en los tiempos 9 y 18 meses.

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Estandarización del proceso industrial

Como primer resultado, se determinó para el nuevo molino de disco la relación ideal de la proporción agua/porotos de soja hidratados en 1,01 L/kg. La misma se obtuvo por interpolación en una curva de ajuste cuadrática con R^2 de 0,96 (Figura 2.6), buscando como objetivo la leche de soja con 8,5°Bx, parámetro de calidad de la empresa.

Esta relación fue corroborada utilizando bachadas industriales de 9kg de granos de soja hidratados, cantidad unitaria conocida como “saco”.

El resultado del análisis de humedad del okara de tres bachadas industriales independientes dio un resultado promedio de $(81,0 \pm 2,1) \%$ para el OM y $(69,2 \pm 6,0) \%$

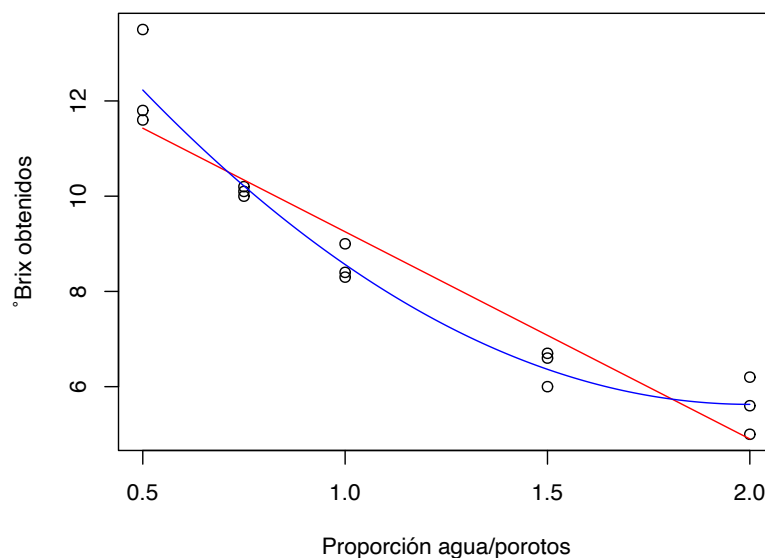


Figura 2.6: Representación gráfica del resultado del ensayo °Bx vs proporción kg agua/kg de porotos de soja hidratados. Se muestra el ajuste lineal ($R^2 = 0,88$) y ajuste cuadrático ($R^2 = 0,96$) en rojo y azul respectivamente. Se determinó la proporción ideal en 1,01kg/kg. (Anexo [R.4](#))

para el OD. El resultado es acorde a lo esperado, debido a que en ambos casos, los granos de soja se ponen en contacto estrecho con agua durante 16 horas previo a su molienda, la cual también se realiza con agua en forma continua (Figuras [2.1](#) y [2.2](#)).

En cuanto a la viabilidad del prensado (Figura [2.7](#)), el OM demostró una disminución de humedad significativa ($p < 0,05$) de 81 a 76 % y el OD en cambio, se mantuvo prácticamente sin cambios en su valor de humedad. Sin embargo, luego de una discusión de resultados con los encargados técnicos de Naturezas, se decidió no agregar la etapa de prensado en el okara de martillo a pesar de haber disminuído la humedad en un 5 %, por entenderse que el beneficio no es tal como para justificar rearmar el flujo de trabajo en la empresa y previendo que el molino de disco sustituiría al molino de martillo en un futuro cercano para el total de la producción de tofu.

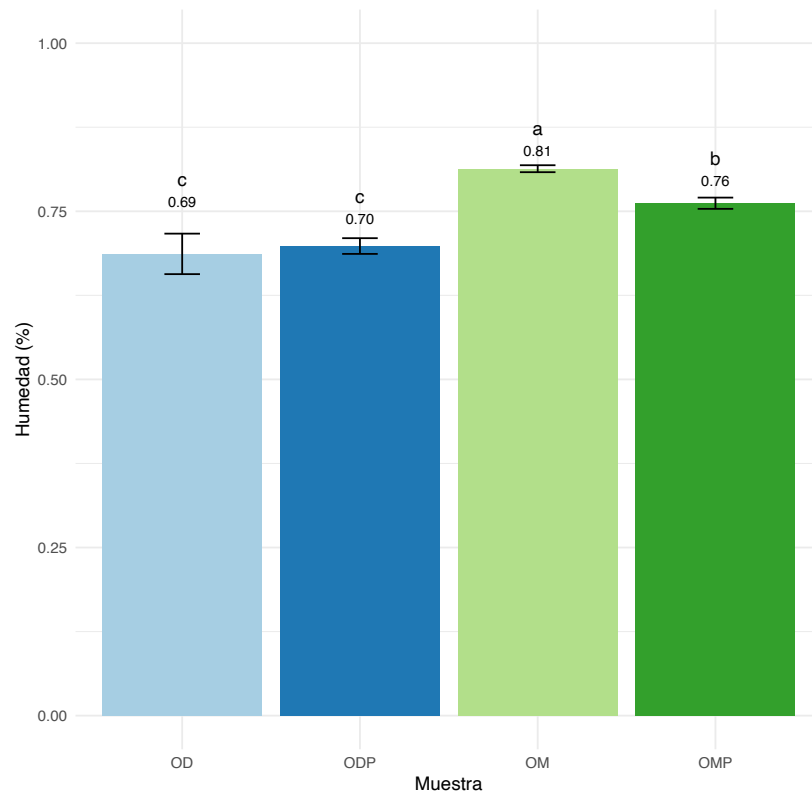


Figura 2.7: Representación gráfica del resultado del ensayo de determinación de humedad del okara en función del método de obtención. Los resultados se muestran como la media $\pm$ 2 veces su desviación estándar, $n=3$. Barras que comparten una misma letra no muestran diferencia significativa según el test de Tukey ($p > 0,05$) O: Okara, D: Disco, M: Martillo, P: Prensado. (Anexo [R.5](#))

2.3.2. Secado y molienda

Como se muestra en el Cuadro 2.1, de forma predecible, el tiempo de secado disminuye con el aumento de temperatura para una misma muestra; sin embargo, teniendo en cuenta las humedades iniciales del OD ($69,41 \pm 0,64$) % y OM ($82,06 \pm 0,49$) % ; se esperaba que el tiempo de secado para el OD sea menor en comparación con el OM fijando una misma temperatura. Por el contrario, el secado de OD presentó tiempos de secado mayores que el secado de OM en todas las temperaturas. La Figura 2.8 presenta una explicación para este fenómeno, el OD es una pasta más compacta y el OM presenta una estructura menos densa y más granular; estas características generan en el caso del OM una mayor superficie de contacto con el aire que el OD, lo cual genera una mayor velocidad de secado y menores tiempos de procesamiento (además de una dispersión menor) en la muestra más húmeda.



Figura 2.8: Fotografía del okara fresco de martillo (izquierda) y de disco (derecha)

2.3.3. Carga microbiológica

En cuanto a la carga microbiológica de los microorganismos patógenos *Listeria monocytogens* y *Salmonella spp.*, se verificó su ausencia en 25g de las muestras frescas. Luego, los resultados de microorganismos aerobios mesófilos totales, hongos, levaduras y coliformes totales, expresados en UFC/g (Cuadro 2.2) son por lo general altos, y aproximadamente un orden de magnitud más altos en las muestras de Disco que en las

Tabla 2.1: Tiempo de secado requerido para obtener okara deshidratado con un contenido de humedad de 8 % (b.h.) a partir de una muestra con 0,5cm de espesor en una bandeja de 15cm de diámetro. Se muestran los resultados en horas ± 2 veces la desviación estándar. Esta tabla se obtuvo en el marco del proyecto CSIC VUSP Mod. 2 “Revalorización de okara a través de la caracterización y desarrollo de alimentos funcionales”, en los laboratorios del área Ingeniería de Procesos de FING.

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
OD	75	8,05 $\pm$ 1,32
	90	4,76 $\pm$ 0,54
	105	3,27 $\pm$ 0,28
OM	75	2,56 $\pm$ 0,18
	90	2,07 $\pm$ 0,10
	105	1,59 $\pm$ 0,08

muestras de Martillo. Esto es debido a que los granos de soja son hidratados durante muchas horas en un mismo cuerpo de agua, lo cual permite la proliferación de microorganismos genéricos y en particular, el OM es molido utilizando agua en condiciones cercanas a ebullición (Figura 2.2) con recirculación, lo cual disminuye naturalmente la carga.

Tabla 2.2: Resultados del análisis microbiológico de las muestras frescas

Muestra	Aerobios mesófilos (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Coliformes totales (UFC/g)
OM	1,50E+07	<100	6,00E+02	1,30E+05
OD	7,50E+08	3,50E+03	1,20E+04	1,90E+05

Si bien no existe reglamentación sobre los límites microbiológicos máximos explícitos para okara fresco, por lo general se entiende que un producto con cargas de 1E+08 en aerobios mesófilos y por encima de 1E+03 en hongos y/o levaduras no es apto para el consumo (Stannard, 1997), debiendo de forma obligada realizarse un proceso de cocción en el mismo para ser consumido. Por esta razón, no se analizaron sensorialmente las muestras frescas de okara.

En el Cuadro 2.3, se pueden ver las disminuciones logarítmicas logradas (órdenes de magnitud disminuías) con el proceso de secado a 75 y 105°C. Se seleccionó la temperatura de 105°C para trabajar durante el resto del trabajo de Tesis debido a que las muestras obtenidas a esta temperatura son seguras para su consumo según el reglamento en ejecución CE 2073/2005 y 1441/2007 de la Unión Europea para harinas y sémolas, que se consideran similares en forma y macro composición (Moragas et al., 2019). Además, los tiempos de secado a esta temperatura son considerablemente menores que a las temperaturas de 75 y 90°C; por lo cual se ataca inocuidad y escalabilidad con esta decisión.

Tabla 2.3: Resultados microbiológicos luego del proceso de secado (reducción logarítmica). Valor absoluto más alto implica una mayor reducción de la carga microbiológica. Casilleros en blanco implica que el procesamiento disminuye la carga por debajo del límite de cuantificación.

Muestras	Aerobios mesófilos (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Coliformes totales (UFC/g)
OM 75	-0,55			
OD 75	-2,65	-0,85		-0,70
OM 105	-4,18			
OD 105	-5,62	-1,54		-3,28

2.3.4. Caracterización de las materias primas

Los resultados de la composición proximal de las muestras se pueden observar gráficamente en la Figura 2.9; las muestras provenientes del molino de martillo y disco (OM y OD respectivamente) presentan un perfil nutricional diferenciado ($p < 0,05$), siendo la muestra OM más rica en proteínas y fibra dietética total; y con un contenido lipídico ligeramente menor. Las mismas tendencias se mantienen entre las muestras OMS y ODS respectivamente. Expresado en base seca, no hay cambios significativos en la composición fisicoquímica de los pares (OM,OMS) y (OD,ODS), lo cual se visualiza mejor en la Figura 2.9.

Los resultados de la composición proximal de estas muestra de okara uruguayo son comparables con aquellos presentados en el Cuadro 1.1 compilados a partir de Li et al., 2012, pertenecientes a diferentes regiones del mundo, destacándose una cantidad más alta de proteínas 29-34 % que lo reportado en otros países como China (24-27 %), Filipinas (27 %), India (25 %) y Portugal (28 %) (Azanza & Gascon, 2015; OToole, 1999; Sengupta et al., 2012; Voss et al., 2018). Tomando como referencia a los mismos autores, el okara uruguayo posee más materia grasa 16-18 % frente a un 9-15 % reportado en esos mismos países. Sin embargo, la concentración de fibra aparece bastante variable en las distintas referencias, 34-40 % para Uruguay, 14-53 % para China, 20 % en India, 34 % en Portugal y hasta 57 % en Filipinas. Estos resultados son coherentes con el estudio de Grieshop y Fahey, 2001, donde se compara el perfil nutricional de la soja de Brasil y China. Si bien se reporta una cantidad de proteínas ligeramente mayor para la soja de China, también esta tiene una solubilidad mayor, y por tanto se encontrará en menor cantidad en el subproducto okara.

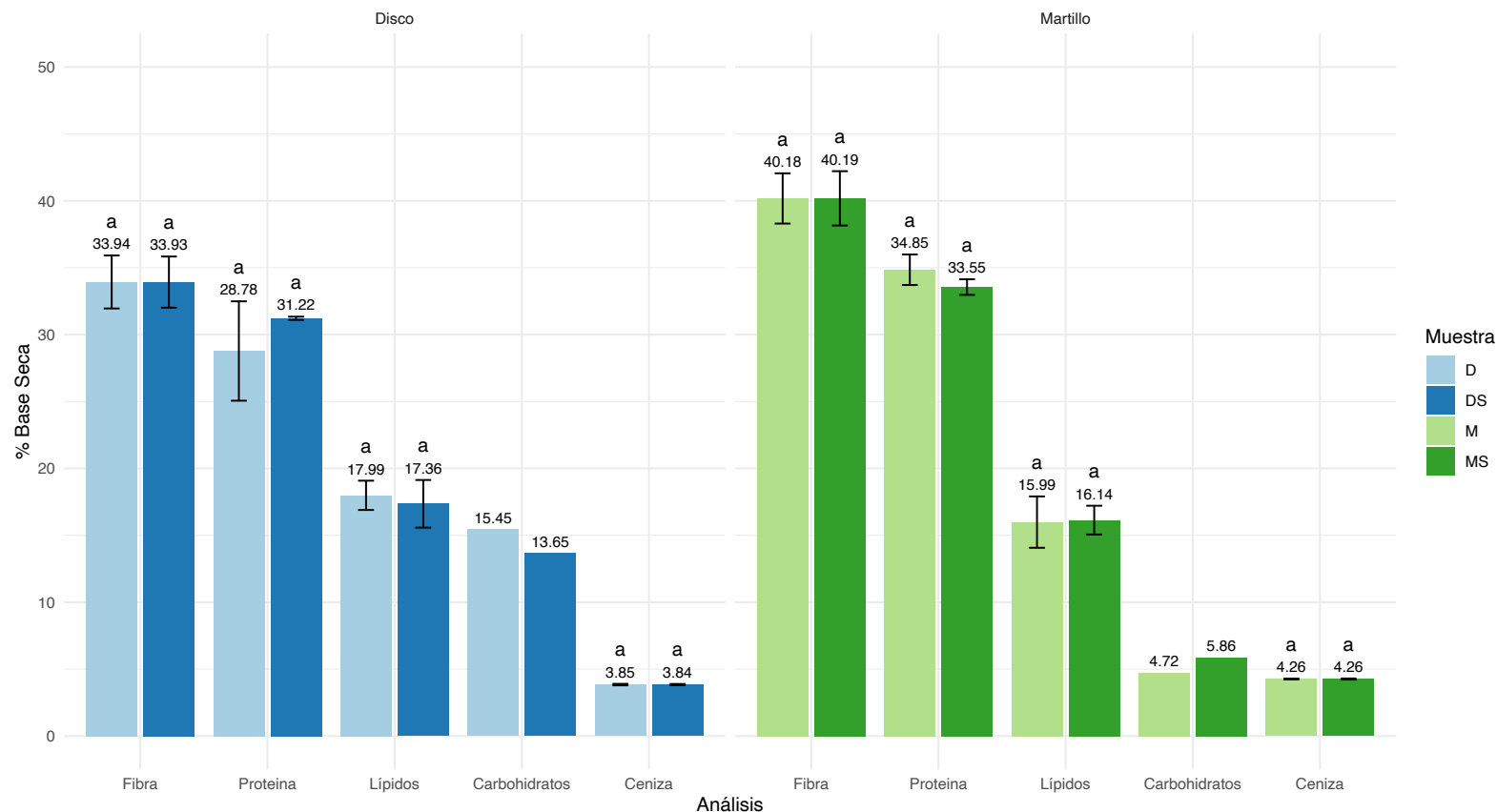


Figura 2.9: Representación gráfica de los resultados de la composición proximal del okara de disco y de martillo (en azul y verde respectivamente), y se puede ver solapado para cada método el resultado de la caracterización para las muestras frescas y secas (claro y oscuro, respectivamente). Las líneas de error corresponden a 2 veces la desviación estándar, $n=3$. Cada par de barras de un mismo análisis posee una letra representando el resultado de la prueba pareada t de Student (letras iguales implica que no se encuentran diferencias significativas $p > 0,05$). El análisis de carbohidratos no presenta error ni análisis estadístico debido a que procede de restas de promedios. Cada análisis fue detallado en la Sección 2.2.4. (Anexo R.6)

No se encontraron hay diferencias en el perfil de ácidos grasos de las muestras OM, OD, OMS y ODS (Figura 2.10). El ácido linoleico (C18:2 n-6) es el ácido graso principal encontrado en los diferentes okara con un porcentaje por encima del 50 %, seguido del ácido oleico (C18:1 n-9) y el ácido palmítico (C16:0). Estos resultados son similares a los reportados por otros autores, los cuales encontraron predominancia del ácido linoleico (C18:2 n-6), el cual se encuentra presente en un 50 % en todos los casos, seguido del ácido oleico (C18:1 n-9) con valores entre un 20 y un 30 % en todos los casos (Li et al., 2012; Sengupta et al., 2012). También, se puede destacar el contenido del ácido linolénico (C18:3 n-3) que alcanza valores de 8 % y una baja proporción de ácidos grasos saturados (entre 16-17 %). Por tanto, de acuerdo con la composición en ácidos grasos se puede mencionar que el okara es fuente de ácidos grasos esenciales principalmente omega 6, omega 9 y en menor porcentaje omega 3.

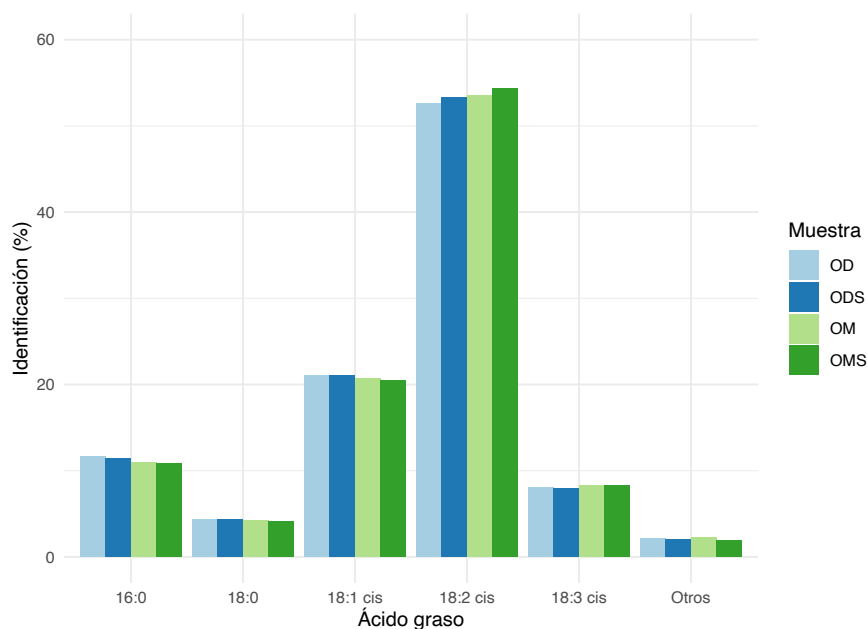


Figura 2.10: Composición de los ácidos grasos del okara, okara de disco en azul, okara de martillo en verde y los colores claros y oscuros corresponden a la matriz fresca y seca respectivamente (Anexo R.8).

En el Cuadro 2.4 se resumen los resultados de colorimetría instrumental; los mismos determinan que el secado de las muestras mejora su luminosidad y lleva los colores de las mismas marcadamente hacia el amarillo (parámetro b^*) y de forma ligera a los rojos (parámetro a^*). En general, se produce un pardeamiento pronunciado (confirmado sensorialmente) al secar las muestras.

Tabla 2.4: Resultados de colorimetría instrumental. Los resultados se expresan como la media ± 2 desviaciones estándar, $n = 10$. El color representado en “Referencia promedio (HEX)” corresponde a una transformación lineal del promedio de los valores en el espacio CIELab al espacio HEX. Las medias que comparten una misma letra en una columna no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

	L^*	a^*	b^*	Referencia promedio (HEX)
OM	$(68,3 \pm 0,8)$ c	$(0,7 \pm 0,1)$ d	$(13,2 \pm 0,5)$ c	
OD	$(67,2 \pm 1,0)$ c	$(1,6 \pm 0,2)$ c	$(14,6 \pm 0,4)$ b	
OMS	$(77,9 \pm 0,1)$ a	$(4,3 \pm 0,2)$ b	$(21,0 \pm 0,9)$ a	
ODS	$(71,8 \pm 0,3)$ b	$(7,1 \pm 0,1)$ a	$(20,9 \pm 0,2)$ a	

Los resultados del contenido de polifenoles totales y la rancidez oxidativa del okara (TBARS) se presentan juntos en el Cuadro 2.5.

Tabla 2.5: Resultados de los ensayos de determinación de polifenoles totales (expresado en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca) y rancidez oxidativa a través del ensayo de TBARS (expresado en miligramos de malonaldehído por kilogramo de muestra seca). Los resultados se expresan como la media ± 2 desviaciones estándar, $n = 3$. Las medias que comparten una misma letra en una columna no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Muestra	mgGAE*(g muestra seca) ⁻¹	mgMDA*(kg muestra seca) ⁻¹
OM	$(0,59 \pm 0,06)$ a	$(3,68 \pm 0,25)$ b
OD	$(0,52 \pm 0,04)$ b	$(6,76 \pm 1,05)$ a
OMS	$(0,25 \pm 0,02)$ c	$(4,67 \pm 0,34)$ b
ODS	$(0,23 \pm 0,02)$ c	$(6,90 \pm 0,47)$ a

Tanto para la muestra OM como para la la OD, la concentración de polifenoles

totales por gramo de muestra en base seca disminuyó aproximadamente a la mitad al secar las muestras a la temperatura seleccionada. La muestra OM (0.59 mg GAE/g) posee una cantidad levemente mayor ($p < 0,05$) de polifenoles totales que la muestra OD (0.52 mg GAE/g). Estos resultados se corresponden con estudios de okaras de distintas regiones del mundo: 0,25-0,59 mgGAE*(g muestra seca)⁻¹ para el okara uruguayo y 0,27 – 1,00 mgGalAc*(g dry sample)⁻¹ para países como Nigeria y Portugal (Ibidapo et al., 2019; Voss et al., 2018).

La muestra OD presenta una rancidez oxidativa avanzada, sin embargo, esta no empeora con el secado (ODS) y es en todo momento superior a la muestra OM y ODS ($p < 0,05$). Los niveles del ensayo de TBARS obtenidos son esperables en el sentido de que la muestra OM es sometida a un proceso de rotura de membrana menos intenso, liberando en menor medida los aceites del okara al medio y por tanto previniendo su oxidación. Además, algunas enzimas como la lipo oxigenasa que cataliza la reacción en cadena de oxidación son desnaturalizadas durante el proceso térmico al que es sometida la muestra OM (Ludikhuyze et al., 1998). En el caso de la muestra OD, la rotura de la muestra es mucho mayor, lo cual supone un contacto más íntimo entre los aceites vegetales y el agua, además de que el proceso se realiza a temperatura ambiente, lo que no inactiva enzimas naturales que promueven los procesos de oxidación (Velasco et al., 2010).

El secado de las muestras aumenta aún más la rancidez oxidativa debido al tratamiento térmico sobre las mismas. Los resultados descriptos en el Cuadro 2.5 son comparables a los reportados por Voss et al., 2018, donde un secado en condiciones similares obtiene un valor de 5,10 mgMDA*(kg muestra seca)⁻¹, comparable con el resultado promedio observado de 6,83 mgMDA*(kg muestra seca)⁻¹ en este trabajo.

La actividad ureásica de las muestras se muestra en el Cuadro 2.6, según K. Liu y Ruiz, 2021; Real-Guerra et al., 2013; Stein et al., 2018; Wachiraphansakul y Devahastin, 2005, el rango ideal de disminución de actividad ureásica se encuentra para un ΔpH de

0,05 - 0,2. Un ΔpH mayor, implica que la enzima ureasa no está desnaturalizada, y por tanto, no se puede concluir nada sobre la actividad anti-tripsina. En este caso se puede concluir que el procesamiento inicial del okara fresco es suficiente para desestimar la presencia de estos factores antinutricionales en posteriores etapas.

Tabla 2.6: Resultados del ensayo de actividad ureásica para las muestras en estudio, medido como diferencia de pH. Los resultados se expresan como la media $\pm$ su desviación estándar, $n = 3$. Las medias que comparten una misma letra en una columna no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba pareada t de Student ($p > 0,05$)

	ΔpH (Act. Ureásica)
OD	$(0,02 \pm 0,02)$ a
ODS	$(0,01 \pm 0,01)$ a

2.3.5. Caracterización sensorial

Se analizó el perfil sensorial de las muestras OMS y ODS obteniéndose los resultados del Cuadro 2.7. Se encontró diferencia significativa en la intensidad del olor y el tamaño de partícula de ambas muestras ($p < 0,05$), teniendo la muestra de disco un olor más intenso que la de martillo, aunque esto no se reflejó en el sabor de las muestras. No se percibió diferencia significativa en el resto de los atributos evaluados. Las muestras se caracterizaron por intensidades medias a bajas de todos los atributos sensoriales evaluados.

Asociando los resultados a los valores de rancidez oxidativa (Cuadro 2.5), si bien Jayasingh y Cornforth, 2004 reportaron que valores mayores a 1 mg MDA/kg de muestras cárnicas son asociados a sabores y/o olores rancios por panelistas sensoriales, y que Zhang et al., 2019 informó que, en productos cárnicos, el umbral de aceptabilidad para alimentos oxidados se encuentra en el rango de 2 a 3 mgMDA*(kg muestra *fresca*)⁻¹; en este estudio no se detectó olor y/o sabor rancio, a pesar de presentar valores de MDA altos.

2.3.6. Aplicación

La elaboración manual de los 16 bifes rebozados consistió en el corte de bifes de tofu rectangulares $(7,5 \pm 0,2) \times (8,5 \pm 0,2)$ cm² de lado con una profundidad de $(0,8 \pm 0,1)$ cm. Los bifes sin rebozar tuvieron una masa promedio de $(58,9 \pm 6,2)$ g y luego del rebozado alcanzaron una masa promedio de $(72,5 \pm 6,5)$ g. No hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) en la cantidad de masa de adsorbida por el bife durante el rebozado entre las muestras con diferente cantidad de okara.

En la Figura 2.11 se puede ver el resultado de la cocción por inmersión en aceite caliente de las diferentes muestras.

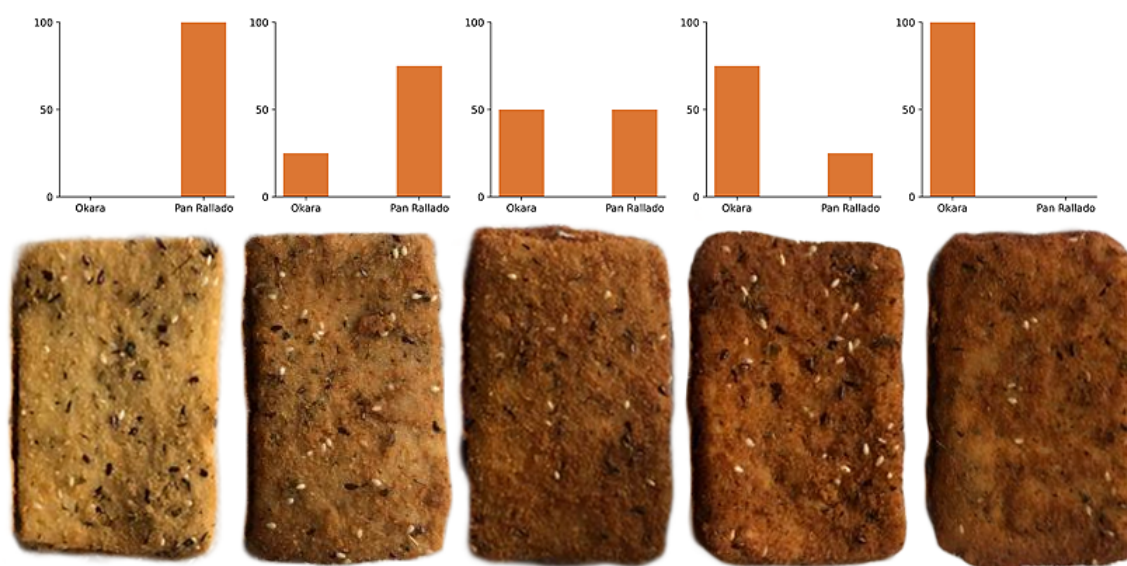


Figura 2.11: Resultados de la cocción de los bifes de tofu rebozados con diferentes cantidades de sustitución de okara (0, 25, 50, 75 y 100 % respectivamente)

Los resultados del perfil sensorial se observan en el Cuadro 2.8. La cantidad de okara en el rebozado afectó en forma significativa el color y la intensidad de olor de los bifes fritos, incrementándose ambos atributos al aumentar la cantidad de okara en el empanado. Sin embargo, no se encontró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los

demás atributos. Todas las muestras se caracterizaron por intensidades medias a bajas de todos los atributos sensoriales evaluados. A medida que aumentó la cantidad de okara en el rebozado, la intensidad de olor pasó de 2.8 (sin okara) a 4.4 (100 % okara), lo que se justifica por la intensidad del olor detectada en el okara seco.

No se encontró diferencia significativa ($p > 0,05$) en la cantidad total de grasa luego del fritado entre los bifes con 0 % y 100 % de okara. La diferencia absoluta entre los bifes post y previo a la cocción fue de 2,8 g grasa/100g de alimento, evidenciando que la absorción de grasa durante la fritura por inmersión no es un parámetro determinante en la cantidad de pan rallado que se puede sustituir por okara en un rebozado.

Tabla 2.7: Resultados del análisis de perfil sensorial de los okara secos. Los resultados se expresan como la media $\pm$ su desviación estándar, $n=16$. Las medias que comparten una misma letra en una misma columna no mostraron diferencias estadísticas según la prueba pareada t de Student ($p > 0,05$).

Muestra	Color	Intensidad de olor	Crocancia	Tamaño partícula	Sequedad	Intensidad de sabor	Sabor a aceite soja	Amargo	Persistencia sabor
OMS	(2,64 $\pm$ 1,37) a	(2,26 $\pm$ 1,02) b	(3,24 $\pm$ 1,01) b	(5,55 $\pm$ 1,13) a	(3,97 $\pm$ 1,05) a	(3,19 $\pm$ 1,32) a	(2,69 $\pm$ 1,46) a	(2,27 $\pm$ 1,39) a	(2,46 $\pm$ 1,28) a
ODS	(3,58 $\pm$ 1,25) a	(3,46 $\pm$ 1,13) a	(4,25 $\pm$ 1,14) a	(1,90 $\pm$ 0,84) b	(4,71 $\pm$ 1,21) a	(4,11 $\pm$ 1,31) a	(3,47 $\pm$ 1,37) a	(2,96 $\pm$ 1,49) a	(3,20 $\pm$ 1,46) a
Nivel de significación	0,0535	0,0036	0,0131	<0,0001	0,0749	0,0561	0,1326	0,1860	0,1416

Tabla 2.8: Resultados del análisis de perfil sensorial de los bifes de tofu rebozados con pan rallado y okara. Los resultados se expresan como la media $\pm$ su desviación estándar, $n=16$. Las medias que comparten una misma letra en una misma columna no mostraron diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

Muestra	Color	Intensidad de olor	Crocancia	Firmeza	Humedad	Intensidad de sabor	Sensación grasa en boca	Sabor ácido
0 %	(1,27 $\pm$ 1,06) a	(2,77 $\pm$ 1,59) a	(3,58 $\pm$ 1,44) a	(4,40 $\pm$ 1,64) a	(4,28 $\pm$ 1,53) a	(3,31 $\pm$ 1,69) a	(3,11 $\pm$ 1,21) a	(1,71 $\pm$ 1,46) a
25 %	(3,65 $\pm$ 1,03) b	(3,53 $\pm$ 1,48) a,b	(3,13 $\pm$ 1,27) a	(3,22 $\pm$ 1,39) a	(4,37 $\pm$ 1,59) a	(3,85 $\pm$ 1,39) a	(3,28 $\pm$ 1,41) a	(1,54 $\pm$ 1,41) a
50 %	(4,83 $\pm$ 1,43) b	(4,31 $\pm$ 1,76) a,b	(2,97 $\pm$ 1,56) a	(4,12 $\pm$ 1,41) a	(4,05 $\pm$ 1,66) a	(4,30 $\pm$ 1,48) a	(3,06 $\pm$ 1,37) a	(1,30 $\pm$ 1,34) a
75 %	(6,63 $\pm$ 1,48) c	(4,01 $\pm$ 1,67) a,b	(3,07 $\pm$ 1,58) a	(4,46 $\pm$ 1,61) a	(4,13 $\pm$ 1,48) a	(3,67 $\pm$ 1,29) a	(2,61 $\pm$ 1,24) a	(1,47 $\pm$ 1,42) a
100 %	(7,07 $\pm$ 1,13) c	(4,43 $\pm$ 1,54) b	(2,35 $\pm$ 1,61) a	(3,52 $\pm$ 1,39) a	(3,93 $\pm$ 1,53) a	(4,70 $\pm$ 1,65) a	(3,06 $\pm$ 1,37) a	(1,30 $\pm$ 1,16) a
Nivel de significación	<0,0001	0,0310	0,2472	0,0822	0,9367	0,0913	0,6857	0,8981

2.3.7. Estabilidad temporal

Las muestras secas de okara de disco y martillo fueron analizadas en los tiempos 1, 9 y 18 meses, obteniendo los siguientes resultados. En primer lugar, se destaca que no hubo cambios con diferencia significativa ($p > 0,05$) en la humedad y que ésta se mantuvo siempre por debajo de 8 % (Figura 2.12a); lo cual es requisito para este tipo de productos según el Reglamento Bromatológico Nacional (Uruguay, 2012a).

En el ensayo de TBARS (Figura 2.12b), no se observó diferencia significativa para ninguna de las dos muestras ($p > 0,05$); por lo cual, si bien como fue discutido en la Sección 2.3.4, ambas muestras parten de niveles de TBARS relativamente elevados, la misma no cambia a lo largo del almacenamiento, por lo que se puede asegurar que la muestra no se enrancia durante el almacenamiento en un lugar fresco y seco, en bolsas de polipropileno selladas con calor.

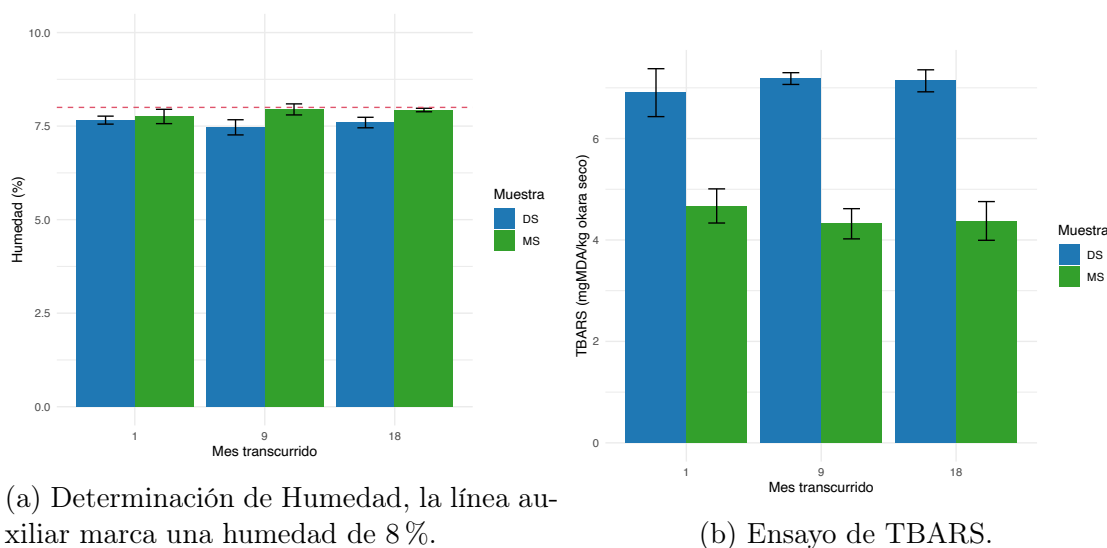


Figura 2.12: Resultados de la determinación de humedad (izquierda, Anexo R.10) y del ensayo de TBARS (derecha, Anexo R.11), de las muestras de disco y martillo seco en azul y verde respectivamente. El error se muestra como la desviación estándar de 3 réplicas.

En líneas generales, se puede afirmar que el okara seco es estable en el tiempo durante un periodo de almacenamiento de al menos 18 meses desde un punto de vista fisicoquímico.

2.4. Conclusiones

Se determinaron las características fisicoquímicas y sensoriales del okara húmedo y seco según el método de producción de leche de soja y se concluyó que las primeras dependen del mismo.

El okara seco es un potencial alimento funcional que puede incorporarse al mercado para consumo humano debido a su perfil nutricional rico en fibras, proteínas y ácidos grasos esenciales.

En particular, es prometedor su utilización como rebozador de alimentos, aunque sería conveniente explorar la aceptabilidad por parte del consumidor de productos rebozados con okara y la percepción del consumidor sobre el uso de un subproducto de la industria sojera como rebozador con consumidores.

El okara seco es seguro desde un punto de vista microbiológico y nutricional. Además, la materia prima es estable en un período de 18 meses, lo cual permite su acopio.

Debido a la mejora tecnológica y económica que implica el trabajo con el okara seco de disco (ODS), se trabajará con esta muestra durante el resto del trabajo experimental de Tesis. A partir de este momento, el ODS será denominado HOU: *Harina de Okara Uruguay*.

Capítulo 3

Transformación del okara mediante un proceso de extrusión

3.1. Introducción

En este capítulo se abordarán los resultados obtenidos a partir de un intercambio académico en el marco del Programa de Escala Posgrado de la Asociación de Universidades del Grupo Montevideo (AUGM). El mismo fue llevado adelante durante los meses setiembre y octubre de 2023, bajo la tutoría del Dr. Pablo Ribotta¹ en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Se planteó en líneas generales trabajar con el okara y otras materias primas, como la harina de arroz, enmarcado en un proceso de extrusión (Desarrollado en la Sección 3.1.3). Durante la ejecución del mismo, se probó la extrusión del okara seco y la extrusión conjunta con otras materias primas, evaluando distintos niveles de las variables independientes del equipo, siguiendo los productos obtenidos con las técnicas introducidas en la Sección 3.2. El conocimiento obtenido de las pruebas primarias nos impulsó a concentrarnos en la harina de okara extrusada (HOE) y particularmente en su posterior uso como ingrediente funcional en alimentos fuente de fibra (Sección 4).

3.1.1. La fibra dietética y su relación con el proceso Salud-Enfermedad

La definición de fibra dietética más actual incluye todas las sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos, más la lignina, que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas y llegan intactos al colon, donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la microflora intestinal (Nielsen, 2014).

Existe un gran número de estudios en humanos y modelos experimentales que muestran evidencia científica sobre la eficacia de las fibras dietarias en la regulación del peso corporal, homeostásis de la glucosa, sensibilidad a la insulina y otros factores

¹https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=22552&datos_academicos=yes

de riesgos asociados a enfermedades cardiovasculares como el perfil de lípido sérico, la hipertensión y marcadores inflamatorios sistémicos (Galisteo et al., 2008). En el Tabla 3.1 se puede observar un resumen de los tipos de fibras existentes, fuentes principales, clasificación según solubilidad y rol en la nutrición.

Tabla 3.1: Tipos de fibras y roles nutricionales

Nombre de la fracción	Solubilidad en agua	Fuente principal	Rol en la nutrición
Pectinas	Solubles	Frutas	Disminuir el colesterol sanguíneo, regular el balance ácido en la vesícula biliar aumentando su excreción, prevenir la formación de tumores y cálculos biliares. Mejorar la tolerancia a la glucosa.
Gomas y mucílagos	Solubles	Aditivos alimentarios	Disminuir el colesterol y la glucosa sanguínea, dar sensación de saciedad. Retrasar el vaciamiento gástrico.
Celulosa	Insolubles	Vegetales, frutas y granos de cereales	Prevenir/remover la constipación y diverticulosis, estabilizar la glucosa sanguínea, limitar el incremento de masa corporal, prevenir la formación de cáncer de colon y rectal, unir agua y aumentar la cantidad de desechos eliminados, ayudar en la eliminación de toxinas y subproductos del tracto digestivo. Puede aumentar excreción de Zn, Ca, P y Fe.
Hemicelulosa	Parcialmente Solubles	Granos de cereales, salvado	Disminuir el incremento de masa corporal y nivel de colesterol, prevenir la formación de cáncer de colon y rectal. Aumentar el volumen y peso de heces. Reducir presión intraluminal del colon. Aumentar la excreción de ácidos biliares.
Ligninas	Insolubles	Granos de cereales, vegetales lignificados	Remover exceso de ácidos biliares y colesterol dietario, prevenir/remover la constipación, y la diverticulosis, prevenir la formación de cálculos biliares y tumores de la parte terminal del sistema digestivo.

La información contenida en este Tabla fue extraída de los materiales del curso de grado Nutrición Aplicada a la Ingeniería Alimentaria, de la Facultad de Agronomía, UdelaR. Edición 2019.

El grado de solubilidad en agua es muy variable para los distintos tipos de fibra; las fibras insolubles (IDF, proveniente de *Insoluble dietary fibers*), incluye estructuras de la pared celular como celulosa, lignina y hemicelulosas. Éstas son caracterizadas por

su porosidad, y por ser incapaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad lo que produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Lo último es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinógenos con la mucosa del colon (Elleuch et al., 2011; Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006).

Por otro lado, las fibras solubles (SDF, proveniente de *Soluble dietary fibers*) incluyen oligosacáridos, pectinas, β -glucanos y gomas como el galactomanano; se caracterizan por su capacidad para incrementar la viscosidad debido a que al tomar contacto con agua forman retículos donde la misma queda atrapada. Los efectos derivados debido al aumento de la viscosidad por la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado, y en parte su potencial nutracéutico (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006; Tosh & Yada, 2010). Existe evidencia de los beneficios de consumir alimentos ricos en fibras solubles sobre la obesidad, enfermedades cardiovasculares y la diabetes tipo 2; algunos estudios refieren específicamente a los efectos beneficiosos en la mayoría de las alteraciones presentes en un individuo afectado por el síndrome metabólico. En el trabajo de Galisteo et al., 2008 se detalla cómo la fibra dietética soluble incide en cada uno de éstos.

La fibra dietética llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí la microbiota –las bacterias que habitan nuestro colon– con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Este proceso de digestión se produce en condiciones anaerobias, por lo que se denomina fermentación. (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006)

Los principales productos de la fermentación de la fibra son los ácidos grasos de cadena corta, gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía, además de un sinnúmero de metabolitos secundarios con comprobados efectos sobre la salud. El campo de estudio de la microbiota intestinal está hoy en día en auge y está demostrado que

la dieta es un factor clave que influencia la cantidad y la calidad de la microbiota disponible (Holscher, 2020).

La fibra dietética es considerada como alimento funcional *per se*, un alimento con beneficios en la salud. Sus beneficios en la mantención de la buena salud y prevención de enfermedades han sido demostrados científicamente y figura como el componente principal en la terapia médico-nutricional (Galisteo et al., 2008).

3.1.2. La fibra soluble en el okara

Como fue expuesto anteriormente en la Sección 1.2.1 y corroborado experimentalmente en la Sección 2.2.4, el okara posee al rededor del 40 %_{DB} de fibra dietética (Tabla 1.1 y figura 2.9). Esta fibra está principalmente compuesta por fracciones insolubles y/o parcialmente insolubles, celulosas y hemicelulosas. Esta composición retiene agua de una forma particular en la estructura del okara, lo cual le confiere en su estado nativo una textura pastosa (Colletti et al., 2020).

Varios autores como Li et al., 2012; Mateos-Aparicio et al., 2010; Rinaldi et al., 2000; Yoshida et al., 2022, informaron una relación de la fracción de fibras solubles/-totales (SDF:TDF) en okara nativo entre 2,6 % hasta 18,7 % lo cual si bien presenta mucha variación, demuestra la gran predominancia de la fracción insoluble frente a su contraparte.

La relación SDF:TDF puede alterarse de forma positiva en distintas matrices alimentarias a través de procesos biológicos como fermentación (J. Chen et al., 2020; Tu et al., 2012) o tratamientos enzimáticos (Nguyen et al., 2024); químicos como tratamientos alcalinos (Zhang et al., 2020); físicos como secado (Borchani et al., 2011; Garcia-Amezquita et al., 2018), tratamiento con altas presiones (Mateos-Aparicio et al., 2010; Tejada-Ortigoza et al., 2017; Tu et al., 2012), extrusión (Khanpit et al., 2022; Li et al., 2012; Yoshida et al., 2022) o una combinación de métodos como extrusión con tratamientos alcalinos (Bader Ul Ain et al., 2019).

Basado en la información discutida anteriormente sobre la fibra dietética total (TDF) y sus fracciones solubles e insolubles, es evidente que resulta beneficioso enfocarse en incrementar la proporción SDF:TDF en el okara para potenciar sus cualidades como alimento funcional.

3.1.3. El proceso de extrusión

La operación unitaria de extrusión se define como la formación y moldeado de un material fundido o con características similares a una masa, forzándolo con presión a través de una restricción o picos formadores. Esta operación es una de las innovaciones más importantes del Siglo XX, que ha sido adoptado por la industria debido a la alta productividad (continua, flexible, modular, versátil) y su procesamiento amigable con el medio ambiente (Bouvier & Campanella, 2014).

La compleja tecnología de extrusión depende de un elemento *extrusor* el cual transporta y comprime materiales particulados, los funde o mezcla en un medio viscoso, los cocina, texturiza y forma. El extrusor por lo general toma dos diseños básicos, un tornillo sin fin en una cámara cilíndrica o un arreglo de dos tornillos sin fin engarzados en una cámara equivalente. Cada diseño posee sus propios beneficios, problemas y complejidades ingenieriles (Bouvier & Campanella, 2014). En la Figura 3.1 se puede ver un diagrama esquemático de un extrusor y un detalle de la cámara de extrusión, las *secciones* señaladas son un ejemplo, dado que el tornillo puede configurarse para disponer en otro orden y/o longitud cada sección.

Los extrusores de un tornillo y de dos tornillos engarzados co-rotantes aparecieron durante los últimos 30 años del Siglo XIX como “aparatos” que cumplían una determinada función, por ejemplo, Sturges, 1871 patentó un aparato que enfría y mezcla jabón.

En la industria alimentaria, es usual encontrar extrusoras, en particular en dos aplicaciones concretas: la industria de procesamiento de cereales y la industria de pro-

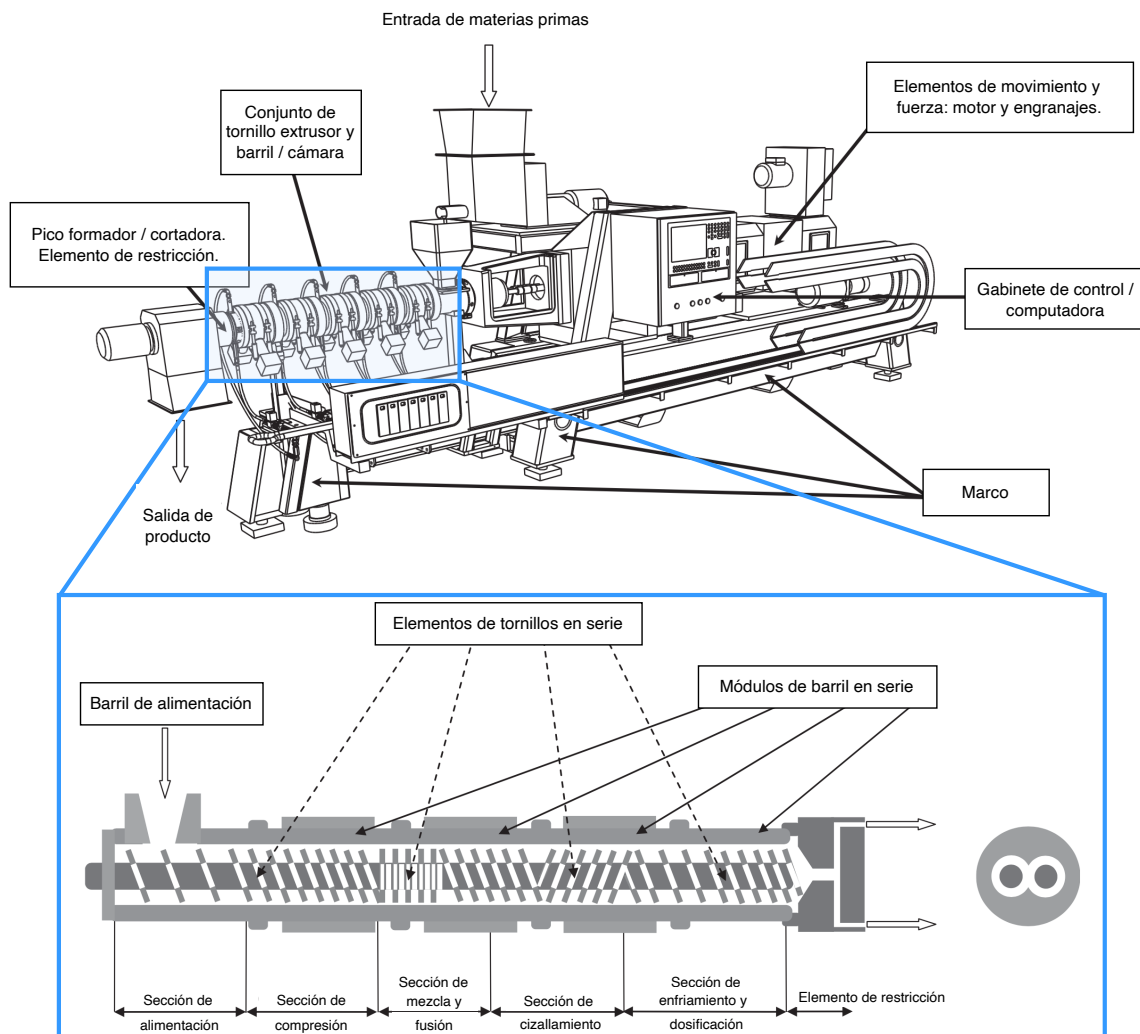


Figura 3.1: Diagrama esquemático de un extrusor industrial de doble tornillo con sus partes principales señaladas. En azul se muestra un diagrama representando una posible conformación modular de las secciones de los tornillos internos en una cámara de extrusión. El diagrama fue adaptado y traducido de Bouvier y Campanella, [2014](#).

cesamiento de semillas oleaginosas. La industria de cereales utiliza la extrusión en la transformación *secundaria* de los mismos, la cual consiste en convertir harinas de cereales en distintos productos listos para el consumo e ingredientes funcionales a través del mezclado, amasado, cocinado, formado y/o texturizado (Bouvier & Campanella, [2014](#)).

Aplicar una alta fuerza de cizalla² a biopolímeros como almidón, proteínas o fibras en combinación con agua como agente plastificante, se obtiene un fundido termomecánico, lo que causa cambios fisicoquímicos irreversibles que traen como consecuencia una mayor digestibilidad de estas materias primas (Bouvier & Campanella, 2014).

El proceso de extrusión puede ser entendido y manejado al modelarlo como un sistema MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*), donde diversos parámetros de la extrusión actúan como variables independientes que el operador puede controlar. Estas variables incluyen la formulación de los ingredientes, el contenido de humedad de entrada, la configuración y velocidad del tornillo, la temperatura del cilindro, las dimensiones del dado y la velocidad del cortador del dado, entre otros (Eerikäinen et al., 1994; Ganjyal & Hanna, 2004).

Estas variables independientes tienen un impacto directo sobre los llamados "parámetros del sistema", que incluyen la energía mecánica específica (SME), el tiempo de residencia, la presión medida en el elemento restrictor, la viscosidad del fundido y el torque. Por ejemplo, la SME, que es la energía impartida por unidad de masa del material alimentado durante el proceso de extrusión, depende significativamente de la viscosidad del material alimentado, la cual a su vez es influenciada por el contenido de humedad. Asimismo, el tiempo de residencia está influenciado por factores como la composición del material y las condiciones de operación, como la velocidad del tornillo y la temperatura (Godavarti & Karwe, 1997; Kaisangsri et al., 2016).

Finalmente, estos parámetros del sistema determinan las "propiedades del producto", que son las características de los extrudados, incluyendo propiedades físicas como la expansión, la densidad, la estructura, la composición nutricional y la calidad sensorial así como la textura (Ek & Ganjyal, 2020).

Estudios previos han demostrado una relación positiva entre la relación SDF:TDF

²Un tipo de fuerza que actúa paralelamente a la superficie de un material. Esta fuerza tiende a deslizar una parte del material en dirección opuesta respecto a otra, pudiendo generar un efecto de corte o deslizamiento (Hibbeler & Fan, 2004).

y el aumento de presión y temperatura en el proceso de extrusado, como se comentó en la Sección 3.1.2. Esto se debe a que la fuerza de cizalla bajo condiciones extremas es suficiente para cortar los enlaces glucosídicos de los polisacáridos constituyentes de la IDF, liberando oligosacáridos al medio (Björck et al., 1984; Gajula et al., 2008). Sin embargo, temperaturas demasiado altas ($\geq 200^{\circ}\text{C}$) empobrece el perfil nutricional y sensorial de los extrusados (S. Singh et al., 2007). Por lo que debe estudiarse con cuidado las condiciones de la operación.

El objetivo de este Capítulo de la Tesis fue obtener y caracterizar el producto *harina de okara extrusada* (HOE) a partir del HOU caracterizado en el Capítulo 2. En pos de utilizarlo como materia prima para la formulación de un alimento enriquecido en fibras, y en particular, SDF, en la última parte del trabajo experimental (Capítulo 4).

3.2. Metodología y materiales

3.2.1. Extrusión

Para la extrusión, se utilizó una extrusora de doble tornillo co-rotante (Process 11-Hygenic, Thermo Scientific, Alemania; equipamiento disponible en el laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba³, Argentina.) con 8 zonas independientes de temperatura controlada, y una relación de longitud a diámetro (L/D) de 40:1, además de la capacidad de modular las secciones del tornillo. Se utilizó una boquilla de salida de área circular de un diámetro de 3mm y una configuración del tornillo que se esquematiza en la Figura 3.2.

A partir de resultados publicados previamente sobre mejoramiento del perfil nutricional del okara utilizando tecnología de extrusión (Aussanasuwannakul et al., 2022; Y. Chen et al., 2014; Li et al., 2012) y pruebas de funcionamiento en régimen del equipo

³Se puede leer sobre el Instituto y sus investigaciones en <https://www.icytac.conicet.unc.edu.ar/>

la fracción soluble (FS) y la capacidad de retención de agua (CRA) de las muestras. Se colocó $1,000 \pm 0,001$ g de cada muestra molida en un tubo cónico con 30 mL de agua destilada, se agitó en un equipo tipo Vórtex y se dejó reposar durante 18 horas a temperatura ambiente (25 °C). Luego las muestras fueron centrifugadas 2000g por 30 minutos. El sólido hidratado y el sobrenadante fueron cuantitativamente separados y pesados. Se secaron a 105 °C (hasta peso constante) y el residuo seco se pesó para obtener los valores de capacidad de retención de agua (g de agua/g residuo seco del sólido hidratado) y la fracción soluble (g de sólidos solubles del sobrenadante/100 g de muestra). El ensayo se realizó por triplicado. El procedimiento esquematizado puede verse en la Figura 3.3. Los cálculos de la CRA y el FS se realizan con las expresiones de las Ecuaciones 3.1 y 3.2 respectivamente.

$$CRA = \frac{m_{\text{Sedimento}} - m_{\text{Sedimento seco}}}{m_{\text{Sedimento seco}}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$FS = \frac{m_{\text{Sobrenadante seco}}}{m_{\text{muestra}}} \times 100 \quad (3.2)$$

Energía mecánica específica La energía mecánica específica (por sus siglas en inglés, SME) se define como la cantidad de energía mecánica (trabajo) disipada como calor durante la operación unitaria, expresada por unidad de masa del materia (Bouvier & Campanella, 2014). Se calcula según la Ecuación 3.3. Donde n y $n_{\max}$ son las revoluciones actuales y máximas del equipo, M_d y $m_{d,\text{ralentí}}$ son el torque generado durante la corrida y el torque mínimo del equipo generado cuando está vacío. $\dot{m}$ y $P_{\max}$ representan el flujo másico y la potencia máxima del equipo respectivamente (Schmid et al., 2021).

$$SME (Wh.kg^{-1}) = \frac{\frac{n}{n_{\max}} \times \frac{M_d - M_{d,\text{ralentí}}}{100}}{\dot{m}} \times P_{\max} \quad (3.3)$$

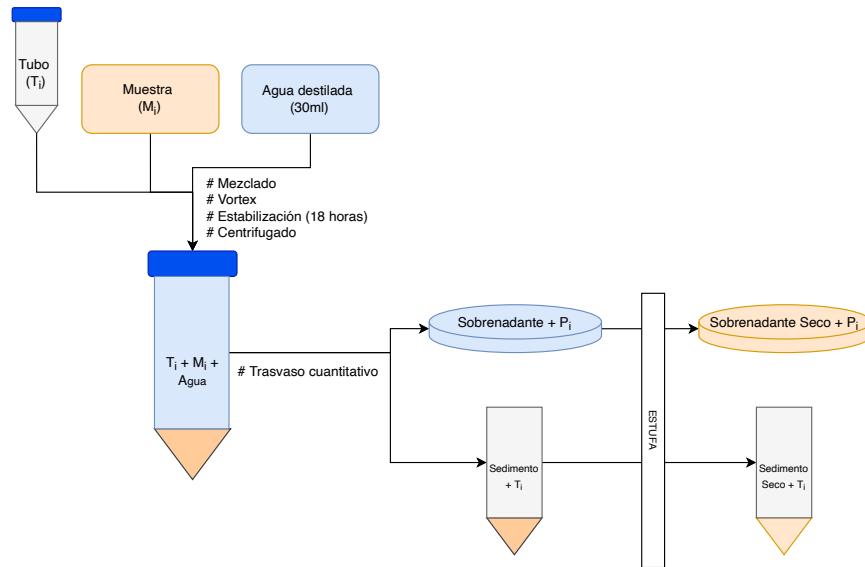


Figura 3.3: Esquema de la determinación de capacidad de hidratación.

El SME es un parámetro importante de los procesos de extrusión y provee una buena caracterización general del mismo, influenciando las características fisicoquímicas del producto final (solubilidad, densidad, índice de expansión, dureza, entre otros). Los valores de SME suelen correlacionarse con el grado de descomposición o degradación molecular que sufre el material durante el proceso de extrusión. También es uno de los parámetros importantes utilizados durante la escala de extrusores, un mismo SME debería dar un resultado similar en distintos equipos (Godavarti & Karwe, 1997).

Macro fotografía: Se capturó fotográficamente el perfil y el centro de piezas representativas de los extrusados utilizando el lente Macro de un dispositivo iPhone 13 Pro, colocando las piezas a 1,5cm del mismo e iluminándolas con luz led blanca (3500°K). Las fotografías fueron analizadas usando el software libre ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Md.).

Distribución del tamaño de partículas: La distribución del tamaño de partículas (PSD) se evaluó según Curti et al., 2023, utilizando un equipo de difracción de luz láser Horiba (LA 960, Irvine, CA, EE. UU.) con un módulo de dispersión seca, utilizando un flujo de aire de 0.35 MPa y una velocidad de alimentación de 70 %⁴. Se analizaron muestras secas representativas (de 12 a 15 g por ensayo). Los parámetros obtenidos fueron los siguientes: D10, D50 y D90 (diámetros de partículas para los cuales la masa acumulada de las partículas fueron 10 %, 50 % o la mediana, y 90 %, respectivamente). El índice de polidispersidad de tamaño de partícula o índice de extensión asociado se determinó como $[(D90 - D10)/D50]$. Los análisis se realizaron por triplicado.

Determinación de fibra total y las fracciones solubles e insolubles: Para la determinación de fibra total (TDF) y su fracción insoluble (IDF), se procedió de forma análoga a como se detalló en la Sección 2.2.4, calculando el TDF y el IDF según la Ecuación 2.11. Para determinar el IDF, se evitó el paso de precipitación de la fibra soluble con etanol como se detalla en el método oficial (AOAC et al., 2012, Figura 3.4).

⁴Relativo a la capacidad vibracional del alimentador

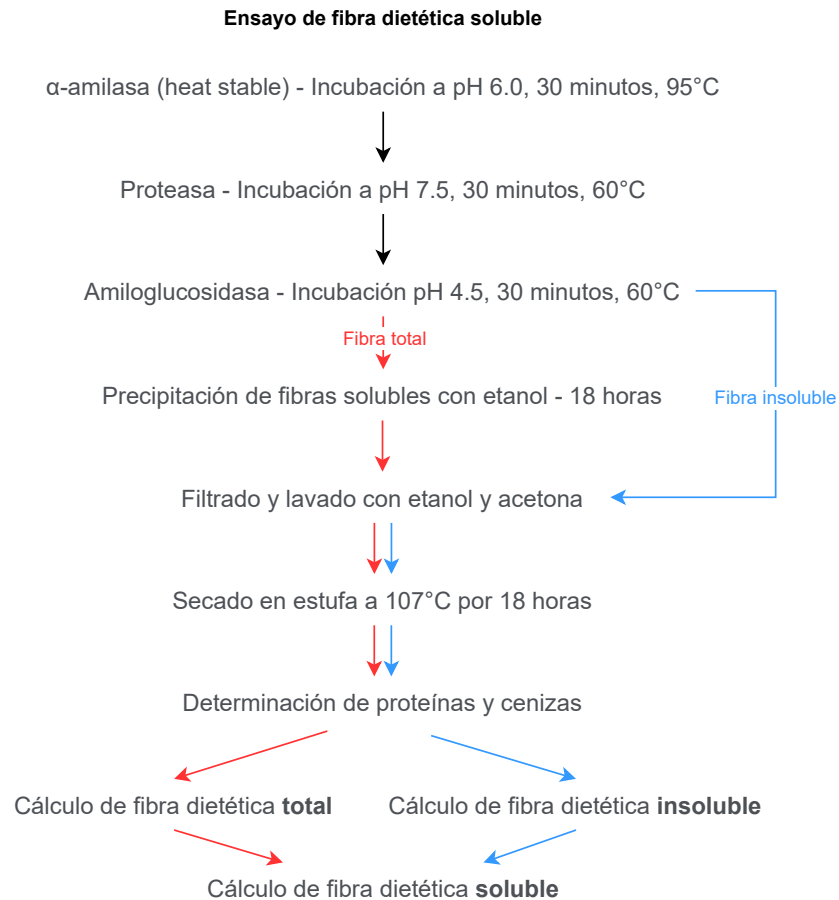


Figura 3.4: Esquemmatización de la determinación de fibra dietaria soluble (SDF) a partir del ensayo de TDF (en rojo) e IDF (en azul). Adaptado y traducido de la técnica oficial AOAC 985.29 (AOAC et al., 2012).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Obtención de los extrusados y selección de la mejor condición

La HOU fue extrusada (Figura 3.6) y el producto obtenido de las tres corridas experimentales fue estudiado desde un punto de vista fisicoquímico, tomando la capacidad de absorción de agua y fracción soluble como parámetros que determinan la mejor condición de extrusión. En la Figura 3.5 se puede observar que todas las muestras extrusadas mejoran la CRA y FS del okara, lo cual implica que, para todos los tratamientos, la extrusión aumenta la relación de fracción soluble frente a la insoluble, explicado en parte por la ruptura de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos (Björck et al., 1984; Gajula et al., 2008).

Se calculó la Energía Mecánica Específica (SME) de cada corrida ($n=1$), obteniéndose una tendencia creciente que acompaña el aumento de temperatura para cada perfil 60,8, 61,8 y 63,2 kJ respectivamente para T_a , T_b y T_c . Si bien este valor refleja la energía impresa en la materia prima, y los resultados publicados en general apuntan a que un aumento de temperatura está relacionado con un aumento del SME (Por ejemplo, Aktas-Akyildiz et al., 2020; Rouilly et al., 2006), cada alimento extrusado se comportará de forma distinta en cuanto a cómo las variables del proceso afectan el SME (Dey et al., 2021) y al día de hoy no existen referencias bibliográficas de la extrusión de okara seco sin el agregado de otras materias primas.

En particular la condición más extrema (T_c) muestra los valores más altos de estos ensayos (7,77 % de agua retenida y una fracción soluble del 24,87 %), por lo cual, este perfil de temperaturas fue el seleccionado para continuar con los ensayos, y por ende se fijaron los siguientes valores al perfil de temperatura (30, 70, 90, 120, 130, 150, 170 °C) para continuar con los ensayos de caracterización.



Figura 3.6: Compilado de imágenes del extrusor preparado para su uso y posterior al mismo, así como del producto final.

3.3.2. Caracterización del producto

Las piezas obtenidas son parecidas a pellets de madera en aspecto, observables en las Figuras 3.6 y 3.7); en la segunda, se puede observar una imagen macro de las mismas, donde es evidente la textura rugosa e irregular. La poca expansión del extrusado está explicado por la baja cantidad de almidones que gelifican y generan bolsas de aire durante el cizallamiento en materias primas más usuales para este proceso.



Figura 3.7: Fotografía en macro de una pieza representativa vista de lado y un corte axial de la misma.

Al moler el HOE de forma análoga al HOU, pueden compararse sus tamaños de partícula, ambos presentan una distribución bimodal, con valores de diámetros de pico de $51,5 \mu\text{m}$ y $1015,5 \mu\text{m}$ para el HOU y de $101,5 \mu\text{m}$ y $592,4 \mu\text{m}$, para el HOE. Este último muestra un mayor solapamiento de picos y perfiles desplazados a menores valores (Figura 3.8), la mediana del HOE es significativamente menor ($383 \mu\text{m}$ contra $604,7 \mu\text{m}$, y sus valores de D10 y D90 están comprendidos dentro del intervalo de valores D10 y D90 del okara nativo ($95 \mu\text{m}$ y $790 \mu\text{m}$ en el producto extrusado, contra $63 \mu\text{m}$ y $1289 \mu\text{m}$ en el HOU, respectivamente. La concentración de estos valores implícitamente trae asociado una reducción del índice de polidispersidad de tamaño de partícula, de 2,03 a

1,81 (Tabla 3.2).

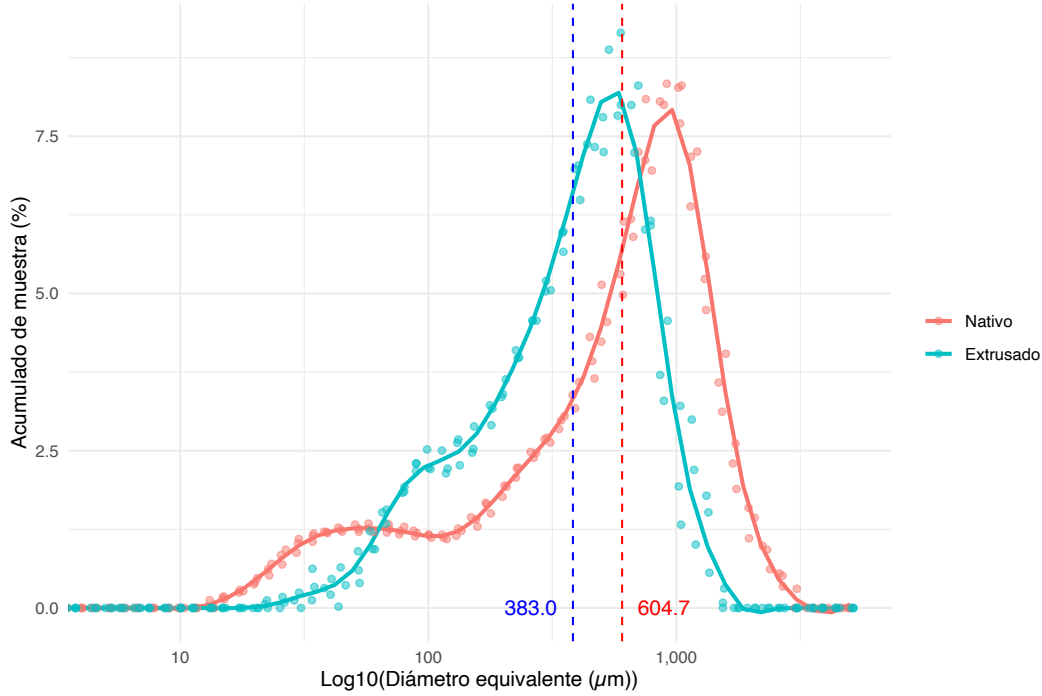


Figura 3.8: Representación gráfica del tamaño de partícula de las muestras molidas de HOE y HOU, expresado en μm y en escala logarítmica. En azul y rojo se muestra el valor de la mediana para las muestras HOE y HOU respectivamente (Anexo R.13).

Tabla 3.2: Valores de D10, D50, D90 y del índice de extensión asociado, calculado según $[(D90 - D10)/D50]$ para las muestras Nativo y Extrusado. Los valores están expresados como la media $\pm$ su desviación estándar, $n=3$. Las medias que comparte una misma letra en una fila, no mostraron diferencia significativa según la prueba pareada t de student ($p > 0,05$).

Muestra	Nativo	Extrusado
D10	$(62,61 \pm 1,31)$ a	$(95,04 \pm 5,14)$ b
D50	$(604,02 \pm 17,10)$ b	$(383,12 \pm 3,22)$ a
D90	$(1289,07 \pm 55,91)$ b	$(790,01 \pm 54,5)$ a
Índice de extensión asociado	$(2,03 \pm 0,04)$ b	$(1,81 \pm 0,11)$ a

La obtención de un tamaño de partículas menor para el mismo procedimiento

de molienda aporta más sustento a la hipótesis expuesta en la Sección 3.3, ya que se produce un material más poroso y disgregable, que acompaña el aumento en la capacidad de retención de agua y fracción soluble del mismo.

El ensayo de fibra soluble (Tabla 3.3) corroboró finalmente lo esperado para la muestra extrusada un aumento significativo ($p < 0,05$) de 8,81 puntos porcentuales en el cociente SDF:TDF, manteniendo constante (sin cambios significativos $p > 0,05$) la cantidad de fibra dietética total para ambas muestras. Este aumento implica un aumento porcentual del cociente SDF:TDF del 46 % y está en línea con los resultados de Li et al., 2012 y Dust et al., 2004, ambos obtuvieron una diferencia positiva de 5 puntos porcentuales al aplicar procesos de extrusión al okara.

Tabla 3.3: Valores del ensayo de determinación de fibra dietética total (TDF) y fibra dietética soluble (SDF), expresados en base seca, para ambas muestras: nativa y extrusada. Se muestra también el cociente SDF:TDF y la diferencia. Los valores están expresados como la media $\pm$ 2 veces su desviación estándar, $n=3$. Las medias que comparte una misma letra en una columna, no mostraron diferencia significativa según la prueba pareada t de student ($p > 0,05$).

	TDF _{db} (%)	SDF _{db} (%)	SDF:TDF (%)
Nativo	(43.22 $\pm$ 0,51) a	(8.245 $\pm$ 0,62) a	19.08
Extrusado	(42.18 $\pm$ 1,67) a	(11.76 $\pm$ 1,54) b	27.88
		Aumento (Abs)	8.81
		Aumento (%)	46

3.4. Conclusiones

Se obtuvo harina de okara extrusada (HOE) y la misma fue caracterizada enfocándose en su relación de fibra soluble frente a la total.

El aumento de la fracción de fibra soluble sobre la fibra dietaria total en el okara a través del proceso de extrusión resulta una propuesta interesante desde el punto de vista de enriquecer su perfil nutricional. Las fibras solubles poseen beneficios intrínsecos,

tales como la mejora de la salud digestiva, la regulación de los niveles de azúcar en la sangre y la reducción del colesterol. Estos beneficios deberían corroborarse para esta materia prima en futuros trabajos, mediante estudios que incluyan ensayos *in-vitro* e *in-vivo*.

La inclusión de okara con una fracción de fibra soluble aumentada en productos alimenticios genera oportunidades en el desarrollo de alimentos funcionales, dirigidos a consumidores que buscan opciones saludables y nutritivas. Por lo tanto, es fundamental realizar investigaciones adicionales que aborden tanto los aspectos nutricionales como sensoriales, asegurando que el producto final no solo sea saludable, sino también aceptable para el consumidor.

Adicionalmente, es importante evaluar la estabilidad de las propiedades de la fibra soluble durante el almacenamiento y procesamiento posterior del okara extruido. Un estudio de optimización de las condiciones del proceso de extrusión que incluya el uso de configuraciones de tornillo más “fuertes”, es decir, con más elementos de mezcla y amasado podría maximizar el contenido de fibra soluble sin comprometer la calidad nutricional del producto final.

Capítulo 4

Aplicación del HOU y HOE:

Formulación de galletas marinas con
fuente de fibra

4.1. Introducción

A continuación se muestran los resultados que constituyen el cierre a la Tesis al profundizar en el Objetivo Específico N°4: Evaluar la aplicación del HOU en productos panificados –galletas marina fuente de fibra–, utilizando como foco la opinión de los consumidores (Sección 1.4).

Esta aplicación se estudia de forma paralela con el HOE, en el entendido de que esta materia prima posee un mejor perfil nutricional al poseer una mejor proporción de fibra soluble frente a la total que el HOU, y es de particular interés evaluar este factor desde un punto de vista tecnológico y sensorial.

4.1.1. Antecedentes de aplicaciones alimentarias con okara

El okara seco y triturado (Harina de Okara) puede reemplazar parcialmente la harina de trigo o de soja, así como otros ingredientes utilizados en la producción de alimentos para incrementar el contenido de fibras y proteínas. La harina de okara ha sido utilizada como materia prima para confeccionar pan, crepes, alimentos soplados, fideos, caramelos, bebidas, embutidos, y harinas nutricionales (Tabla 4.1). Desarrollo de estos productos pueden verse en Wickramarathna y Arampath, 2003; o en el compilado realizado por Colletti et al., 2020.

Como ejemplo de la potencialidad de uso de esta materia prima, los panes preparados por Wickramarathna y Arampath, 2003; con sustitución de harina de trigo por harina de okara en un nivel del 10 % y no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cualidades sensoriales y características fisicoquímicas con los panes regulares.

En Uruguay, los alimentos agrupados bajo *panes, galletas, alfajores y otros productos de repostería* componen el grupo con mayor aporte calórico diario (22 % sobre una dieta de 2000 kcal) según la composición de la Canasta Básica Alimentaria por

Tabla 4.1: Algunos productos desarrollados con okara, agrupados según categoría de alimento.

Alimento	Efecto	Referencia
Productos cárnicos	Aumento del rendimiento másico debido a las propiedades aglutinantes	Noriham et al., 2016
Helado	Mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales	Ibrahim et al., 2021
Pan, panqueques, bizcochos, pasta, caramelos, bebidas, salchichas	Aumento de fibras y proteínas	Campderrós, 2017; Kamble et al., 2019; Z. Liu et al., 2023; Yokota et al., 2009
Yogur	Aumento de propiedades nutricionales, funcionales y vida útil	Roslan et al., 2020
Tortillas de maíz	Mejora del perfil aminoacídico y aumento de fibras	Hernández-Reyes et al., 2018
Caramelo tipo <i>Nougat</i>	Aumento de proteína	Genta et al., 2002
Harinas nutricionales	Aumento de fibras y proteínas	Rotem y Almog, 2009

para Montevideo e Interior Urbano (Uruguay, 2006a, INE), lo cual define a este grupo de alimentos como de alto consumo, versátil y capaz de vehiculizar un ingrediente funcional como lo es la harina de okara y/o la harina de okara extrusada.

Si bien existen múltiples antecedentes de la utilización de harina de okara en productos panificados, y en particular, en productos de galletería dulces, *biscuits* (Agu et al., 2023; Bunde et al., 2010; Korkach et al., 2023; Silva et al., 2018). No se encontró ninguna referencia de formulaciones similares a las clásicas galletas rioplatenses saladas tipo marinas en las publicaciones indexadas en GoogleScholar¹ (Google, 2024) ni en la base de datos de Dimensions.ai² (Hook et al., 2018), utilizando como palabras claves

¹Un motor de búsqueda web de Google, de acceso libre que indexa el texto completo o los metadatos de la literatura académica en una variedad de formatos y disciplinas. Accesible en <https://scholar.google.com/>.

²Una plataforma de análisis potenciada con inteligencia artificial que proporciona ac-

todas las combinaciones de la lista *okara*, *soybean residue*, *soymilk residue*, *by-product*, *cracker*, *saltines*, *snack crackers*.

No obstante, existe un estudio reciente que declara ser el primero en evaluar la incorporación de harina de okara en galletas *soda crackers*, similares a las galletas marinas pero que utiliza bicarbonato de sodio o levadura y una etapa de fermentación para lograr un salto de horno y una textura característica (Hamid et al., 2023). Los resultados de este estudio es una galleta de un perfil “favorable” utilizando 20 % de okara como sustitución de harina de trigo. Esta galleta posee un nivel de fracturabilidad óptimo para el perfil característico del producto.

A partir de esta búsqueda bibliográfica, se decidió trabajar con galletas marinas con okara como alimento fuente de fibra, poniendo como foco la percepción del consumidor sobre la misma.

4.1.2. Galletas marinas fuente de fibra

El Reglamento Bromatológico Nacional define *galleta* como un nombre genérico, siendo el mismo el producto obtenido por cocción de una masa no fermentada o con escasa fermentación, elaborada mecánicamente y constituida por harina, agua potable, con o sin grasa comestibles, con o sin sal (Uruguay, 2012a, RBN). Dentro de esta definición amplia se pueden destacar las *galletas marinas*, las cuales se obtienen de una masa cortada con moldes especiales, a las cuales se le pincha la superficie para evitar la formación de globos, *galletas de salvado*, que son aquellas que poseen en su formulación al menos un 20 % sobre el total de harina de salvado de trigo y las “galletas de...”, las cuales según los ingredientes complementarios que las formulen pueden tener la denominación del mismo. Por ejemplo, en el caso de esta Tesis: *galletas marinas de okara*.

ceso a publicaciones, datos, citas, subvenciones, patentes y ensayos clínicos. Accesible en <https://www.dimensions.ai/>.

El *Reglamento Técnico MERCOSUR sobre Información Nutricional Complementaria (Declaraciones de Propiedades Nutricionales)* vigente en nuestro país (Uruguay, 2012b), exige al menos 3g de fibra cada 100g de producto listo para el consumo y 2,5g de fibra por porción para que un producto alimenticio sea considerado un *Alimento fuente de fibra*. Aprovechando las bondades del HOU y HOE como materias primas con alto contenido de fibra, resulta interesante cumplir con este requisito para conferir a las galletas de dicha denominación.

4.1.3. Caracterización Sensorial

La caracterización sensorial provee una representación de los aspectos cualitativos y cuantitativos de la percepción humana, permitiendo la medición de la reacción sensorial a los estímulos resultantes del uso o consumo de un producto, lo que se utiliza para hallar correlaciones con otros parámetros (Varela & Ares, 2014).

Los análisis sensoriales descriptivos (DA) son la herramienta más sofisticada que se conoce para la caracterización sensorial (Lawless & Heymann, 2010a). Las técnicas actuales de DA son un resultado de la unión de tres métodos clásicos: *Flavor Profile* (FP®), *Quantitative Descriptive Analysis* (QDA®), y el *Spectrum Method*®, estos métodos fueron inventados en 1950, 1974 y 1998 respectivamente (Varela & Ares, 2014).

Los DA permiten obtener descripciones sensoriales completas de los productos, para identificar características de los ingredientes, variables de los procesos y/o la determinación de los atributos sensoriales más importantes para la aceptación o rechazo de los consumidores (Stone et al., 2004).

Un DA completo requiere usualmente de un panel de entre 8 y 12 personas entrenadas en el uso de estándares de referencia, para entender y lograr la unificación de los atributos utilizados. Los panelistas suelen utilizar una escala cuantitativa para determinar intensidades, lo que permite el análisis estadístico de las respuestas. Cabe

resaltar que estas técnicas nunca podrían ser aplicadas con consumidores *naive*³, porque se conseguirían respuestas inconsistentes e irreproducibles (Lawless & Heymann, 2010a).

Los análisis descriptivos son muy útiles en cualquier situación donde se desee un análisis detallado de los atributos sensoriales de un sólo producto o la comparación de las diferencias sensoriales entre varios productos. Estas técnicas son frecuentemente utilizadas en el desarrollo de nuevos productos para medir qué tan cerca del objetivo se encuentra una determinada preparación o formulación (Elortondo & Moya, 2022; Lawless & Heymann, 2010a; Stone et al., 2004).

Si bien los DA han sido por mucho tiempo la herramienta de análisis sensorial predilecta de la industria, y tienen mucho respaldo como instrumentos de extrema utilidad en funciones clave como la investigación y desarrollo; los métodos convencionales clásicos (FP[®], QDA[®] y *Spectrum Method*[®]) son cada vez más inadaptables a la demanda industrial creciente y en continuo cambio. Este sector requiere información descriptiva muy diversa en el día a día, y los paneles sensoriales suelen saturarse con las altas demandas de trabajo. El mayor costo de una buena precisión y fiabilidad de los métodos convencionales de caracterización sensorial se ve reflejado en el tiempo y esfuerzo que conlleva dicho entrenamiento y mantención del panel (Elortondo & Moya, 2022).

Existen otras restricciones de los análisis descriptivos convencionales aplicados a la industria, como la falta de flexibilidad y la gran dificultad de adaptación a nuevos productos de un mismo panel sensorial, lo que exige una excesiva inversión de tiempo, dinero y recursos humanos para el cambio de configuración del panel por cada producto. Esto último también implica un gran problema en la investigación académica, dado que proyectos cortos o pequeños no justifican el entrenamiento de un panel sensorial desde cero o la falta de presupuesto no lo permite (Delarue & Lawlor, 2014).

³*Naive* se refiere a los consumidores que no tienen un entrenamiento especializado en análisis sensorial o cata de productos. Estos consumidores evalúan productos basándose en sus percepciones y preferencias personales sin conocimientos técnicos avanzados.

En los últimos años, y debido a esta demanda de análisis sensoriales más rápidos y flexibles, han surgido alternativas que no requieren la fase de entrenamiento del panel, e incluso podrían ser aplicadas por jueces entrenados en DA de otro producto o jueces sin entrenamiento explícito en análisis descriptivos (*jueces semi entrenados*), incluso algunas con consumidores *naive*. Estos métodos son particularmente útiles cuando la preocupación principal de los estudios está centrada en una idea rápida y certera sobre el posicionamiento sensorial relativo de una serie de productos (Valentin et al., 2012).

Estos métodos alternativos rápidos pueden ser categorizados en tres categorías dependiendo de la naturaleza de la tarea asignada a los panelistas: métodos basados en las descripciones verbales de los productos: *Flash Profile* (Dairou & Sieffermann, 2002), *Check-All-That-Applies* (CATA) (Buck & Kemp, 2018); métodos basados en la medida de las diferencias o similitudes de varios productos: *Free Sorting* (Lawless & Heymann, 2010b), Mapeo proyectivo (Risvik et al., 1994), *Napping* (Pagès, 2005); y los métodos basados en la comparación de productos individuales con una o varias referencias, como el *Polarized Sensory Positioning* (PSP) (Teillet et al., 2010) (Delarue & Lawlor, 2014).

4.1.4. Foco en el consumidor

Hoy en día, los consumidores son cada vez más exigentes con respecto a los productos que consumen, prefiriendo alimentos que sean naturales o que retengan sus características sensoriales y nutricionales, que estén libres de aditivos y conservantes, que sean microbiológicamente seguros, que tengan una larga vida útil y que sean convenientes de preparar (Henrique et al., 2014).

La decisión de compra de un producto por el consumidor está directamente determinada por la percepción del mismo sobre la capacidad que tiene el producto para cubrir una determinada necesidad (Agyekum, 2015). En este sentido, solo tiene razón de ser el desarrollo de un producto que tiene en cuenta la percepción del consumidor

sobre el mismo.

Según lo expuesto, se trabajará en pos de obtener un nivel de aceptabilidad de consumidor razonable, es decir, superior al punto central de una escala no estructurada tipo Likert (Yamashita & Millar, 2021), en los productos con okara y caracterizando los productos a través de preguntas CATA.

Durante el ensayo de preguntas CATA, se le presenta al consumidor una lista de palabras que representan atributos asociados a respuestas organolépticas del producto, y se le pide que seleccionen todas las que consideren apropiadas para describir el mismo, sin limitación en la cantidad de palabras que pueden seleccionar. Al aplicar esta técnica con consumidores *naive*, pueden agregarse términos de distinta naturaleza a la matriz de preguntas, tales como respuestas emocionales, respuestas hedónicas, uso del producto o cualquier otro término que el consumidor pueda llegar a asociar con el mismo (Buck & Kemp, 2018; Gámbaro et al., 2017).

A diferencia del análisis descriptivo convencional (DA), donde se utilizan escalas no estructuradas que permiten el análisis de una variable de intensidad de atributo de tipo continua con metodologías estadísticas robustas (Oppermann et al., 2017); en las preguntas CATA, las respuestas obtenidas son binarias, es decir, el consumidor decide si el atributo se encuentra presente o no.

El análisis de datos e interpretación de los resultados de un ensayo CATA corresponde a un área de la estadística denominada *estadística descriptiva de datos k -dimensionales*, debido a que se toma la frecuencia de selección de los k atributos como k variables de repuesta, se analiza cada muestra como una variable de clasificación y se obtienen n datos para muestra y atributo, donde n es el número de participantes del estudio (Romero & Villafranca, 2013).

4.2. Metodología y materiales

4.2.1. Formulación y obtención de producto

Formulación

Luego de obtener tanto la harina de okara uruguaya (HOU) como la harina de okara extrusada (HOE), se realizaron varias pruebas preliminares de formulación de galletas marinas, con la condición de que su contenido de fibra una vez estuviera pronta para el consumo fuera suficiente para denominarse “fuente de fibra”. Partiendo de una formulación base Se determinó que el rango 10 a 30 % de okara era acorde para el perfil de galleta buscado y se determinaron los niveles de aceite, agua, y sal en 10, 45 y 1,6 % respectivamente. Las formulaciones iniciales pueden verse en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Formulaciones de las galletas marinas de okara, cantidad de ingrediente expresado en porcentaje panadero, tomando como base de cálculo 100 % de harina.

Ingrediente	Control	HOU10	HOU20	HOU30	HOE10	HOE20	HOE30
Harina (%)	100	90	80	70	90	80	70
HOU (%)	0	10	20	30	0	0	0
HOE (%)	0	0	0	0	10	20	30
Agua (%)	45	45	45	45	45	45	45
Sal (%)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Aceite (%)	10	10	10	10	10	10	10

Elaboración de las formulaciones a escala piloto

Se mezclaron los ingredientes especificados en la Tabla 4.2 durante 3 minutos con ayuda de una batidora de mano Moulinex, modelo MR Supermix 130, luego, se culminó la formación de la red de gluten con 20 movimientos diagonales a mano. La masa lograda se dejó descansar tapada durante 15 minutos para estirarse en una sobadora de mesa TISSOT, de manera estandarizada hasta lograr un grosor de 3mm, donde se realizó un laminado simple para lograr 4 capas de masa superpuestas. Este laminado se llevó

a un grosor de 2,5mm y se dejó descansar durante 5 minutos. Se cortaron círculos de 45mm y se marcaron con un punzón de 4 dientes con separación de 3 mm en 3 sectores aproximadamente homogéneos del círculo. Las galletas formadas se dejaron descansar 5 minutos y se llevaron a un horno de convección forzada a 220°C por un tiempo de 7 minutos corroborando visualmente un color uniforme en la superficie. Se corroboró la cocción de la galleta *a posteriori* por diferencia de masa, logrando una humedad de la galleta menor al 5 %. Todas las etapas de descanso fueron realizadas con el producto tapado para evitar la deshidratación de la masa.

Caracterización fisicoquímica de las galletas elaboradas a escala piloto

Humedad Para determinar la humedad de las galletas se utilizó una balanza termogravimétrica OHAUS MB27, a 130°C utilizando 2g de muestra hasta obtener una diferencia menor a 1mg en 30 segundos. Se determinó la humedad por triplicado (Nielsen, 2014).

Merma durante cocción Se determinó la pérdida de humedad durante el horneado (Merma) registrando el peso de 10 galletas individuales antes y después del horneado. Se calculó la misma como la diferencia de peso sobre el peso inicial multiplicado por 100 (AACC, 2000).

Factor galleta El factor galleta es determinado para predecir la calidad general de la formulación que pueda tener incidencia en la geometría de una galleta cilíndrica (Método oficial 10-50.05 AACC, 2000). El mismo se calcula tomando seis galletas representativas del lote, las que se colocan alineadas y tocándose, midiendo 6 diámetros equivalentes (d_1^6); luego, se rotan las galletas 90° y se miden 6 nuevos diámetros equivalentes, ortogonales al primero (d_2^6). Finalmente, se mide la altura de las 6 galletas apiladas con un calibre (h^6) y se calcula en al menos 3 grupos de galletas el *Factor Galleta* (F_G) según la Ecuación 4.1.

$$F_G = \frac{d_1^6 + d_2^6}{2h^6} \quad (4.1)$$

Color instrumental Los parámetros de color instrumental $L^*a^*b^*$ de las diferentes muestras de galletas fueron analizados con un colorímetro Konica Minolta CM-700d. Se utilizó un ángulo del observador de 10° , iluminante D65. Tomando 3 mediciones en posiciones arbitrarias en la superficie de 3 unidades representativas del lote. Se calculó según la Ecuación 4.2 para las muestras la diferencia de color global (ΔE^*), un número único que indica qué tan alejada del control se encuentra una muestra (Nielsen, 2014).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4.2)$$

Firmeza Se evaluó la resistencia a la compresión del producto extrusado utilizando un analizador de textura (Modelo 3342, INSTRON, EUA). Para esto, se comprimieron galletas enteras de a una unidad, que no exhibieran marcas de ruptura previas, dispuestas en un soporte con separación de 2,6cm, utilizando una sonda de tipo *cuña de fractura* (Figura 4.1) y se obtuvo la fuerza máxima de compresión, medida en Newton (N), la energía de ruptura, medida en Joules (J), y el estrés de ruptura (o crujencia), medido en unidades arbitrarias.

Macro fotografía. Se obtuvieron fotografías en macro utilizando un Escáner HP Scanjet G3010 y el software de captura de escaneos de Windows 7, seteado a 500dpi en la máxima calidad posible. Se impidió entrada de luz al mecanismo óptico con una caja negra.

Resultados intermedios

Luego de obtener la caracterización fisicoquímica de las 7 muestras iniciales, como se detallará en la Sección 4.3.2, se descartó la muestra con sustitución de 30 % tanto

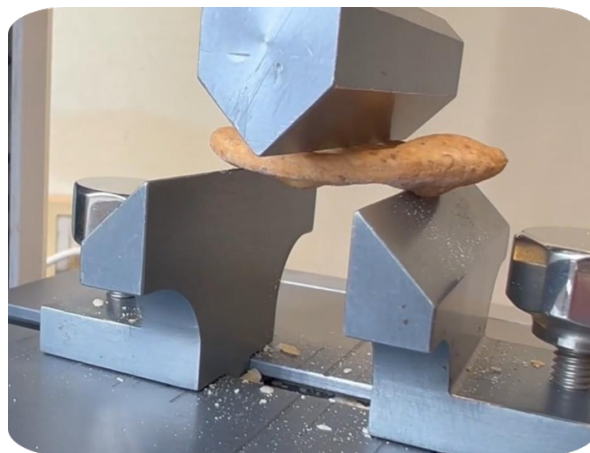


Figura 4.1: Cuña de fractura del texturómetro INSTRON durante un ensayo de resistencia a la compresión de una galleta con okara

de HOU como de HOE, debido a que presentaba los peores niveles de fracturabilidad y firmeza. Las muestras de 10 y 20 % fueron evaluadas en discusión abierta con los jueces sensoriales de Facultad de Química y se determinó continuar a una etapa industrial y ensayo con consumidores únicamente con las galletas con 20 % de sustitución (HOU y HOE), debido a que no se encontraron grandes diferencias en su perfil sensorial y se priorizó el contenido de fibra.

Para la siguiente etapa de trabajo en escala industrial, con el objetivo de obtener resultados de percepción por parte de consumidores y descripciones cuantitativas de las galletas marinas fuente de fibra con sustitución de 20 % de HOU y HOE. Se elaboró también como control una galleta integral clásica con 20 % de sustitución de Salvado de Trigo, debido a que comparte el mismo orden de proporción de fibra total en base húmeda con las materias primas en estudio, 42,8 % en el salvado de trigo y 40,5 % en los HOU y HOE (Tor & de los Angeles Herrera, 2002), sumado a que existen en el mercado múltiples presentaciones de «galletas fuente de fibra» que utilizan esta materia prima para el aporte de este ingrediente funcional.

Las galletas de Salvado fueron formuladas siguiendo la misma receta que para las

demás galletas (Sección 4.2.1) según la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Formulaciones de las galletas marinas de okara, cantidad de ingrediente expresado en porcentaje panadero, tomando como base de cálculo 100 % de harina.

Ingrediente	Salvado	HOU20	HOE20
Harina (%)	80	80	80
HOU (%)	0	20	0
HOE (%)	0	0	20
Salvado (%)	20	0	0
Agua (%)	45	45	45
Sal (%)	1.6	1.6	1.6
Aceite (%)	10	10	10

Tabla nutricional

El perfil de macronutrientes en formato de tabla nutricional se determinó en lineamiento con el Decreto Uruguayo N°117/006: *APROBACION DE RESOLUCIONES GMC Nos. 26/03, 44/03, 46/03 Y 47/03. MERCOSUR* (Uruguay, 2006b); en el mismo se define que los alimentos envasados, prontos para ofrecer al consumidor deben declarar, como mínimo, su valor energético, hidratos de carbono, proteínas, grasas totales, grasas saturadas, grasas trans, fibra alimentaria y sodio en su rótulo. Además, deberá especificarse las medidas caseras correspondientes y el porcentaje del valor diario para cada nutriente (%VD).

Para el cálculo de cada macronutriente, el Decreto N°117/006 permite utilizar valores medios conocidos de cada ingrediente o datos de tablas aceptadas, en este sentido, se tomó para el okara seco y extrusado los valores determinados en la Sección 2.2.4. Para los demás ingredientes, se tomaron los valores declarados por la Tabla de Composición de Alimentos del Uruguay (Tor & de los Angeles Herrera, 2002, FQ - UdelaR). Se detalla cómo se llevó adelante este cálculo en el Anexo B.2.

Para la determinación de la porción, se tomaron las reglas dadas por el mismo

Decreto N°117/006, donde para la categoría 1: Productos de panificación, cereales, leguminosas, raíces, tubérculos y sus derivados, se declara un valor energético medio por porción de 150 kcal.

Obtención de las galletas en etapa industrial

Para continuar al ensayo con consumidores, se utilizó las instalaciones y equipos cedidos por la Escuela de Panadería del Centro de Industriales Panaderos del Uruguay⁴.

El procedimiento fue análogo al descrito en la etapa de laboratorio (Sección 4.2.1) con las siguientes diferencias: Se amasó en una amasadora industrial Bongard durante 1 minuto a velocidad baja y 4 minutos a velocidad alta. Se culminó la formación de la red de gluten utilizando una sobadora industrial Bongard. Se respetaron los descansos de la etapa de laboratorio y las características de altura y corte. El marcado se realizó con un *pin-roller* con separación interclavo de 0,5cm y se cocinaron en un horno de bandejas rotativos Bongard a 220°C durante 13 minutos.

Se cocinaron 250 galletas de cada una de las tres formulaciones para utilizarlas como unidades experimentales en los siguientes ensayos sensoriales con consumidores y jueces. Se descartaron todas las galletas que se apartaban del perfil medio de altura luego de la cocción debido a errores en el perforado de las mismas y aquellas unidades quebradas.

4.2.2. Caracterización sensorial: CATA y DA

Para la caracterización sensorial de las galletas marina fuente de fibra se optó por utilizar acercamiento mixto, analizando su perfil objetivo utilizando la técnica de análisis descriptivo (DA) con panel de jueces entrenados de Facultad de Química, acompañado por un método descriptivo rápido que pueda recabar información sobre su perfil de sabor y textura desde el punto de vista de los consumidores, determinando la

⁴Puede informarse sobre el espacio y la escuela en <https://cipu.org.uy/web/>

aceptabilidad media de las galletas y preguntas CATA (*Check all that applies*).

Generación de descriptores. La determinación de los atributos a evaluar fue realizada en discusión abierta con el panel de jueces entrenados. Se le pidió a cada juez que probara las galletas y escribiera en una hoja todos los atributos que subjetivamente le fueran útiles para describir una diferencia entre las muestras. Luego, se estandarizó el nombre del atributo y se discutió sobre su definición y anclas para su aplicación en el DA (Elortondo & Moya, 2022).

Los atributos seleccionados fueron: homogeneidad de apariencia, altura de la galleta, superficie rugosa, dureza, crocancia, masticabilidad, sabor salado, sabor amargo y sabor extraño.

Adquisición de los datos. Los ensayos sensoriales fueron llevados a cabo utilizando el software RedJade⁵, el cual es una aplicación de análisis sensorial basada en SaaS (Software as a Service) que puede ser gestionada desde cualquier dispositivo con Internet, en cualquier lugar.

Ensayo sensorial con jueces: Análisis descriptivo Se le presentó a los jueces las 3 muestras: HOU, HOE y Salvado, cada una con 20 % de sustitución frente a la harina, codificadas con un número de 3 cifras, agua como borrador y un código QR con acceso a la plataforma virtual. Para cada atributo a evaluar, se le presentó una escala no estructurada de 10 centímetros, con la definición del atributo y sus respectivas anclas. Se puede observar la boleta presentada en la Figura 4.2.

Ensayo sensorial con consumidores: Aceptabilidad y preguntas CATA. Se le presentó a los consumidores las 3 muestras: HOU, HOE y Salvado, cada una con 20 % de sustitución frente a la harina, codificadas con un número de 3 cifras, agua como

⁵Más información y ejemplos de uso en <https://redjade.net/>

Evaluación de 3 muestras de galletas fuente de fibra.

Homogeneidad de apariencia

Poco Mucho

i Apariencia: ¿Qué tan homogénea encuentra esta galleta?

Altura de la galleta

Chata Alta

i Apariencia: ¿Qué tan alta (abombada) encuentra esta galleta?

Superficie rugosa

Poca Mucha

i Textura manual: ¿Qué tanta resistencia al tacto encuentra al pasar un dedo sobre esta galleta?

Dureza

Poca Mucha

i Textura bucal: ¿Qué tanta fuerza requiere en la primera mordida para partir esta galleta?

Crocancia

Poca Mucha

i Textura bucal: ¿Qué tanta fuerza requiere para romper esta galleta durante la masticación?

Masticabilidad

Pocas Muchas

i Textura bucal: ¿Cuántas masticaciones requiere para poder tragar correctamente esta galleta?

Sabor Salado

Nada Mucho

i Sabor: ¿Qué intensidad de sabor salado encuentra en esta galleta?

Sabor amargo

Nada Mucho

i Sabor: ¿Qué intensidad de sabor amargo encuentra en esta galleta?

Sabor extraño

Nada Mucho

i Sabor: ¿Qué intensidad de sabor extraño encuentra en esta galleta?

Figura 4.2: Esquematización de la boleta del análisis descriptivo utilizando jueces sensoriales entrenados llevado adelante con el software RedJade.

borrador y un código QR con acceso a la plataforma virtual. En primer lugar, se les pidió que evalúen la aceptabilidad del producto en una escala hedónica de 9 puntos de Likert (Elortondo & Moya, 2022).

Luego, se les presentó a los consumidores una pregunta CATA compuesta de 32 términos de adecuación del color (demasiado claro, color adecuado, demasiado oscuro), de adecuación de la crocancia (poco, adecuada, demasiado), de la cantidad de pin-tas oscuras (adecuada, demasiadas), de adecuación del sabor salado (poco, adecuado, demasiado), de textura (dura, blanda, suave, áspera, seca, húmeda, fácil de masticar, difícil de masticar), de sabor (extraño, natural, artificial, amargo), hedónicos (rica, fea), y de adecuación (para niños, para toda la familia, para adultos, nutritiva, para dietas, para el desayuno o merienda, para acompañar comidas). Se solicitó a los consumidores que marcaran todos los términos que consideraban que se aplicaban a la muestra que estaban probando. En la Figura 4.3 puede verse un esquema de la boleta utilizada en el software RedJade.

Las muestras fueron evaluadas por 107 consumidores reclutados en el edificio anexo de Facultad de Química y en un espacio multiuso de la tienda de productos naturales La Molienda en Ciudad Vieja, cedido para este ensayo.

4.2.3. Análisis estadístico de los ensayos sensoriales

Para el análisis descriptivo con jueces sensoriales, se siguió la metodología usual, tomando cada atributo como variable aleatoria, asumiendo normalidad de los datos y utilizando el ANOVA para predecir si existen diferencias significativas entre los productos evaluados. Además, se llevó a cabo como *post hoc* el test de Tukey, para realizar comparaciones múltiples y determinar específicamente cuáles grupos diferían entre sí.

Elortondo y Moya, 2022, indican que para el tratamiento de los datos de preguntas CATA, se genera una matriz de datos binarios de la siguiente forma: Para cada atributo se computa (1) si el consumidor lo seleccionó y (0) si no. A partir de esto, se construye

Evaluación de 3 muestras de galletas fuente de fibra.

¿Cuánto le gusta esta galleta?

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me es indiferente	Me gusta ligeramente	Me gusta	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

☐ Cantidad de pintas oscuras adecuadas	☐ Sabor extraño	☐ Poco sabor salado
☐ Demasiada cantidad de pintas oscuras	☐ Sabor natural	☐ Sabor salado adecuado
☐ Color demasiado claro	☐ Sabor artificial	☐ Demasiado sabor salado
☐ Color adecuado	☐ Rica	☐ Sabor amargo
☐ Color demasiado oscuro	☐ Fea	☐ Seca
☐ Nutritiva	☐ Poco crocante	☐ Húmeda
☐ Para niños	☐ Crocancia adecuada	☐ Fácil de masticar
☐ Para toda la familia	☐ Demasiado crocante	☐ Difícil de masticar
☐ Para dietas	☐ Dura	
☐ Para adultos	☐ Blanda	
☐ Para el desayuno o merienda	☐ Textura suave	
☐ Para acompañar comidas	☐ Textura áspera	

Figura 4.3: Esquematización de la boleta del ensayo CATA con consumidores llevado adelante con el software RedJade.

una tabla de contingencia (TC) con frecuencia de mención de cada término.

Luego, para cada uno de los términos seleccionados al menos para un 10 % de los consumidores, se establece si existe diferencia en la frecuencia de selección entre muestras mediante una prueba Q de Cochran, una técnica estadística no paramétrica que posee como hipótesis nula (H_0) la igualdad de frecuencia de selección para los

atributos entre las muestras. Al igual que para otros tests similares, la obtención de un valor de probabilidad menor que el nivel de significación establecido ($\alpha = 0,05$) indica un rechazo de la H_0 y concluye que existen diferencias significativas en la frecuencia de selección del atributo entre las distintas muestras.

Para obtener una representación gráfica de la posición relativa de cada muestra con respecto a la frecuencia de selección de los atributos (También llamado *mapa sensorial*), se parte de la tabla de contingencia para construir un Análisis de Correspondencia (AC), la cual es una técnica de disminución dimensional basada en la proyección de los datos de la TC en $k-1$ dimensiones ortogonales entre sí, que representan la mayor variabilidad posible de los datos experimentales; y donde los puntos en el espacio se sitúan en función de las asociaciones de las variables de la TC, con k un número menor a la cantidad de atributos en estudio (Kroonenberg & Greenacre, 2004).

Por último, para el ensayo con consumidores se trataron los datos de aceptabilidad de las muestras como una variable continua y se aplicó un test de ANOVA para corroborar que existan diferencias significativas y un post-hoc de LSD de Fisher. A su vez, se combinó este resultado con el resultado de las preguntas CATA en un Análisis de Penalizaciones. En este análisis, para cada atributo se calcula cuánto afecta el mismo sobre la aceptabilidad del producto. Los resultados de esto se presentan en un gráfico de barras que permite identificar los atributos que hacen que la aceptabilidad aumente, llamados atributos que conducen a la aceptación (*drivers of liking*) y los atributos que disminuyen la aceptabilidad, llamados atributos que conducen al rechazo (*drivers of disliking*) (Elortondo & Moya, 2022).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Obtención de los productos iniciales

Las galletas marinas fuente de fibra fueron formuladas (Tabla 4.2) utilizando los productos obtenidos en los Capítulos 2 y 3; siendo comparadas en la escala de laboratorio contra un control sin sustitución (Figura 4.4). Las galletas fueron codificadas como Control, HOU10, HOU20, HOU30, HOE10, HOE20 y HOE30 (Control, okara de disco seco y harina de okara extrusada en sustituciones 10, 20 y 30, respectivamente).

Durante el mezclado de ingredientes y amasado, se genera la matriz alimentaria, la cual es hidratada y se le entrega energía. Durante este proceso, dos componentes de las proteínas insolubles de la harina (glutenina y gliadina) se desdoblan y reorganizan en lo que se denomina "Red de gluten". Esta red es elástica y extensible, y en conjunto con los almidones gelatinizados permite retener los gases que se generan y expanden durante la cocción (Shewry et al., 2000).

Durante la cocción, suceden complejos fenómenos de transferencia de calor y masa simultáneamente, lo cual causa cambios fisicoquímicos y estructurales en el producto final con respecto a su contraparte cruda (Mondal & Datta, 2008). En particular, en la Figura 4.5 se observa que la merma elevada en las galletas (pérdida de aproximadamente 33.5 % de masa en forma de vapor de agua; Tabla 4.4) genera productos secos y aparentemente poco densos.

Además, aquellas galletas con formulaciones con mayor sustitución (HOU30 y HOE30) generan durante la cocción superficies de alturas más regulares en comparación con las galletas menos sustituidas (HOU10 y HOE10) debido al vapor de agua que se genera y escapa rápidamente del centro de las galletas. En las menos sustituidas, la red de gluten es más homogénea y no presenta interrupciones por ingredientes no cohesivos como el okara; el vapor se expande al acercarse a la superficie (zona más caliente) y forma cavidades de aire heterogéneas (Chevallier et al., 2000; Mondal & Datta, 2008).



Figura 4.4: Registro fotográfico: Etapa de laboratorio de las galletas marinas. De arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: Mezclado de ingredientes, sobado, corte, disposición para horneado, lotes primarios y envasado de producto.

En las galletas sustituidas, la red de gluten es porosa y permite el movimiento del vapor de agua sin cambiar la estructura del producto.



Figura 4.5: Macro fotografía de las galletas marinas con okara nativo seco (HOU) y harina de okara extrusada (HOE) en sus distintas concentraciones ensayadas.

4.3.2. Caracterización fisicoquímica

En la Tabla 4.4 puede corroborarse que todas las muestras obtenidas en condiciones de horneado estandarizadas presentan una humedad menor a 5 %, requisito impuesto por el Reglamento Bromatológico Nacional (Uruguay, 2012a) para productos de galletería. La merma obtenida es similar a la informada por Meriles et al., 2020 para galletas con la misma formulación.

Tabla 4.4: Resultados de humedad y merma en galletas marinas con okara nativo seco y extrusado. Los valores están expresados como la media ± 2 veces su desviación estándar, $n=3$. Las medias que comparten una misma letra en una fila, no mostraron diferencia significativa según la prueba pareada t de student ($p > 0,05$).

Muestra	Humedad	Merma
Control	(3.76 ± 0.16) a	(33.27 ± 0.42) cd
HOU 10	(1.88 ± 0.54) d	(34.9 ± 0.30) a
HOU 20	(2.54 ± 0.06) c	(33.62 ± 0.24) bc
HOU 30	(1.94 ± 0.08) d	(33.86 ± 0.20) b
HOE 10	(3.27 ± 0.50) b	(33.27 ± 0.88) cd
HOE 20	(2.35 ± 0.32) c	(33.33 ± 0.84) cd
HOE 30	(2.45 ± 0.34) c	(32.98 ± 0.74) d

El Factor Galleta (F_G) informado en la Figura 4.6 representa el cociente entre el diámetro y la altura de una galleta. Valores de FG altos implican una galleta con diámetro mucho mayor que su altura, o con alturas muy pequeñas en relación a su diámetro. En este caso, tomando todas las galletas, independientemente de su formulación, su diámetro promedio es de $(3,45 \pm 0,06)$ cm con un Coeficiente de Variación de 0,02, lo cual implica que se puede tomar el segundo caso descrito para la discusión, el F_G es inversamente proporcional a la altura de las galletas.

Con esta interpretación del F_G , la tendencia de los resultados sigue la descrita en relación a las observaciones de la Figura 4.5, las galletas con sustituciones de 30 % poseen en promedio una altura menor, y el grupo central de 10 y 20 % de sustitución no poseen diferencia significativa entre ellos, pero sí con el control, siendo esta la referencia de una galleta de “mejor” forma. Esto acompaña la hipótesis del impedimento de la red de gluten directamente proporcional a la cantidad de sustitución.

Como resultados del ensayo de colorimetría instrumental, puede verse en la Tabla 4.5 que todas las muestras sustituidas poseen un L^* (Luminosidad) significativamente menor que el control, a excepción del 10 %, lo cual implica una galleta más oscura. Por otro lado, todas las muestras sustituidas muestran un a^* mayor que el control,

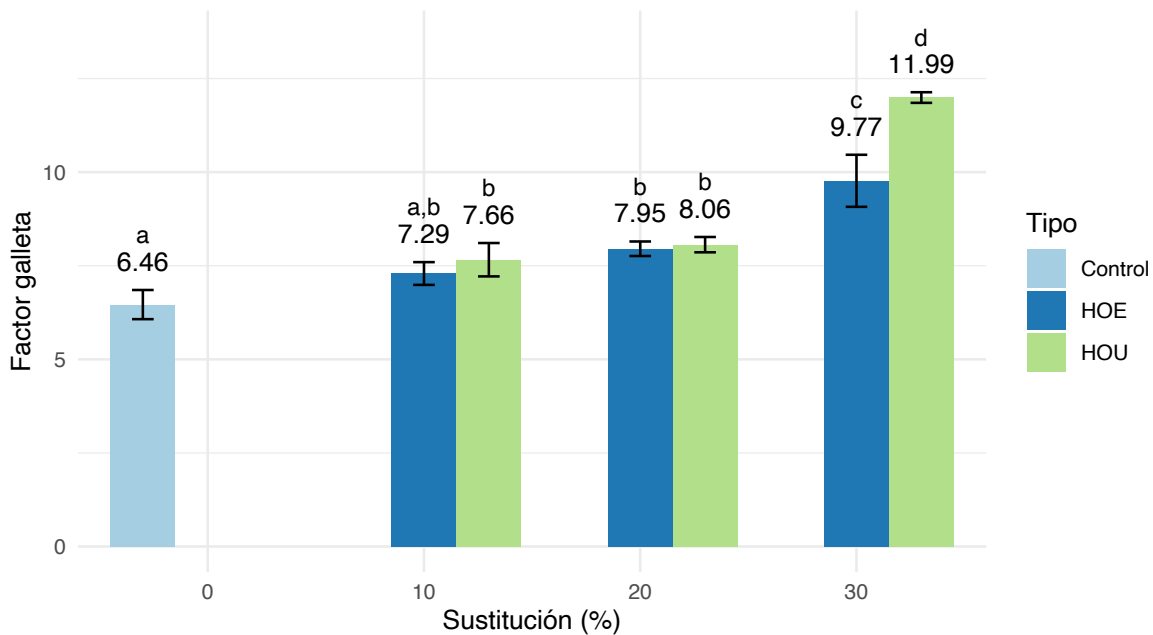


Figura 4.6: Determinación del Factor Galleta en función de la sustitución y tipo de okara. Los resultados se expresan como la media de 3 repeticiones. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de la medida. Las barras que comparten una misma letra no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p > 0,05$) (Anexo R.16).

parámetro relacionado con colores más rojizos al aumentar. No hay una tendencia clara en el parámetro b^* que refiere al intervalo azul-amarillo. El parámetro ΔE^* define una distancia absoluta en el espacio CIELab frente al control, sin embargo, no nos informa en qué dirección; la muestra HOU20 es la muestra más similar al control dentro del grupo de muestras sustituidas.

Durante el ensayo de firmeza y textura se obtuvieron los resultados ilustrados en la Figura 4.7. En primer lugar, se puede observar que las galletas sustituidas con 30 % de HOU y HOE presentan en simultáneo la menor fuerza de compresión, energía de ruptura y estrés de ruptura, lo cual implica que son el grupo de galletas más frágiles, este resultado acompaña lo discutido con los resultados del Factor Galleta: La sustitución de 30 % resultó ser las galletas de menor altura y poseen la red de gluten más impedida,

Tabla 4.5: Resultados de la determinación de colorimetría instrumental en galletas marinas con okara. En la columna *Color* se muestra el color equivalente en el espacio RGB a partir del Lab. Los valores están expresados como la media $\pm$ su desviación estándar, $n=9$. Las medias que comparte una misma letra en una fila, no mostraron diferencia significativa según la prueba pareada t de student ($p > 0,05$).

Muestra	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	Color
Control	(70.4 ± 3.26) a	(6.70 ± 1.92) d	(32.5 ± 3.43) a	0.00	
HOU 10	(64.0 ± 4.59) cd	(9.90 ± 1.06) bc	(31.0 ± 2.43) ab	7.22	
HOU 20	(69.2 ± 1.91) ab	(8.03 ± 0.52) cd	(27.6 ± 1.36) c	2.73	
HOU 30	(64.5 ± 3.24) bcd	(11.2 ± 0.90) ab	(29.6 ± 1.26) bc	7.72	
HOE 10	(66.8 ± 3.43) abc	(8.58 ± 1.60) c	(30.2 ± 2.28) bc	4.24	
HOE 20	(62.1 ± 3.73) d	(11.7 ± 1.27) a	(30.9 ± 1.49) ab	9.92	
HOE 30	(63.1 ± 3.43) cd	(10.9 ± 1.06) ab	(29.8 ± 0.92) bc	8.76	

logrando disminuir su elasticidad a tal punto de quebrarse con bajos esfuerzos.

Dentro de cada sustitución, puede observarse que las galletas del grupo HOE presentan reiteradamente valores más bajos para todos los ensayos de firmeza. Esto puede tener una explicación en base a la relación de fibra soluble/total elevada del HOE frente al HOU (Capítulo 2). La mayor proporción de fibra soluble implica una mayor capacidad de hidratación, previniendo aún más la formación de la red de gluten por indisponibilizar el agua para dicha función.

Meriles et al., 2020 trabajó con una receta similar a la utilizada en esta Tesis (50 % de agua y 7 % de aceite en lugar de 45 % y 10 % respectivamente) e informó para sustituciones crecientes de Germen de Trigo sobre harina de 10, 20 y 30 % una disminución de la fuerza máxima de compresión directamente proporcional a la sustitución, atribuyéndolo al impedimento de la red de gluten.

En líneas generales, las sustituciones de 10 y 20 % de HOU y HOE presentan valores intermedios para los 3 parámetros medidos entre el control y la sustitución de 30 %. Este resultado en conjunto con lo discutido anteriormente hace que estas galletas intermedias sean más adecuadas para proseguir a siguientes etapas de la Tesis.

Las galletas con sustitución de 10 y 20 %, tanto de HOU como de HOE fueron

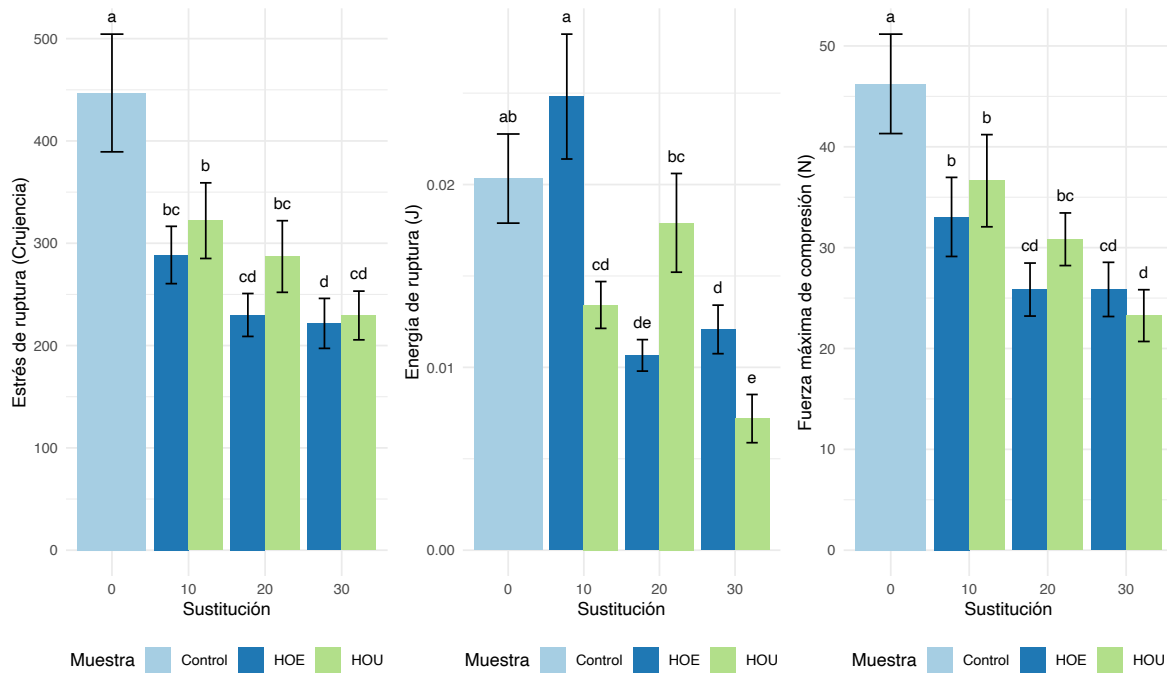


Figura 4.7: Resultados del ensayo de textura en galletas marinas fuente de fibra. De izquierda a derecha: Estrés de ruptura (crujencia), Energía de ruptura y Fuerza máxima de compresión. Los resultados se expresan como la media de 4 repeticiones. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de la medida. Las barras que comparten una misma letra en una columna no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba de tukey ($p > 0,05$) (Anexo R.20).

evaluadas por el panel de jueces sensoriales de Facultad de Química en una sesión abierta, con el objetivo de encontrar atributos que sirvieran para diferenciar la sustitución dentro de una misma materia prima. Ambas galletas fueron percibidas en forma similar por los jueces, encontrando muy pequeñas diferencias en color, amargor e intensidad de sabor, por lo que se decidió continuar únicamente con las sustituciones de 20 % para ambas materias primas priorizando un mayor contenido de fibra en la galleta por sobre las pequeñas diferencias sensoriales que se pudieron apreciar.

4.3.3. Tabla nutricional y escalado de producción

Se calculó teóricamente la tabla nutricional de las galletas marinas fuente de fibra sustituidas con 20 % de Salvado de trigo, HOU y HOE (Figura 4.8) y se observó que poseen un perfil nutricional similar, siendo algunas de las diferencias menores una disminución del contenido de grasa total y saturada a razón de un aumento de los carbohidratos totales en las galletas con Salvado.

Información Nutricional - Galletas marinas 20% HOU		
Porción:	38 g (6 galletas)	
	Cantidad por porción	%VD
Valor energético	150 Kcal = 626 KJ	7%
Carbohidratos totales	24 g	8%
Fibra alimentaria	3,6 g	14%
Grasas totales	5,0 g	9%
Grasas saturadas	0,2 g	1%
Grasas trans	0 g	-
Sodio	0,6 g	23%

Información Nutricional - Galletas marinas 20% HOE		
Porción:	38 g (6 galletas)	
	Cantidad por porción	%VD
Valor energético	150 Kcal = 626 KJ	7%
Carbohidratos totales	24 g	8%
Fibra alimentaria	3,6 g	14%
Grasas totales	5,0 g	9%
Grasas saturadas	0,2 g	1%
Grasas trans	0 g	-
Sodio	0,6 g	23%

Información Nutricional - Galletas marinas 20% Salvado		
Porción:	39 g (6 galletas)	
	Cantidad por porción	%VD
Valor energético	150 Kcal = 628 KJ	8%
Carbohidratos totales	26 g	9%
Fibra alimentaria	3,8 g	15%
Grasas totales	4,3 g	8%
Grasas saturadas	0,0 g	0%
Grasas trans	0 g	-
Sodio	0,6 g	24%

Figura 4.8: Tablas nutricionales de las tres galletas formuladas en escala piloto, en orden descendente: 20 % de sustitución con HOU, HOE y Salvado de trigo, respectivamente (Anexo B.2).

Las galletas en escala industrial fueron cocinadas en la Escuela de Panadería del Centro de Industriales Panaderos del Uruguay (Figura 4.9) para continuar a la siguiente etapa experimental.

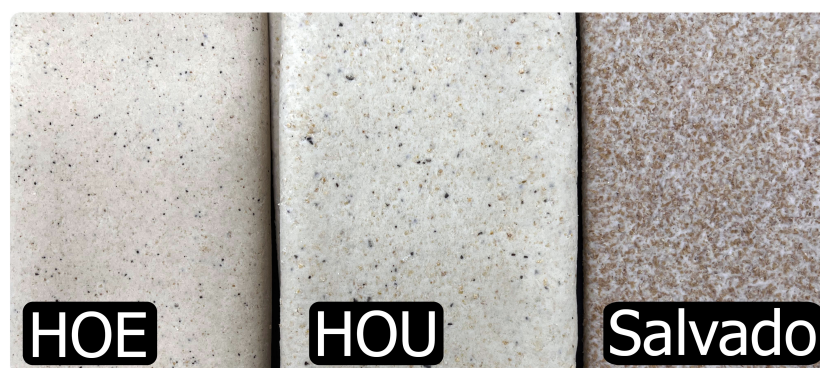


Figura 4.9: Masa cruda de las distintas galletas marinas cocinadas en la Escuela de Panaderos del CIPU.

4.3.4. Análisis sensorial con jueces entrenados: Análisis Descriptivo.

Los jueces sensoriales de Facultad de Química evaluaron las muestras cuantitativamente para los atributos de aspecto visual: altura y homogeneidad, referido a la altura promedio de la galleta, teniendo en cuenta los valles formados por los bolsones de aire; intensidad de sabor amargo, salado y extraño; y superficie rugosa, crocancia, dureza y masticabilidad como parámetros texturales (Figura 4.10).

Se encontró diferencia significativa en la altura de las galletas, lo cual se explica en línea con lo comentado al principio de esta sección, el salvado de trigo es volumétricamente mucho mayor al HOU y HOE, como se puede observar también en la Figura 4.9 y esto genera caminos preferenciales para el vapor de agua, generando un perfil más plano de la galleta. También, la galleta de salvado tuvo un perfil de menor crocancia, dureza y masticabilidad, así como una rugosidad mucho mayor, explicado a través del

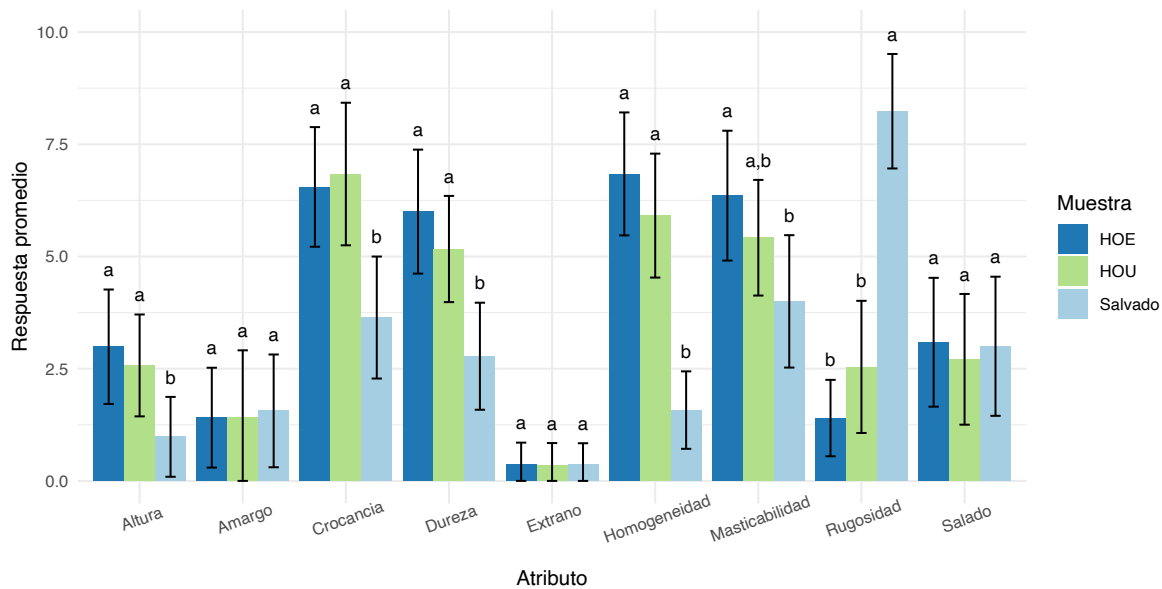


Figura 4.10: Resultado del análisis descriptivo para las galletas marina fuente de fibra. Los resultados se expresan como la media más menos su desviación estándar, $n = 8$. Las medias que comparten una misma letra para un mismo atributo no mostraron diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p > 0.05$) (Anexo R.17).

mismo fenómeno.

En particular para las galletas HOU y HOE, el panel de jueces sensoriales no encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) para ninguno de los atributos evaluados.

4.3.5. Análisis sensorial con consumidores: Aceptabilidad y preguntas CATA

Los 107 consumidores *naive* que se ofrecieron para participar del estudio poseían una edad en el rango de 21 a 76 años, con una mediana de 34 y un rango intercuartílico de 19,5, los cuales se identificaron en un 78,6 % con el sexo femenino y un 21,5 % con el sexo masculino (0,9 % no se identificó con ninguno de los dos) en la Tabla 4.6 se puede ver el cruce de variables Edad y Sexo.

Otro de los factores sociodemográficos encuestado fue el nivel educativo de los

Tabla 4.6: Tabla de contingencia de datos sociodemográficos. Se muestra en la primera columna los rangos etarios que corresponden aproximadamente a los cuatro cuartiles de datos. En la primera fila se muestra el sexo seleccionado por el consumidor, “NA” refiere a que no se siente identificado con ninguno de los anteriores. En cada entrada numérica de la tabla se muestra en orden descendente la frecuencia absoluta, y los porcentajes marginales de fila y columna respectivamente.

Edad vs Sexo	Femenino	Masculino	NA	Total de fila
	19	6	1	26
Menor a 25 años	73.1 % _f 22.9 % _c	23.1 % _f 26.1 % _c	3.8 % _f 100.0 % _c	100 % _f 24.3 % _c
	22	5	0	27
Entre 25 y 34 años	81.5 % _f 26.5 % _c	18.5 % _f 21.7 % _c	0.0 % _f 0.0 % _c	100 % _f 25.2 % _c
	21	6	0	27
Entre 35 y 44 años	77.8 % _f 25.3 % _c	22.2 % _f 26.1 % _c	0.0 % _f 0.0 % _c	100 % _f 25.2 % _c
	21	6	0	27
Mayor a 45 años	77.8 % _f 25.3 % _c	22.2 % _f 26.1 % _c	0.0 % _f 0.0 % _c	100 % _f 25.2 % _c
	83	23	1	107
Total de columna	77.6 % _f 100 % _c	21.5 % _f 100 % _c	0.9 % _f 100 % _c	100 % _f 100 % _c

participantes, el cual puede dividirse en 3 grupos de similares frecuencias relativas: Personas *no universitarias* ($n = 40$; 37,4 %), personas cursando una carrera universitaria o con un grado universitario incompleto ($n = 29$; 27,1 %) y personas que poseen un grado universitario ($n = 38$; 35,5 %).

Por último, se caracterizó a los participantes por su nivel de frecuencia de consumo de productos fuente de fibra en formato de galleta integral, obteniéndose las categorías: Habitualmente ($n = 42$; 39,3 %), Esporádicamente ($n = 61$; 57,0 %) y Nunca ($n = 4$; 3,7 %). En el entendido de que los no consumidores de este tipo de productos podían generar interferencias sobre los atributos escogidos y la aceptabilidad, se decidió filtrar sus respuestas para los siguientes análisis.

No existió evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de igualdad de las medias en los resultados de aceptabilidad para las tres muestras según el ANOVA, con un p-valor de 0.329, HOE ($6,52 \pm 1,26$), HOU ($6,62 \pm 1,40$) y Salvado ($6,33 \pm 1,63$).

Las galletas demostraron buenos niveles de aceptabilidad, aproximadamente 6,5 puntos en una escala hedónica de 9 puntos. Lo cual puede interpretarse como que los consumidores participantes aceptan en la misma medida tanto la galleta control con salvado, como cualquiera de las formulaciones con okara.

En la Figura 4.11 se puede observar el análisis de correspondencia en formato de Biplot, proyectando sobre los ejes 1 y 2 que explican toda la variabilidad de los datos solamente aquellas variables que poseen una diferencia significativa según el test Q de Cochran, es decir, aquellos atributos que fueron marcados una cierta cantidad de veces significativamente mayor para al menos una de las muestras ($p < 0,05$). La dimensión que explica un mayor porcentaje de la varianza está en nuestro caso en el eje horizontal, esto permite agrupar las muestras HOE, HOU y Salvado, en dos grupos bien diferenciados, Salvado por un lado y HOE y HOU por el otro.

Si bien esta afirmación debería levantar sospechas sobre la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas en la aceptabilidad del producto, ambos grupos están caracterizados por atributos que *a priori* pueden parecer negativos; sabor amargo, demasiada cantidad de pintas oscuras, textura áspera y poco crocante en el caso de la galleta de salvado y demasiado crocante y dura en el caso de las galletas con okara. Lo cual implica que en ambos grupos de muestras pudieron haber atributos sensoriales que afectaran la aceptabilidad.

Cabe destacar que los atributos *a priori* relacionados con características positivas de producto como rica, crocancia adecuada, color adecuado, sabor salado adecuado, fácil de masticar, nutritiva y sabor natural fueron seleccionados aproximadamente por igual en todas las muestras ($p > 0,05$ en el test Q de Cochran).

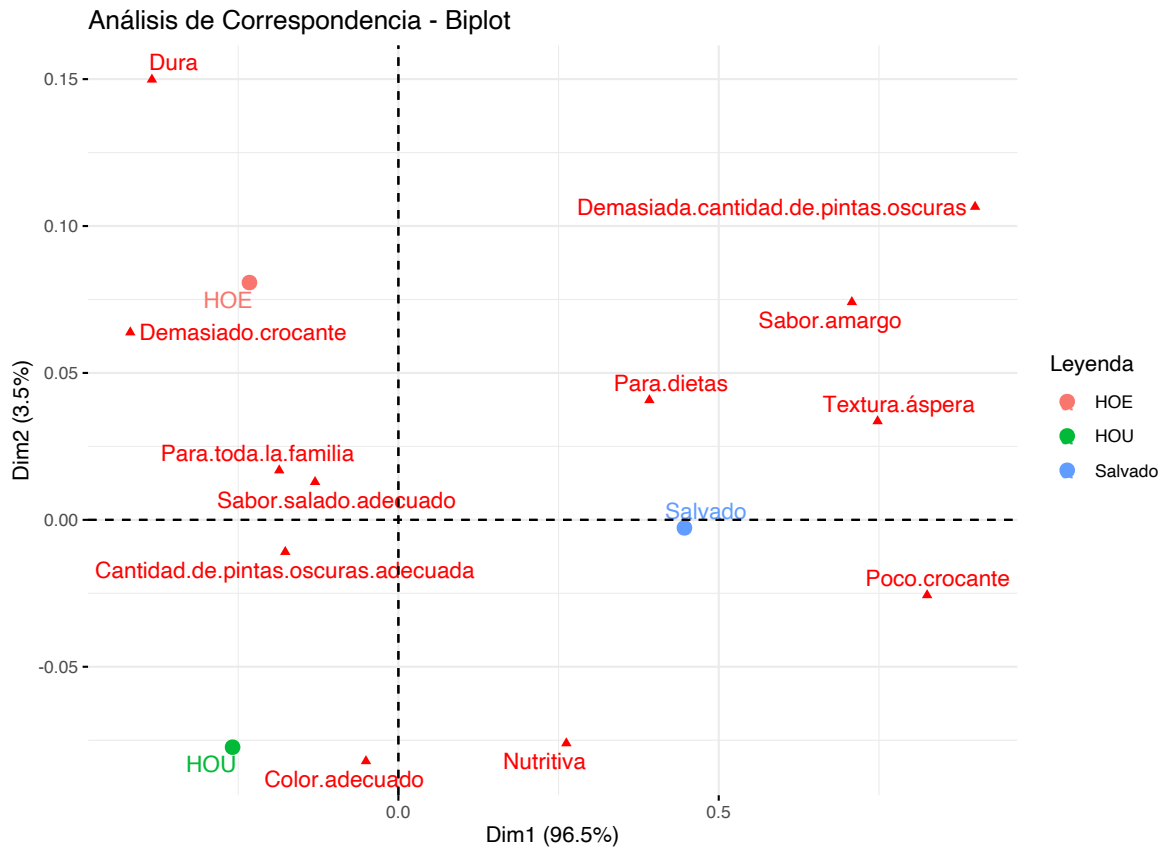


Figura 4.11: Resultado del ensayo CATA para las galletas marina fuente de fibra. Los resultados se expresan como un biplot del análisis de correspondencia, donde se proyectan las muestras y los atributos que las definen, $n = 107$. (Anexo [R.19](#)).

Los resultados de la penalización de atributos, presentados en la Figura [4.12](#), corroboran la clasificación de los atributos previamente mencionados como *a priori* positivos o negativos. El análisis de penalización indica, para cada atributo del ensayo CATA, si el mismo afectó positiva o negativamente la aceptabilidad de la galleta en el promedio de los consumidores.

Los consumidores que seleccionaron los atributos cantidad de pintas oscuras adecuada, rica, crocancia adecuada y demasiado sabor salado para una muestra, la evaluaron, en promedio, con mayor aceptabilidad que las que no presentaban estos atributos. En el otro extremo, marcar los atributos fea, poco crocante, difícil de masticar y exceso

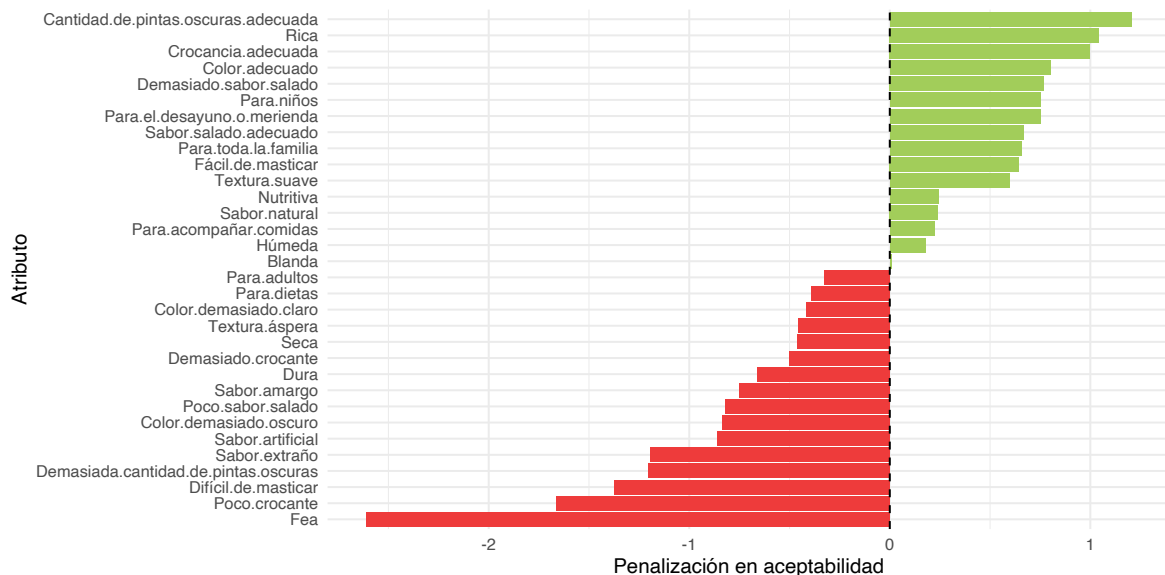


Figura 4.12: Análisis de penalización de atributos (Anexo [R.18](#)).

de pintas oscuras influyó negativamente en la aceptabilidad de las muestras.

Los atributos de crocancia, dureza, masticabilidad y homogeneidad evaluados por los jueces sensoriales, asociados a los atributos de crocancia y facilidad de masticación, y cantidad de pintas oscuras seleccionados por los consumidores, presentan una tendencia similar. Como fue expuesto anteriormente, la galleta de salvado presenta menor homogeneidad frente al otro grupo de muestras (según jueces sensoriales) y fue seleccionada por los consumidores como una galleta con demasiada cantidad de pintas oscuras y con textura áspera.

En crocancia y dureza, las muestras HOU y HOE fueron significativamente más crocantes y duras que el control con salvado (según jueces sensoriales) y fueron descritas por los consumidores también como galletas duras y demasiado crocantes.

Resulta interesante comentar que, disponiendo de un panel de jueces entrenados, el análisis descriptivo por sí solo hubiera concluido que las características sensoriales que presentaba la galleta de salvado (menor altura, crocancia, dureza, homogeneidad, masticabilidad y mayor rugosidad) podían afectar la aceptabilidad por parte de los

consumidores.

Sin embargo, el ensayo de aceptabilidad con consumidores y preguntas CATA concluye algo distinto: el consumidor no logra ponderar estas diferencias en crocancia y dureza frente al aspecto subjetivo y, por tanto, aprecia las tres galletas de manera similar. Además, al indagar la aceptabilidad directamente sobre el público objetivo, se obtienen *insights* cuantitativos de la aceptabilidad global, permitiendo afirmar que las galletas desarrolladas poseen una buena aceptabilidad.

A partir de los resultados de esta sección, se concluye que tanto las galletas HOU como HOE serían productos aceptados por consumidores dentro de la demografía estudiada y en función de su costo y marketing, podrían sustituir o a lo sumo captar parte de los consumidores de galletas con otro tipo de fuentes de fibra.

En el caso de las galletas HOE, se debe agregar al balance de costos (Capítulo 5) su obtención, y debe estudiarse en detalle los beneficios de la fibra soluble del HOE como ventaja estratégica de su utilización como materia prima.

4.4. Conclusiones

Se formularon y analizaron instrumental y sensorialmente las galletas marinas sustituidas con HOU y HOE, comparando contra un control con y sin Salvado de trigo como fuente de fibra. Este último tipo de control se ensayó contra las galletas en estudio sensorialmente a través de un DA y preguntas CATA con aceptabilidad.

El okara seco puede ser utilizado como sustituto de harina e ingrediente funcional para el aporte de fibra en galletas marinas.

Los estudios realizados durante este Capítulo sugieren que las galletas HOU y HOE tienen el potencial de ser bien aceptadas dentro de la demografía estudiada. Estos productos podrían competir en el mercado de consumidores de galletas ricas en fibra, como las galletas de salvado. Se destaca la versatilidad y el valor añadido del okara seco

como sustituto de harina y como ingrediente funcional en la fortificación de productos con fibra.

No obstante, es crucial investigar más a fondo los beneficios específicos de la fibra soluble del HOE, para asentar esta ventaja estratégica en su uso como materia prima. Esta fibra soluble podría ofrecer beneficios adicionales que serían clave en la diferenciación de estos productos en el mercado.

Capítulo 5

Análisis económico preliminar

El contenido teórico de este Capítulo está basado en el material teórico del curso de grado *Proyecto Industrial*¹ de la Facultad de Ingeniería (UdelaR).

5.1. Introducción

A la hora de intentar realizar una transferencia al plano industrial, es necesario plantear un proyecto que además de generar un producto aceptado por los consumidores, sea viable desde el punto de vista económico y financiero. El objetivo del presente Capítulo es realizar un análisis económico preliminar, que funcione como base para un estudio más detallado según las necesidades de la propia empresa que elabora Tofu y por lo tanto dispone del okara o de un hipotético interesado/a.

Para determinar la viabilidad económica se cuantifican las inversiones, sus beneficios y sus costos, lo cual es necesario para calcular el resultado económico y la viabilidad del proyecto. Se tienen en cuenta las inversiones tanto amortizables como las no amortizables. Además, se debe tener en cuenta el costo de producción del HOU y HOE, así como de las galletas marinas fuente de fibra.

Los gastos de administración y comercialización, y los fiscales, a partir de los cuales se calcula el Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas y las Utilidades Netas disponibles de la empresa para un período dado; así como los beneficios de venta del producto, que incluye el estimado de volumen de venta y fijar un precio final del mismo no serán abordados en este Capítulo, dado que dependen de cada realidad y de un estudio de mercado que escapa a los objetivos de la Tesis. No obstante, estos flujos de dinero son necesarios para encontrar un *punto de equilibrio*, factor de gran importancia a la hora de determinar la viabilidad económica del proyecto y concluir acerca del margen que presenta la obtención de las utilidades.

¹El programa es accesible en <https://www.fing.edu.uy/es/curso/grado/2019/proyecto-industrial-1>

5.2. Estudio de inversiones

Una inversión constituye un acto mediante el cual se afecta un bien, con la esperanza de obtener beneficios futuros, en donde es el propio bien el que actúa como soporte.

Las inversiones pueden clasificarse según:

- **Inversiones amortizables:** Son aquellas correspondientes a la compra de bienes o servicios que son útiles al proyecto durante un determinado tiempo y pierden valor a lo largo de la vida útil de este.
- **Inversiones no amortizables:** Son aquellas vinculadas al stock de los elementos que son necesarios para garantizar la continuidad de la producción. Estos stocks no pierden valor, ya que se van renovando a medida que se utilizan.

Dado que el costo de producción del HOU, HOE y Galletas marinas con okara que se determinan en la Sección 5.3 poseen factores de cobertura dentro de su costo, se asume que están contemplado dentro del mismo las inversiones no amortizables a modo de simplificación del cálculo.

Se supone como base que el interesado/a posee una planta alimenticia habilitada y funcionando; que posee espacio físico acondicionado para ubicar los equipos y capital propio de inversión. Además, tiene contratado un equipo de técnicos y al menos un ingeniero/a alimentario/a trabajando a tiempo completo en planta, el cual se encargará de la adecuación y viabilización de producción, así como del registro de producto ante la Intendencia de Montevideo y otros eventuales organismos competentes del país.

Las inversiones amortizables para este estudio se tomarán como el costo de compra de un horno para el secado del okara fresco, una trituradora industrial que permita obtener el HOU y de una extrusora que permita obtener el HOE. También se requiere una amasadora, un torno de trabajo y una sobadora para la producción de las galletas.

Para todos los equipos que no se tenga una cotización real, se tomará el precio FOB² disponible en webs de acceso público, y se calculará el costo real del mismo instalado en planta como el precio FOB, un 60 % del mismo por concepto de impuesto a la importación, 10 % del mismo por concepto de traslado desde el puerto a la planta y 55 % del mismo por concepto de instalación, pruebas preliminares y puesta en marcha. A este costo de equipo se debe sumar el flete desde el país de origen hasta el puerto uruguayo (Ecuación 5.1).

$$\text{Costo aproximado} = \text{Cotización FOB} \times 2,25 + \text{Costo del flete} \quad (5.1)$$

Para el flete marítimo desde China se tomará el costo medio de USD 52 por metro cúbico de carga, según un informe logístico vigente a Mayo de 2024 (SINO Shipping, 2024).

Se agrega a las inversiones amortizables (Tabla 5.1), como ítem intangible, el costo de habilitación de un tipo de galletas marinas ante la Intendencia de Montevideo, 5 unidades reajustables (UR), aproximadamente USD 215 al mes de Junio de 2024.

Tabla 5.1: Costos amortizables aproximados con sus referencias.

Equipo	Inversión (USD)	Referencia
Horno / secador	2990	Anexo C.1
Trituradora	660	Anexo C.3
Extrusora	6600	Anexo C.4
Batidora	1170	[Baudin, UY]
Sobadora	2915	[Baudin, UY]
Torno	300	[Ocompra, UY]
Habilitación IM	215	[IM, UY]
Total	14800	

Otro costo que se toma como inversión no amortizable, que impacta directamente

²FOB: *Free on board*; corresponde al costo del equipo a pie de planta (EXW) y el traslado del mismo al puerto de salida.

sobre el costo de producción pero que no se está teniendo en cuenta porque el cálculo implica detalles operacionales de la planta es el asociado a contratar un nuevo ayudante de panadero que manejaría la línea de secado y producción de galletas, lo cual insume un total de USD 681 por mes según la última actualización del Consejo de Salarios en fecha del 19 de Setiembre de 2023³.

5.3. Estudio de costos de producción

Para el análisis económico preliminar, se calculará el costo de producción del HOU y HOE, así como de las galletas marinas fuente de fibra con okara sin teorizar sobre su viabilidad desde el punto de vista operacional, ni desde su punto de vista comercial.

Para el costo de producción del HOU, se asume que el okara puede secarse en el horno eléctrico turbinado descrito en la Sección 5.2 y desarrollado en el Anexo C.1. En este último se calcula el tiempo de secado para una batchada de 66,0 kg de okara fresco, cuánto okara seco se obtiene de esta operación unitaria (25,5 kg) y el consumo eléctrico a través de una aproximación del proveedor; resultando en un costo de 0,50 USD/kg HOU.

Al sumarle la operación unitaria de extrusión (Anexo C.4) con factores de cobertura que dan cuenta de la incertidumbre del proceso, se obtiene un costo de producción del HOE de 0,69 USD/kg HOE.

El costo de las materias primas para la producción de las galletas marinas fuente de fibra con okara son: harina, aceite de girasol y sal, 0.50, 2.73 y 1.38 USD/kg respectivamente, proporcionados por el Centro de Industriales Panaderos del Uruguay (CIPU). El agua se tomó del pliego tarifario de OSE vigente (0,003 USD/kg) y el okara como 0,50 y 0,69 USD/kg según si las galletas eran formuladas con HOU o HOE.

Para las galletas con HOU, se calculó el costo por kilogramo de masa cruda reali-

³<https://www.gub.uy/ministerio-trabajo-seguridad-social/tematica/consejos-salarios-negociacion-colectiva>

zando una suma ponderada y teniendo en cuenta la merma de cocción resultó en 9,11 USD/kg, lo cual corresponde a 0,35 USD/porción de 38 g (6 galletas).

Para el caso de las galletas con HOE, se procedió de forma análoga, obteniendo un costo de producción de 9,40 USD/kg, o de forma equivalente, 0,36 USD/porción de 38 g (6 galletas). Se puede ver un resumen de estos costos de producción en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Costos de producción de productos expresados por kilogramo y por porción. La porción de las galletas corresponde a 38g (6 galletas).

Producto	USD/kg	USD/porción
HOU	0,50	
Galletas marinas con HOU	9,11	0,35
HOE	0,69	
Galletas marinas con HOE	9,4	0,36

La empresa deberá decidir un precio de venta del producto, el cual también deberá absorber el costo de distribución del mismo para asegurar una utilidad positiva. Según United States Department of the Interior, National Park Service, 2020, se puede calcular precio de venta sugerido por el fabricante para minoristas con la Ecuación 5.2.

$$\text{Costo total} \times (1 + \text{Margen medio tabulado}) = \text{Precio sugerido de venta} \quad (5.2)$$

El valor del margen medio informado para 2021 en Estados Unidos es de 78 % para alimentos generales; tomando un factor de 10 % de cobertura sobre el precio de producción para convertirlo en total y asumiendo que un paquete de galletas marina fuente de fibra pueda contener 4 porciones (24 galletas), se calcula un precio de venta sugerido estimado de 2,71 USD para un paquete de galletas marina fuente de fibra con HOU y 2,80 USD para el producto fabricado con HOE.

Como comentario final, resulta pertinente recordar que durante el desarrollo de

los cálculos se realizaron varias suposiciones y se aplicaron factores de cobertura, por lo que se puede afirmar que estos costos de producción y precios son cotas superiores del producto real.

5.4. Viabilidad económica

El estudio de viabilidad económica consiste en determinar si el producto se ubica por encima del punto de equilibrio (se estima ganancia) o por debajo del mismo (se estima pérdida). Para ello, se debe estimar un volumen de venta del producto, lo cual requiere un estudio de mercado que escapa de la presente Tesis y calcular el costo de producción de dicho volumen de venta. Esto generaría un costo mínimo de venta lo cual hace posible el análisis riguroso de la viabilidad del proyecto.

No obstante, con el permiso de Naturezas, la empresa proveedora del okara para la Tesis, se realizó el análisis necesario para contestar la premisa: Si la empresa accediera a invertir en este horno eléctrico y el triturador para el secado del okara, asumiendo que los cálculos realizados hasta el momento modelan la realidad, y asumiendo que el HOU podría ser empleado para reemplazar el pan rallado de sus productos; ¿Cuánto tiempo tarda la empresa en recuperar la inversión realizada?

Actualmente, la empresa consume 600 kg mensuales de pan rallado industrial que se utilizan en 3 productos distintos rebozados, a un costo de 2,44 USD/kg. Lo cual implica que comenzar a usar el HOU de su propia producción (0,50 USD/kg HOU) en lugar de esta materia prima conduce en un ahorro de USD 1162 mensuales.

Teniendo en cuenta el costo de un nuevo empleado/a extra que maneje la línea de secado (USD 681 mensuales, Sección 5.2), la decisión implica un ahorro neto de USD 481 mensuales (A).

La inversión del horno y la trituradora contabilizan USD 3.650, el cual se le agrega un factor de cobertura de 30 % debido al costo de otros materiales y consumibles del

proceso (Total de inversión de USD 4.750); por otro lado, la re-habilitación por el cambio de proceso y materias primas en IM de sus 3 productos implican una inversión de USD 645 (Sección 5.2), totabilizando una inversión total amortizable de USD 5390 (I).

Para ser conservadores, se puede tomar el período de amortización de los equipos en 5 años (60 meses), coincidiendo con el tiempo de duración de una habilitación de producto ante IM. Esto implica que tanto los equipos como el producto desvaloriza su inversión en un período de 60 meses; el valor de las inversiones decae a razón de 89,8 USD por mes (D) suponiendo linealidad y calculado según la Ecuación 5.3.

$$\text{Devaluación mensual} = \frac{5390 \text{ USD}}{60 \text{ meses}} \approx 89,83 \text{ USD/mes} \quad (5.3)$$

Para calcular el tiempo en el que se repaga la inversión inicial de USD 5390 (I), considerando un ahorro mensual de USD 481 (A) y una devaluación mensual de USD 89,8 (D) se utiliza la Ecuación 5.4

$$\text{Tiempo para recuperar la inversión} = \frac{I}{A - D} \approx 13,78 \text{ meses} \quad (5.4)$$

Este tiempo aproximado para recuperar la inversión de 14 meses es un indicador de que la producción del HOU puede ser viable, aunque se requiere un estudio más detallado, por ejemplo, actualmente existe un costo asociado al retiro del okara como descarte por una empresa tercerizada, este costo será variable en función de la capacidad productiva del HOU diario y podría eliminarse con la compra de más de un horno de secado, influyendo este otro factor de ahorro.

Además, y particularmente para el caso de Naturezas, esta inversión cerraría un proceso de economía circular donde ellos invierten en su semilla orgánica de soja y la revalorización del okara implica residuo cero en su modelo de negocios, lo cual es una estrategia de marketing con posible influencia en su utilidad mensual. Aún más,

el okara en formato de HOU podría ser usado en otros productos (como las galletas marinas fuente de fibra, logrando un ingreso mayor de la misma materia prima).

5.5. Conclusiones

En este Capítulo, se realizó un análisis económico preliminar para evaluar la viabilidad del proyecto de inversión para la obtención del HOU por parte de Naturezas, así como el costo de producción asociado a un proyecto de producción de galletas marinas fuente de fibra utilizando okara en formato de HOU y extruída (HOE). Con ello, se ha preparado una base para evaluaciones más profundas en el futuro.

Se identificaron y clasificaron las inversiones de mayor tamaño, destacando la compra de equipos esenciales como el horno secador y la extrusora. Estos costos se estimaron utilizando valores de referencia y se calculó un costo aproximado de instalación y puesta en marcha.

Se calcularon los costos de producción de las materias primas (0,50 USD/kg de HOU y 0,69 USD/kg de HOE) y las galletas sustituidas por dichos ingredientes, un costo de producción por porción de 0,35 USD y 0,36 USD respectivamente. Se estimó un precio de venta sugerido para un paquete de galletas marinas fuente de fibra con HOU de 2,71 USD y para las galletas con HOE es de 2,79 USD.

Se realizó un análisis de viabilidad tentativo para la producción de HOU, otorgando un tiempo aproximado de repago de inversión de 14 meses.

Este análisis preliminar proporciona una perspectiva conservadora, obteniendo así cotas superiores de todos los costos de equipamiento y producción que pueden funcionar como puntapié para un hipotético interesado/a en llevar adelante un proyecto de inversión con el objetivo de obtener estas materias primas y/o productos.

Conclusiones generales

A modo de *racconto*, en el transcurso de esta Tesis se trabajó en conjunto con una industria Uruguaya que poseía un problema: el descarte de un producto con alto valor nutricional que puede ser aprovechado para la alimentación humana.

A partir de este problema, se plantearon hipótesis que condujeron a *una* de las posibles soluciones; la obtención de una harina de okara de producción local (HOU): El estudio de su composición, determinó un elevado contenido de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados y en particular, fibra dietética. Además, mediante su transformación a través del proceso unitario de extrusión se logró la harina de okara extrusada (HOE), la cual aumentó el contenido de fibra soluble del subproducto.

Se comprobó que, a una escala piloto, es posible sustituir alimentos empanados con pan rallado por el HOU y que tanto con HOU como con HOE, pueden formularse galletas marinas fuente de fibra con buena aceptación por parte de los consumidores.

Se estudió de forma preliminar la inversión mínima que debería realizar la empresa para producir ambas materias primas y se calculó que la obtención del HOU como sustituto del pan rallado implica un ahorro permanente para Naturezas a partir de los 14 meses aproximadamente.

Estos resultados permiten el estudio de viabilización por parte de la empresa para lanzar al mercado el HOU o HOE (previa habilitación ante los organismos de contralor) como sustituto doméstico e industrial del pan rallado. Se concluye que las capacidades de estos productos para enriquecer con fibra productos clásicos del mercado que suelen

no ser tan elegidos por la media de los consumidores, como panes integrales, son muy favorables y por tanto se considera que el aporte de este trabajo académico a la industria no es despreciable.

De cara a futuro, para continuar explorando el okara como materia prima, es necesario estudiar en detalle su perfil nutricional desde un punto de vista bioquímico, para delucidar los mecanismos internos de su contenido de fibra y en particular de la fibra soluble del HOE. También se puede pensar en utilizar el okara en otros alimentos inexplorados en esta Tesis como barras de cereal, muffins, premezclas y otros panificados de alta aceptación en nuestro país; además de toda la gama de productos sin gluten, usualmente carentes de fibra.

En otros aspectos más innovadores, se pueden explorar las propiedades del okara como alimento funcional enfocándose en sus proteínas, particularmente en la composición y tecnologías para obtener un concentrado proteico o aislado proteico, y explorar posteriormente las propiedades tecnofuncionales de los mismos como su capacidad emulsionante o gelificante.

En el plano personal, durante estos dos años de trabajo experimental, no solo aprendí técnicas analíticas y mejoré mi destreza en el trabajo de laboratorio, sino que también adquirí una comprensión profunda de la coordinación temporal de ensayos, el funcionamiento industrial y la gestión de recursos humanos.

Bibliografía

- AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* [AACC es American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee]. <https://books.google.com.uy/books?id=xJwQAQAAMAAJ>
- Agu, H. O., Ihionu, J. C., & Mba, J. C. (2023). Sensory and physicochemical properties of biscuit produced from blends of whole wheat, soy okara and tigernut residue flours. *Heliyon*, 9(4), e15318. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15318>
- Agyekum, C. (2015). Consumer Perception of Product Quality. *Scientific and academic publishing*, 3, 25-29. <http://article.sapub.org/10.5923.j.m2economics.20150302.01.html>
- Aktas-Akyildiz, E., Masatcioglu, M. T., & Köksel, H. (2020). Effect of extrusion treatment on enzymatic hydrolysis of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 93, 102941. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102941>
- AOAC, Horwitz, W., & Latimer, G. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (Vol. 1) [AOAC significa Association of Official Analytical Chemists]. AOAC International. <https://books.google.com.uy/books?id=kPe4NAEACAAJ>
- Aussanasuwannakul, A., Teangpook, C., Treesuwan, W., Puntaburt, K., & Butsuwan, P. (2022). Effect of the Addition of Soybean Residue (Okara) on the Physicochemical, Tribological, Instrumental, and Sensory Texture Properties of Extruded Snacks. *Foods*, 11(19), 2967. <https://doi.org/10.3390/foods11192967>

- Azanza, P., & Gascon, F. (2015). Shelf-stable Dried Okara from the Wet By-product of Philippine Soybean Curd Processing. *Philippine Journal of Science*, 144(2), 171-185. <https://philjournalsci.dost.gov.ph/home-1/43-vol-144-no-2-december-2015/543-shelf-stable-dried-okara-from-the-wet-by-products-of-philippine-soybean-curd-processing>
- Bader Ul Ain, H., Saeed, F., Khan, M. A., Niaz, B., Khan, S. G., Anjum, F. M., Tufail, T., & Hussain, S. (2019). Comparative study of chemical treatments in combination with extrusion for the partial conversion of wheat and sorghum insoluble fiber into soluble. *Food Science amp; Nutrition*, 7(6), 2059-2067. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1041>
- Baker, C. (2011). *Industrial Drying of Foods*. Springer US. <https://books.google.com.uy/books?id=7qpnMQEACAAJ>
- Björck, I., Nyman, M., & Asp, N.-G. (1984). Extrusion cooking and dietary fiber. Effect on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chemistry*, 61(174-179). <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1984/Documents/CC1984a38.html>
- Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Bouaziz, M. A., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Influence of Oven-Drying Temperature on Physicochemical and Functional Properties of Date Fibre Concentrates. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1541-1551. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0549-z>
- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014, abril). *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118541685>
- Buck, D., & Kemp, S. E. (2018, enero). Check-All-That-Apply and Free Choice Description. <https://doi.org/10.1002/9781118991657.ch17>
- Bunde, M., Osundahunsi, F., & Akinoso, R. (2010). Supplementation of biscuit using rice bran and soybean flour. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(9). <https://doi.org/10.4314/ajfand.v10i9.62887>

- Cai, T., & Chang, K. (1997). Dry Tofu Characteristics Affected by Soymilk Solid Content and Coagulation Time. *Journal of Food Quality*, 20(5), 391-402. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1997.tb00482.x>
- Campderrós, M. E. (2017). Effect of Okara Flour Addition on the Physical and Sensory Quality of Wheat Bread. *MOJ Food Processing amp; Technology*, 4(6). <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.04.00111>
- Campos, D. A., Gomez-Garcia, R., Vilas-Boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of Fruit Industrial By-Products—A Case Study on Circular Economy Approach. *Molecules*, 25(2), 320. <https://doi.org/10.3390/molecules25020320>
- Caskey, C. D., Jr., & Knapp, F. C. (1944). Method for Detecting Inadequately Heated Soybean Oil Meal. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 16(10), 640-641. <https://doi.org/10.1021/i560134a020>
- Chen, J., Huang, H., Chen, Y., Xie, J., Song, Y., Chang, X., Liu, S., Wang, Z., Hu, X., & Yu, Q. (2020). Effects of fermentation on the structural characteristics and in vitro binding capacity of soluble dietary fiber from tea residues. *LWT*, 131, 109818. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109818>
- Chen, K.-I., Erh, M.-H., Su, N.-W., Liu, W.-H., Chou, C.-C., & Cheng, K.-C. (2012). Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(1), 9-22. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4330-7>
- Chen, Y., Ye, R., Yin, L., & Zhang, N. (2014). Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation. *Journal of Food Engineering*, 120, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.011>

- Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., & Lourdin, D. (2000). Contribution of Major Ingredients during Baking of Biscuit Dough Systems. *Journal of Cereal Science*, 31(3), 241-252. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0308>
- Colletti, A., Attrovio, A., Boffa, L., Mantegna, S., & Cravotto, G. (2020). Valorisation of By-Products from Soybean (Glycine max (L.) Merr.) Processing. *Molecules*, 25(9), 2129. <https://doi.org/10.3390/molecules25092129>
- Curcio, S., Aversa, M., Calabrò, V., & Iorio, G. (2008). Simulation of food drying: FEM analysis and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 541-553. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.016>
- Curti, M. I., Palavecino, P. M., Savio, M., Baroni, M. V., & Ribotta, P. D. (2023). Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) Gluten-Free Bread: The Effect of Milling Conditions on the Technological Properties and In Vitro Bioaccessibility of Polyphenols and Minerals. *Foods*, 12(16), 3030. <https://doi.org/10.3390/foods12163030>
- Dairou, V., & Sieffermann, J.-M. (2002). A Comparison of 14 Jams Characterized by Conventional Profile and a Quick Original Method, the Flash Profile. *Journal of Food Science*, 67(2), 826-834. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10685.x>
- Delarue, J., & Lawlor, B. (2014). *Rapid Sensory Profiling Techniques: Applications in New Product Development and Consumer Research*. Elsevier Science. <https://books.google.com.uy/books?id=mNBzAwAAQBAJ>
- Dey, D., Richter, J. K., Ek, P., Gu, B.-J., & Ganjyal, G. M. (2021). Utilization of Food Processing By-products in Extrusion Processing: A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.603751>
- Du, Z., & Bramlage, W. J. (1992). Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(9), 1566-1570. <https://doi.org/10.1021/jf00021a018>

- Dust, J. M., Gajda, A. M., Flickinger, E. A., Burkhalter, T. M., Merchen, N. R., & Fahey, G. C. (2004). Extrusion Conditions Affect Chemical Composition and in Vitro Digestion of Select Food Ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(10), 2989-2996. <https://doi.org/10.1021/jf049883u>
- Eerikäinen, T., Zhu, Y.-H., & Linko, P. (1994). Neural networks in extrusion process identification and control. *Food Control*, 5(2), 111-119. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(94\)90096-5](https://doi.org/10.1016/0956-7135(94)90096-5)
- Ek, P., & Ganjyal, G. M. (2020). Basics of extrusion processing. En G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 1-28). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00001-8>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Elortondo, F. J. P., & Moya, M. D. S. (2022). *Análisis Sensorial de Alimentos y Respuesta del Consumidor*. Editorial Acribia, S.A. https://www.editorialacribia.com/libro/analisis-sensorial-de-alimentos-y-respuesta-del-consumidor_140525/
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72. <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>
- FAO. (2018). FAO Terminology Portal [Entrada: 170967 - Colección: FAOTERM; "functional food"]. <https://www.fao.org/faoterm/viewentry/en/?entryId=170967>
- FAO. (2024a). Comercio / Cultivos y productos de ganadería - Metadatos [Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Fecha de consulta: 31/01/2024.]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>
- FAO. (2024b). Producción / Cultivos y productos de ganadería - Metadatos [Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Fecha de consulta: 31/01/2024.]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

- Fernández, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry*, 59(3), 345-353. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(96\)00114-8](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(96)00114-8)
- Firestone, D. (1998). *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. American Oil Chemists' Society. <https://books.google.com.uy/books?id=YnnsvwEACAAJ>
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., & Herald, T. (2008). Precooked Bran-Enriched Wheat Flour Using Extrusion: Dietary Fiber Profile and Sensory Characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00715.x>
- Galisteo, M., Duarte, J., & Zarzuelo, A. (2008). Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 19(2), 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2007.02.009>
- Gámbaro, A., Roascio, A., Boinbaser, L., & Parente, E. (2017). Influence of packaging and product information on consumer perception of cosmetic creams—A case study. *Journal of Sensory Studies*, 32(3). <https://doi.org/10.1111/joss.12260>
- Ganjyal, G. M., & Hanna, M. A. (2004). Effects of Extruder Die Nozzle Dimensions on Expansion and Micrographic Characterization During Extrusion of Acetylated Starch. *Starch - Stärke*, 56(3-4), 108-117. <https://doi.org/10.1002/star.200300200>
- Garcia-Amezquita, L. E., Tejada-Ortigoza, V., Campanella, O. H., & Welti-Chanes, J. (2018). Influence of Drying Method on the Composition, Physicochemical Properties, and Prebiotic Potential of Dietary Fibre Concentrates from Fruit Peels. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/9105237>
- Gardner, W. H. (2018, septiembre). Water Content. En *Methods of Soil Analysis* (pp. 493-544). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c21>

- Genta, H., Genta, M., Álvarez, N., & Santana, M. (2002). Production and acceptance of a soy candy. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 199-202. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(01\)00157-1](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(01)00157-1)
- Ghani, M. A., Barril, C., Bedgood, D. R., & Prenzler, P. D. (2017). Measurement of antioxidant activity with the thiobarbituric acid reactive substances assay. *Food Chemistry*, 230, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.127>
- Godavarti, S., & Karwe, M. (1997). Determination of Specific Mechanical Energy Distribution on a Twin-Screw Extruder. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67(4), 277-287. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0172>
- Gomez-Garcia, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113-571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>
- Google. (2024). Google Scholar [Un motor de búsqueda web de Google, de acceso libre que indexa el texto completo o los metadatos de la literatura académica en una variedad de formatos y disciplinas.]. <https://scholar.google.com>
- Grieshop, C. M., & Fahey, G. C. (2001). Comparison of Quality Characteristics of Soybeans from Brazil, China, and the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2669-2673. <https://doi.org/10.1021/jf0014009>
- Guimarães, R. M., Ida, E. I., Falcão, H. G., Rezende, T. A. M. d., Silva, J. d. S., Alves, C. C. F., Silva, M. A. P. d., & Egea, M. B. (2020). Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. *LWT*, 123, 109062. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109062>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Vol. 2). McGraw-Hill Interamericana. https://books.google.com.uy/books/about/An%C3%A1lisis_y_dise%C3%B1o_de_experimentos.html?id=FrB0QwAACAAJ&redir_esc=y

- Hamid, M. A., Zean, F. S., Hong, Y. C., & Sugianto, S. (2023). Effect of Okara on Physicochemical and Sensory Properties of Soda Cracker. *Bulletin of Culinary Art and Hospitality*, 3(1). <https://citeus.um.ac.id/bocah/vol3/iss1/2>
- Hara, A., & Radin, N. S. (1978). Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Analytical Biochemistry*, 90(1), 420-426. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90046-5)
- Henkel, J. (2000). Soy. Health claims for soy protein, questions about other components. *FDA Consumer Magazine*, 34(3), 13-20. https://permanent.access.gpo.gov/lps1609/www.fda.gov/fdac/features/2000/300_soy.html
- Henrique, N. A., Deliza, R., & Rosenthal, A. (2014). Consumer Sensory Characterization of Cooked Ham Using the Check-All-That-Apply (CATA) Methodology. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 265-273. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9094-7>
- Hernández-Reyes, K. E., Montemayor-Mora, G., Pérez-Carrillo, E., De la Rosa-Millán, J., García-Villanueva, C., & Serna-Saldívar, S. O. (2018). Effect of soybean bagasse addition on texture, sensory properties, and protein quality of maize tortillas. *Cereal Chemistry*, 96(2), 283-291. <https://doi.org/10.1002/cche.10120>
- Hibbeler, R., & Fan, S. (2004). *Statics and Mechanics of Materials*. Pearson/Prentice Hall. <https://books.google.com.uy/books?id=IyaMPwAACAAJ>
- Holscher, H. D. (2020). Diet Affects the Gastrointestinal Microbiota and Health. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 120(4), 495-499. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.12.016>
- Hook, D. W., Porter, S. J., & Herzog, C. (2018). Dimensions: Building Context for Search and Evaluation. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 3. <https://doi.org/10.3389/frma.2018.00023>
- Ibidapo, O., Henshaw, F., Shittu, T., & Afolabi, W. (2019). Bioactive components of malted millet (*Pennisetum glaucum*), Soy Residue “okara” and wheat flour and

- their antioxidant properties. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1886-1898. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1689998>
- Ibrahim, I. N., Kamaruding, N. A., Ismail, N., & Shaharuddin, S. (2021). Value addition to ice cream by fortification with okara and probiotic. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16253>
- Intendencia de Montevideo. (2024). Habilitación y Registro de Alimentos [Accedido: 27-05-2024]. <https://ckan.montevideo.gub.uy/dataset/habilitacion-y-registro-de-alimentos>
- Jayasingh, P., & Cornforth, D. P. (2004). Comparison of antioxidant effects of milk mineral, butylated hydroxytoluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. *Meat Science*, 66(1), 83-89. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(03\)00018-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(03)00018-4)
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- Kamble, D. B., Singh, R., Rani, S., & Pratap, D. (2019). Physicochemical properties, in vitro digestibility and structural attributes of okara-enriched functional pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14232>
- Khanpit, V. V., Tajane, S. P., & Mandavgane, S. A. (2022). Extrusion for Soluble Dietary Fiber Concentrate: Critical Overview on Effect of Process Parameters on Physicochemical, Nutritional, and Biological Properties. *Food Reviews International*, 39(9), 6250-6271. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2097689>
- Korkach, H. V., Kotuzaki, O. M., Shunko, H. S., Krusir, H. V., Huggi, C., & Breitenmoser, L. (2023). Innovative Technology of Biscuit Production Based on the

- Use of Secondary Products of Soybean Processing. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31(1), 128-139. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i1.263187>
- Krishnan, V., Khodadadi Tirkolaei, H., & Kavazanjian, E. (2023). An Improved Method for Determining Urease Activity from Electrical Conductivity Measurements. *ACS Omega*, 8(15), 13791-13798. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c08152>
- Kroonenberg, P. M., & Greenacre, M. J. (2004, julio). Correspondence Analysis. <https://doi.org/10.1002/0471667196.ess6018>
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010a). Descriptive analysis. En *Sensory evaluation of food* (pp. 227-257). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010b). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Springer New York. <https://books.google.com.uy/books?id=yRLfrVgU6CsC>
- Li, B., Qiao, M., & Lu, F. (2012). Composition, Nutrition, and Utilization of Okara (Soybean Residue). *Food Reviews International*, 28(3), 231-252. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.595023>
- Liu, K., & Ruiz, N. (2021). Soybean trypsin inhibitor and urease activities and their correlations as affected by heating method, duration, sample matrix, and prior soaking. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(7), 795-810. <https://doi.org/10.1002/aocs.12514>
- Liu, Z., Yang, J., Fan, W., & Jin, B. (2023). Preparation and quality of okara protein gel gummies. *SN Applied Sciences*, 5(5). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05355-2>
- Ludikhuyze, L., Indrawati, Van den Broeck, I., Weemaes, C., & Hendrickx, M. (1998). High Pressure and Thermal Denaturation Kinetics of Soybean Lipoxxygenase: a Study based on Gel Electrophoresis. *LWT - Food Science and Technology*, 31(7-8), 680-686. <https://doi.org/10.1006/fstl.1998.0424>

- Mateos-Aparicio, I., Mateos-Peinado, C., & Rupérez, P. (2010). High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. *Innovative Food Science amp; Emerging Technologies*, 11(3), 445-450. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.02.003>
- Meriles, S. P., Penci, M. C., Steffolani, M. E., & Ribotta, P. D. (2020). Effect of heat-treated wheat germ on dough properties and crackers quality. *International Journal of Food Science amp; Technology*, 56(4), 1837-1843. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14810>
- Mondal, A., & Datta, A. (2008). Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Moragas, M., Valcárcel, S., & Chirapozu, A. (2019). Recopilación de normas microbiológicas de los alimentos y asimilados de la Unión Europea. http://www.analisisavanzados.com/modules/mod_tecdata/manuales/Normas%20microbiologicas%20de%20los%20alimentos%20Enero%202019.pdf
- Morse, W. J. (1950). History of soybean production. En K. S. Markley (Ed.), *Soybeans and soybean products. Vol. I.* (pp. 3-9). Interscience Publishers Inc. https://www.google.com.uy/books/edition/Soybeans_and_Soybean_Products/5bXQAAAAMAAJ
- Muliterno, M. M., Rodrigues, D., de Lima, F. S., Ida, E. I., & Kurozawa, L. E. (2017). Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. *LWT*, 75, 512-519. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.031>
- Nguyen, T. T. A., Nguyen, H. H., Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. (2024). Enzymatic treatment of pineapple pomace and its application into fiber-rich biscuit making. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100936. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100936>
- Nielsen, S. (2014). *Food Analysis* (Vol. 4). Springer. https://www.google.com.uy/books/edition/Food_Analysis/D9RwcUKQsHsC?hl=es&gbpv=0

- Noguchi, A. (1984). *Method for the preparation of Textured Soybean Draff* (US4642241A). <https://patents.google.com/patent/US4642241A/en>
- Noriham, A., Ariffaizuddin, R., Noorlaila, A., & Faris, A. (2016). POTENTIAL USE OF OKARA AS MEAT REPLACER IN BEEF SAUSAGE. *Jurnal Teknologi*, 78(6–6). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9015>
- Oppermann, A., de Graaf, C., Scholten, E., Stieger, M., & Piqueras-Fiszman, B. (2017). Comparison of Rate-All-That-Apply (RATA) and Descriptive sensory Analysis (DA) of model double emulsions with subtle perceptual differences. *Food Quality and Preference*, 56, 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.010>
- OToole, D. K. (1999). Characteristics and Use of Okara, the Soybean Residue from Soy Milk Production A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 363-371. <https://doi.org/10.1021/jf980754l>
- Pagès, J. (2005). Collection and analysis of perceived product inter-distances using multiple factor analysis: Application to the study of 10 white wines from the Loire Valley. *Food Quality and Preference*, 16(7), 642-649. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.01.006>
- Paquot, C. (Ed.). (1979). *Standards Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives* (6.^a ed.). Pergamon Press. <https://books.google.com.uy/books?id=Bz8XBQAAQBAJ>
- Peña, D. (2014). *Fundamentos de estadística* (Vol. 1). Alianza Editorial. https://www.google.com.uy/books/edition/Fundamentos_de_Estad%C3%ADstica/z0mUBQAAQBAJ?hl=es
- Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>

- Perussello, C. A., Mariani, V. C., & do Amarante, Á. C. C. (2012). Numerical and experimental analysis of the heat and mass transfer during okara drying. *Applied Thermal Engineering*, 48, 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.025>
- Pulido, H. G. (2004). *Analisis y diseno de experimentos* (Vol. 2). McGraw-Hill Interamericana. https://www.google.com.uy/books/edition/Analisis_y_diseno_de_experimentos/1zqtAAAACAAJ?hl=es
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 1-42. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017>
- Real-Guerra, R., Staniscuaski, F., & Regina, C. (2013, enero). Soybean Urease: Over a Hundred Years of Knowledge. En *A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*. InTech. <https://doi.org/10.5772/52106>
- Rinaldi, V. E. A., Ng, P. K. W., & Bennink, M. R. (2000). Effects of Extrusion on Dietary Fiber and Isoflavone Contents of Wheat Extrudates Enriched with Wet Okara. *Cereal Chemistry*, 77(2), 237-240. <https://doi.org/10.1094/cchem.2000.77.2.237>
- Risvik, E., McEwan, J. A., Colwill, J. S., Rogers, R., & Lyon, D. H. (1994). Projective mapping: A tool for sensory analysis and consumer research. *Food Quality and Preference*, 5(4), 263-269. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)90051-5)
- Romero, R., & Villafranca, L. (2013). *Métodos estadísticos para ingenieros*. Universitat Politècnica de València. https://www.lalibreria.upv.es/portalEd/UpvGEStore/products/p_4-2-1

- Roslan, I., Kamaruding, N., Ismail, N., & Shaharuddin, S. (2020). Sensory Attributes and Other Properties of Yogurt Fortified with Immobilized *Lactobacillus Plantarum* and Soybean Residue (Okara). *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 16(1), 1-6. <https://doi.org/10.37290/ijpp2641-7197.16:1-6>
- Rotem, I., & Almog, N. (2009, diciembre). Protein-rich premix powders comprising okara for healthy food industry [US Patent App. 12/066,253].
- Rouilly, A., Jorda, J., & Rigal, L. (2006). Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. I. Twin-screw extrusion process. *Carbohydrate Polymers*, 66(1), 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.02.025>
- Ruiz, N., Parsons, C., Stein, H., Coon, C., Van Eys, J., & Miles, R. (2020). A review: 100 years of soybean meal. *ADM: Chicago, IL, USA*. https://nutrition.ansci.illinois.edu/sites/nutrition.ansci.illinois.edu/files/Ruiz%20et%20al.%2C%202020%20-%20A%20review_%20100%20years%20of%20soybean%20meal%20-%20Feedstuffs.pdf
- Schmid, V., Trabert, A., Keller, J. (, Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Functionalization of Enzymatically Treated Apple Pomace from Juice Production by Extrusion Processing. *Foods*, 10(3), 485. <https://doi.org/10.3390/foods10030485>
- Sengupta, S., Chakraborty, M., Bhowal, J., & K., B. D. (2012). Study on the effects of drying process on the composition and quality of wet okara. *International Journal of Science*, 1(4), 319-330. <https://www.ijset.net/journal/43.pdf>
- Shewry, P., Tatham, A., & of Chemistry (Great Britain), R. S. (2000). *Wheat Gluten*. Royal Society of Chemistry. <https://books.google.com.uy/books?id=1wJaErUGvjgC>
- Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (2000). *Tofu & soymilk production: A craft and technical manual* (Vol. 2). Soyinfo Center. https://www.google.com.uy/books/edition/Tofu_Soymilk_Production/sYUq27wYcKMC

- Silva, F. d. O., Miranda, T. G., Justo, T., Frasso, B. d. S., Conte-Junior, C. A., Monteiro, M., & Perrone, D. (2018). Soybean meal and fermented soybean meal as functional ingredients for the production of low-carb, high-protein, high-fiber and high isoflavones biscuits. *LWT*, 90, 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.035>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916-929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singh, T. K., & Cadwallader, K. R. (2002, octubre). The Shelf Life of Foods: An Overview. En *Freshness and Shelf Life of Foods* (pp. 2-21). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2003-0836.ch001>
- SINO Shipping. (2024). Envío desde China a Uruguay | Carga marítima y aérea [Accedido el 29/06/24.]. <https://es.sino-shipping.com/flete-china-uruguay/>
- Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49>
- Stannard, C. (1997). Development and use of microbiological criteria for foods. *Food science and technology today*, 11(3), 137-177. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=6bb366e933bac13973641f30742c1294a8e84f52>
- Stein, H. H., Berger, L. L., Drackley, J. K., Fahey, J., George F., Hernot, D. C., & Parsons, C. M. (2018). Nutritional Properties and Feeding Values of Soybeans and Their Coproducts. <https://nutrition.ansci.illinois.edu/sites/default/files/2NutritionalPropertiesandFeedingValuesofSoybeansandTheirCoproducts.pdf>
- Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A., & Singleton, R. C. (2004, diciembre). Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. <https://doi.org/10.1002/9780470385036.ch1c>

- Sturges, J. D. (1871). *Improvement in apparatus for cooling and mixing soap* (US114063A).
<https://patents.google.com/patent/US114063A/en?q=US114063A>
- Teillet, E., Schlich, P., Urbano, C., Cordelle, S., & Guichard, E. (2010). Sensory methodologies and the taste of water. *Food Quality and Preference*, 21(8), 967-976.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.04.012>
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., Martín-Belloso, O., & Welte-Chanes, J. (2017). High Hydrostatic Pressure and Mild Heat Treatments for the Modification of Orange Peel Dietary Fiber: Effects on Hygroscopic Properties and Functionality. *Food and Bioprocess Technology*, 11(1), 110-121.
<https://doi.org/10.1007/s11947-017-1998-9>
- Thangaraj, P. (2015, diciembre). Proximate Composition Analysis. En *Pharmacological Assays of Plant-Based Natural Products* (pp. 21-31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26811-8_5
- Tor, E., & de los Angeles Herrera, M. (2002). *Tabla de composición de alimentos de Uruguay* [Editado también por UDELAR]. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=27683
- Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43(2), 450-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.005>
- Tu, Z., Chen, L., Wang, H., Ruan, C., Zhang, L., & Kou, Y. (2012). Effect of fermentation and dynamic high pressure microfluidization on dietary fibre of soybean residue. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3285-3292. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0838-1>
- United States Department of the Interior, National Park Service. (2020, diciembre). *Technical Bulletin: 2021 Convenience Store and Fuel Markup Percentages* (inf. téc.) (Technical Bulletin: ELECTRONIC COPY, NO HARD COPY TO FOLLOW). National Park Service. Washington, D.C. <https://www.nps.gov/>

subjects / concessions / upload / 2021 - Convenience - Store - and - Fuel - Markup - Technical-Bulletin-11-30-2020.pdf

Uruguay. (2006a). Líneas de pobreza e indigencia - Metodologías y resultados. <https://www.gub.uy/instituto-nacional-estadistica/comunicacion/publicaciones/lineas-pobreza-indigencia-2006-metodologia-resultados>

Uruguay. (2006b, abril). Decreto N° 117/006: Aprobación de Resoluciones GMC Nos. 26/03, 44/03, 46/03 y 47/03. Mercosur [Promulgación: 21/04/2006. Publicación: 27/04/2006 en Registro Nacional de Leyes y Decretos: Tomo: 1, Semestre: 1, Año: 2006, Página: 716]. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/117-2006>

Uruguay. (2012a). *Reglamento bromatológico nacional* (5.^a ed.) [Decreto N°315/994 de fecha 05/07/94.]. IMPO. <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/bromatologico5a.edicion.pdf>

Uruguay. (2012b, diciembre). Decreto N° 117/006: Modificación del Reglamento Bromatológico Nacional: Aprobación del Reglamento Técnico Mercosur sobre Información Nutricional Complementaria (Declaraciones de Propiedades Nutricionales) [Artículo 2]. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/402-2012/2>

Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M., & Abdi, H. (2012). Quick and dirty but still pretty good: a review of new descriptive methods in food science. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(8), 1563-1578. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03022.x>

Varela, P., & Ares, G. (2014). *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*. CRC Press. <https://books.google.com.uy/books?id=1FjSBQAAQBAJ>

Velasco, J., Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2010). Oxidative rancidity in foods and food quality. En *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages* (pp. 3-32). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845699260.1.3>

Voss, G. B., Rodriguez-Alcala, L. M., Valente, L. M. P., & Pintado, M. M. (2018). Impact of different thermal treatments and storage conditions on the stability of

- soybean byproduct (okara). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1981-1996. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9813-5>
- Wachiraphansakul, S., & Devahastin, S. (2005). Drying Kinetics and Quality of Soy Residue (Okara) Dried in a Jet Spouted-Bed Dryer. *Drying Technology*, 23(6), 1229-1242. <https://doi.org/10.1081/drt-200059421>
- Wickramarathna, G., & Arampath, P. (2003). Utilization of okara in bread making. *Journal of Bioscience*, 31, 29-33. <https://dl.nsf.gov.lk/bitstream/handle/1/7608/CJS%28B.S%29-31-29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Yadav, H. (2023). Functional and nutritional qualities of okara and food industry applications. *The Pharma Innovation Journal*, 12(9), 2648-2650. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue9/PartAD/12-8-278-363.pdf>
- Yamashita, T., & Millar, R. J. (2021). Likert Scale. En *Encyclopedia of Gerontology and Population Aging* (pp. 2938-2941). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22009-9_559
- Yokota, M., Shimizu, N., & Kimura, T. (2009). Production of fermented pancake utilizing food processing byproducts, tofu (soybean curd)-residue and cheese whey. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20103032405>
- Yoshida, B. Y., da Silva, P. R. C., & Prudencio, S. H. (2022). Soybean residue (okara) modified by extrusion with different moisture contents: Physical, chemical, and techno-functional properties. *Food Science and Technology International*, 29(5), 491-500. <https://doi.org/10.1177/10820132221095458>
- Zhang, Y., Holman, B. W., Ponnampalam, E. N., Kerr, M. G., Bailes, K. L., Kilgannon, A. K., Collins, D., & Hopkins, D. L. (2019). Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS). *Meat Science*, 149, 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.018>

Zhang, Y., Qi, J., Zeng, W., Huang, Y., & Yang, X. (2020). Properties of dietary fiber from citrus obtained through alkaline hydrogen peroxide treatment and homogenization treatment. *Food Chemistry*, 311, 125873. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125873>

Apéndice A

Deducciones y transformaciones

A.1. Transformación de base húmeda (X_{wb}) a base seca(X_{db})

Para los cálculos de transformación de datos en base húmeda a base seca se utiliza el siguiente desarrollo tomando como a la cantidad en estudio y H la humedad de la muestra.

$$H = \frac{g_{\text{agua}}}{g_{\text{muestra húmeda}}} \Rightarrow H \times g_{\text{muestra húmeda}} = g_{\text{agua}} \quad (\text{A.1})$$

$$g_{\text{muestra húmeda}} = g_{\text{muestra seca}} + g_{\text{agua}} \quad (\text{A.2})$$

$$(\text{A.1}) \Rightarrow g_{\text{muestra húmeda}} = g_{\text{muestra seca}} + H \times g_{\text{muestra húmeda}}$$

$$g_{\text{muestra húmeda}}(1 - H) = g_{\text{muestra seca}} \quad (\text{A.3})$$

$$\begin{aligned}
a_{db} &= \frac{g_a}{g_{\text{muestra seca}}} \\
a_{wb} &= \frac{g_a}{g_{\text{muestra húmeda}}} \\
(\text{A.3}) \Rightarrow a_{wb} &= \frac{g_a}{g_{\text{muestra seca}}} \times (1 - H) \\
a_{wb} &= a_{db} \times (1 - H)
\end{aligned} \tag{A.4}$$

A.2. Masa final de un sistema bajo proceso de secado en función de su humedad objetivo conociendo la humedad inicial y la masa inicial

Al querer secar un sistema hasta una humedad final objetivo, la masa objetivo para seguimiento del proceso (m_{tf}) es función de la masa inicial (m_i) y las humedades en *base húmeda* objetivo (χ_{wbf}) e inicial (χ_{wbi}) según la Ecuación A.5

$$\boxed{m_{tf} = m_i(1 - \chi_{wbi}) \left(1 + \frac{\chi_{wbf}}{1 - \chi_{wbf}} \right)} \tag{A.5}$$

Definiciones y relaciones previas para la deducción:

- Humedad en base húmeda (χ_{wb}) Eq. A.6
- Humedad en base seca (χ_{db}) Eq. A.7
- Relación de conversión entre χ_{wb} y χ_{db} Eq. A.8

$$\chi_{wb} = \frac{w \text{ (masa de agua)}}{m_t \text{ (masa total)}} \tag{A.6}$$

$$\chi_{db} = \frac{w \text{ (masa de agua)}}{m_s \text{ (masa **seca**)}} \tag{A.7}$$

$$\chi_{db} = \frac{\chi_{wb}}{1 - \chi_{wb}} \quad (\text{A.8})$$

El concepto central es que la masa seca (m_s) se mantiene constante durante todo el secado y se puede calcular según la Eq. A.9.

$$m_s = m_i(1 - \chi_{wbi}) \quad (\text{A.9})$$

La masa objetivo es la suma del agua remanente (w_f) y la masa seca (Eq. A.10).

$$m_{tf} = m_s + w_f \quad (\text{A.10})$$

El agua remanente en el sistema se puede calcular con la Eq. A.11, y sustituyendo m_s con la Eq. A.9 se obtiene la Eq. A.5.

$$w_f = \chi_{dbf} m_s = \left(\frac{\chi_{wbf}}{1 - \chi_{wbf}} \right) m_s \quad (\text{A.11})$$

Apéndice B

Datos complementarios

B.1. Distribución del tamaño de partícula del pan rallado

Se determinó la distribución aproximada del tamaño de partículas del pan rallado de naturezas para aproximar el okara molido al mismo debido a que resultaba conveniente definir este tamaño para la aplicación de los bifes de tofu que finaliza la Sección 2. La distribución se midió con un tamizaje por triplicado con muestras genuinas de pan rallado con tamices VWR Scientific Products. Se midió el *% de recuperación*, definido como la masa de materia prima que atraviesa una determinada abertura del tamiz, pero no la siguiente, en función del tamaño del tamiz medido en μm .

Luego de pruebas iniciales se determinó utilizar el rango 177-1410 μm con un salto medio de 200 μm (6 saltos). Para tamizar el okara, se utilizó el tamaño de tamiz que tuvo el 96 % de recuperación acumulada en el pan rallado (500 μm , Figura B.1) .

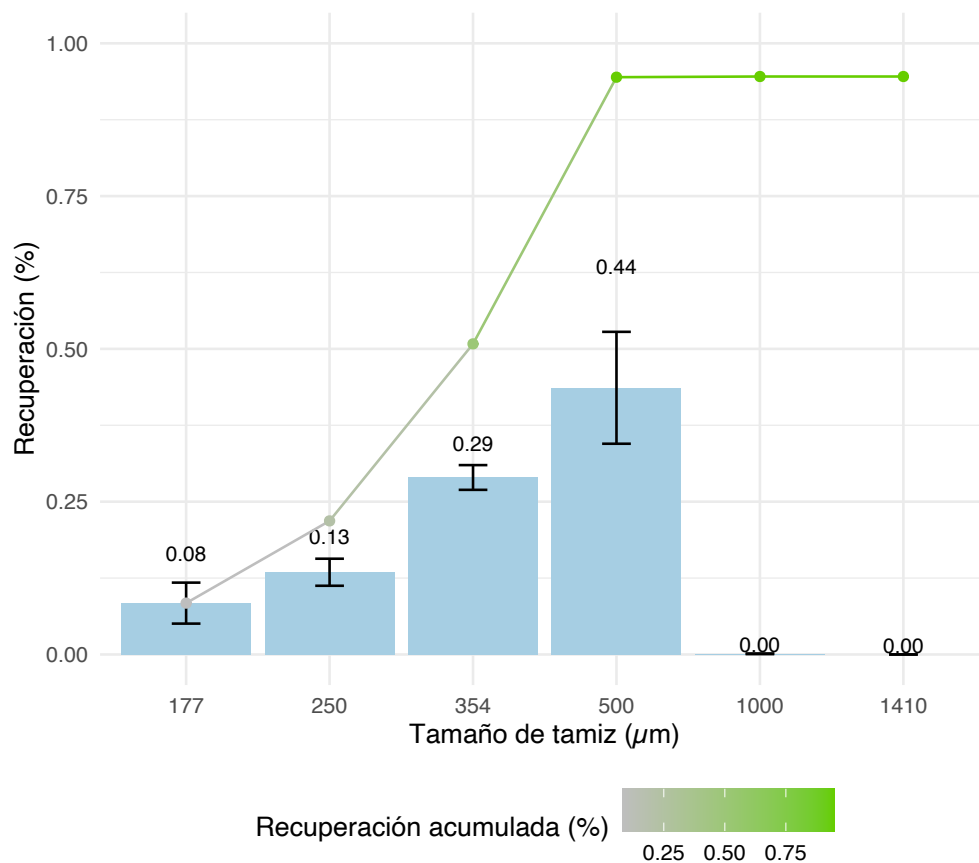


Figura B.1: Distribución de tamaño de partícula del pan rallado utilizado en Naturezas, medido en % de recuperación. La distribución absoluta (barras en azul) se obtuvieron de 3 tamizajes independientes. Se muestra en verde la distribución acumulada. El 96 % de las partículas del pan rallado atraviesan un tamiz de 500 μm . (Anexo R.7)

B.2. Determinación de tablas nutricionales

Como se introdujo en la Sección 4.2.1, los alimentos envasados, prontos para ofrecer al consumidor deben declarar como mínimo, su valor energético, hidratos de carbono, proteínas, grasas totales, grasas saturadas, grasas trans, fibra alimentaria y sodio en su rótulo. Además, deberá especificarse las medidas caseras correspondientes y el porcentaje del valor diario para cada nutriente (%VD) según la Tabla B.1.

Para el cálculo de la tabla nutricional, se utilizaron los datos de la Tabla B.2,

Tabla B.1: Valores diarios de referencia de nutrientes (Uruguay, 2006b)

VALORES DIARIOS DE REFERENCIA DE NUTRIENTES	
Valor energético	2000 kcal u 8400 kJ
Carbohidratos	300 g
Proteínas	75 g
Grasas totales	55 g
Grasas saturadas	22 g
Fibra alimentaria	25 g
Sodio	2400 mg

realizando una suma ponderada para cada macronutriente, donde si x_i es la cantidad porcentual del macronutriente x para la materia prima i expresada en unidades de masa/100g; y q_i es la cantidad porcentual de la materia prima i utilizada en la formulación expresada en unidades de masa/100g, entonces se calcula χ : la cantidad del macronutriente x en la masa cruda según la Ecuación B.1. Luego, se corrige para obtener χ_{coc} : la cantidad del macronutriente x en la masa cocida utilizando la merma expresada en g/100g (m) según la Ecuación B.2

$$\chi = \sum_i \left(\frac{x_i q_i}{100} \right) \quad (\text{B.1})$$

$$\chi_{\text{coc}} = \frac{\chi}{1 - \frac{m}{100}} \quad (\text{B.2})$$

La Ecuación B.2 surge de suponer que en las temperaturas de cocción, el único causante de la reducción de masa es pérdida de agua. En este sentido, se modela la cocción como un proceso de secado y se utiliza la ecuación para transformar base húmeda a seca, deducida en el Anexo A.1.

Tabla B.2: Composición de macro nutrientes de las materias primas utilizadas en la Parte 4. Todos los valores están expresados en base húmeda. *: Para el okara extrusado se tomó como suposición que no existen cambios significativos con respecto al okara nativo debido al proceso de extrusión. Para ambos okara se tomó el valor de fibra determinado en la Parte 3 debido a que se utilizó este lote de okara para la formulación de las galletas.

	Energía (kcal/100g)	Proteína (g/100g)	Carbohidratos (g/100g)	Carbohidratos digeribles (g/100g)	Grasa (g/100g)
Harina	357,0	11,4	74,4	71,7	1,5
Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aceite de girasol altooleico	900,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Okara Nativo	279,3	29,2	44,5	4,1	16,2
Okara Extrusado	279,3	29,2	44,5	4,0	16,2
Salvado de trigo	216,0	15,6	64,5	21,7	4,3

	Grasa sat (g/100g)	Fibra total (g/100g)	Ceniza (g/100g)	Agua (g/100g)	Sodio (mg/100g)	Origen
Harina	0,0	2,7	0,5	12,2	2,5	Tabla
Agua	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	Definición
Sal	0,0	0,0	0,0	0,0	100000,0	Definición
Aceite de girasol altooleico	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Tabla
Okara Nativo	2,8	40,4	3,6	6,4	0,0	Sección 2.2.4
Okara Extrusado	2,8	40,6	3,6	3,8	0,0	*
Salvado de trigo	0,0	42,8	5,8	9,9	2,0	Tabla

Apéndice C

Complemento al análisis económico preliminar

C.1. Selección de horno y tiempo de secado industrial

Como se comentó en el Capítulo 5, parte de los datos de esta sección fueron tomados del proyecto industrial de grado (año 2020). El objetivo específico de producción era obtener un alimento cuya materia prima principal es un chipeado de manzana seca. En ese marco se realizó el desarrollo teórico del secado de la manzana en un horno rotativo discontinuo, el cual se adapta y simplifica asumiendo ciertos errores y sobredimensionamientos que se detallan a continuación.

Luego de un estudio preliminar, se optó por basar los cálculos en un horno turbinado (convección forzada), que utiliza energía eléctrica como fuente de calentamiento del aire. Se seleccionó un horno disponible en plaza que posee una ficha técnica completa y las dimensiones más grandes del mercado dirigido a pequeñas y medianas industrias. Dicho horno (Tabla C.1) implica una inversión amortizable de USD 2990¹.

Tabla C.1: Información extraída de la ficha técnica del horno seleccionado. Esta información fue utilizada para los cálculos de la presente Sección.

Característica	Descripción
Marca	Venancio
Modelo	FTDE10
Origen	Brasil
Capacidad	10 bandejas 58 x 68 cm
Separación entre bandejas	10 cm
Controlador	Digital de temperatura y vapor
Puerta	Con vidrio visor
Alimentación	Trifásico 380
Consumo total máximo	18.75 kW
Dimensiones del equipo	101,8 x 128 x 170 cm

En la Figura C.1 se esquematiza el horno eléctrico repensado como un secador discontinuo con convección forzada de aire funcionando, con el volumen de control (10 bandejas perforadas) marcado en rosado, y los flujos de aire de entrada y salida en

¹Accesible en: [\[Baudin, UY\]](#)

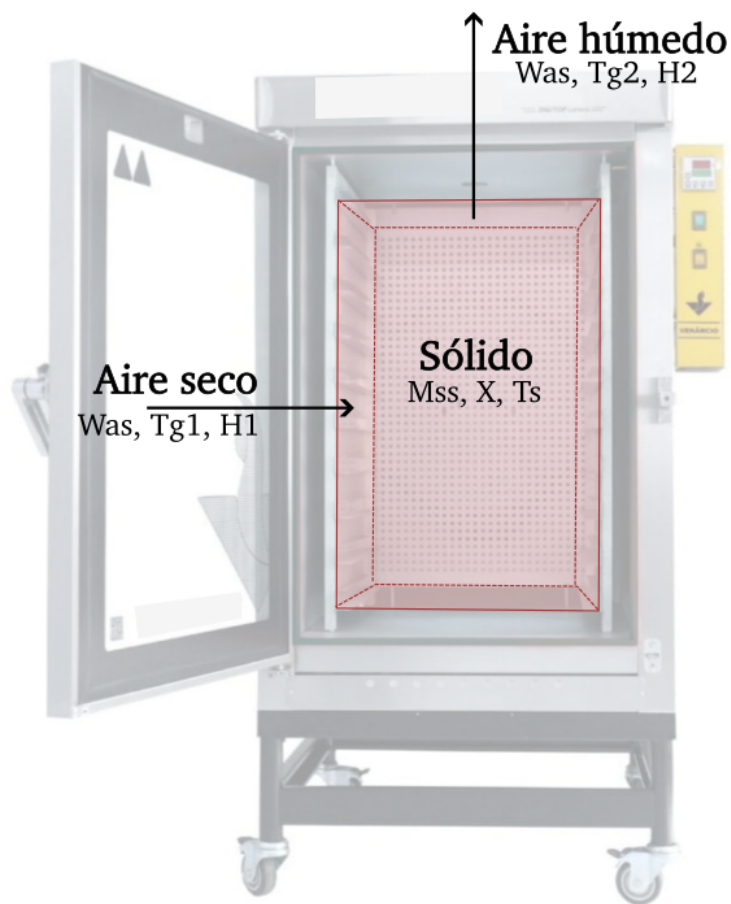


Figura C.1: Esquematización del secador discontinuo con el volumen de control presentado en rojo.

negro.

Durante el proceso de secado, cuando el sólido alcanza temperatura de equilibrio, comienza a ceder agua a una velocidad de secado $\dot{m}$ ($\text{Kg H}_2\text{O/h} \cdot \text{m}^2$) constante. Luego, al alcanzar la humedad crítica x_c , la velocidad de secado deja de ser constante, y se asume que es lineal hasta una humedad x^* , en la cual la humedad del sólido está en equilibrio con la humedad del aire ambiente, este proceso se esquematiza en la Figura C.2.

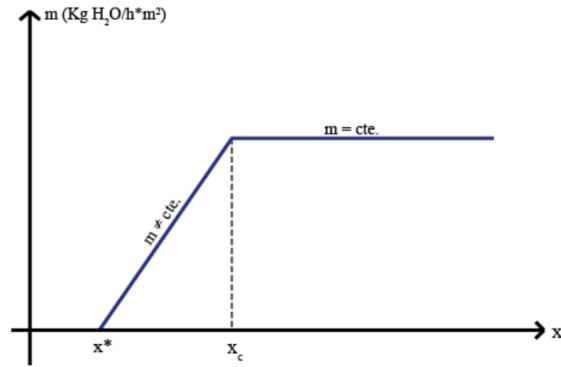


Figura C.2: Esquematzación de la forma de la gráfica de velocidad de secado ($\dot{m}$) vs humedad del sólido (x).

Tanto la x_c , como la x^* , son propiedades del sólido que dependen de las condiciones del ambiente y de parámetros intrínsecos del alimento, por lo que la única forma de estimarlos es experimentalmente, bajo condiciones similares.

Para simplificar el problema, se asume que la humedad crítica del sistema es inferior al 8 %, valor propuesto en la Sección 2 como objetivo del secado del okara. Bajo este supuesto, la velocidad de secado será constante.

Con el fin de obtener una estimación aproximada del tiempo de secado es necesario conocer una velocidad de secado aproximada, para ello se parte de la definición de la velocidad de secado (Ecuación C.1) y se obtiene la relación de la Ecuación C.5, asumiendo que la velocidad de secado se mantiene constante con respecto a la humedad y al tiempo.

$$\dot{m} \cdot A = \frac{dm_{H_2O}}{d\theta} \quad (C.1)$$

$$\dot{m} \cdot A d\theta = dm_{H_2O} \quad (C.2)$$

$$\int_0^{\theta_f} \dot{m} \cdot A d\theta = \int_{X_o}^{X_f} dm_{H_2O} \quad (C.3)$$

$$\dot{m} \cdot A \int_0^{\theta_f} d\theta = \int_{X_o}^{X_f} dm_{H_2O} \quad (C.4)$$

$$\dot{m} \cdot A \theta_f = \Delta H \quad (C.5)$$

Para el cálculo de la $\dot{m}$ se utilizará la información proporcionada en la Tabla 2.1 del Capítulo 2, asumiendo que el tiempo de secado para 75g de okara en las condiciones del ensayo experimental es aplicable al escalado industrial, se toma un tiempo de secado de 3,3 horas, una superficie de secado de 176.7cm² y una diferencia de humedad para el ensayo experimental de 45,4g se obtiene una $\dot{m}$ de 0.79 Kg H₂O/h*m².

Luego, se toma esta velocidad de secado y se utiliza la Ecuación C.6 que surge de un balance de agua para el volumen de control (Figura C.1) para obtener el tiempo de secado de una batchada de okara (10 de bandejas de 0.68x0.58 m² con una capa de 2cm de okara en bandejas perforadas de 4cm de alto) partiendo de una humedad de 69.4 % y obteniendo como final una humedad de 8 %.

$$\theta = M_{ss} \times \frac{(X_1 - X_2)}{A * \dot{m}} \quad (C.6)$$

Tomando como área de secado las 6 caras de las chapas (Se asume que las caras son agujereadas para mejorar el flujo de aire, tomando un factor de 45 % de superficie expuesta por los agujeros para dichas caras); se tiene un área de secado del carro de 5,9 m² y una masa de solido seco (M_{ss}) de 66,1 kg; se calcula en la Ecuación C.6 un tiempo de secado de 8,68 horas.

En la realidad, existen muchos factores que alterarán este tiempo de secado, debido

a que asumimos que la velocidad de secado será la misma que para un experimento de escala de laboratorio y es necesario realizar ensayos de escalado para la misma. Se estima que el tiempo real será menor, debido a que el okara en grandes cantidades tiende a disgregarse durante el secado, aumentando los caminos disponibles para el aire y mejorando la eficiencia del secado en función del tiempo. Además, será necesario que al menos una vez durante el secado, se pare el proceso y se trabaje en mezclar y homogeneizar cada chapa, para lograr un secado parejo del okara. Se puede teorizar sobre la practicidad de este problema en el flujo de trabajo, pero escapa de la Tesis profundizar en este aspecto industrial. Se toma el tiempo de secado de 8,68 horas como una cota superior conservadora para continuar con los cálculos.

C.2. Cálculo de consumo de electricidad de la operación unitaria de secado

Dado que la materia prima de partida no tiene costo, el principal costo de producción del okara es la electricidad necesaria para hacer funcionar el secador, sin contar los sueldos de operarios e insumos que son evaluados en el Capítulo 5.

El proveedor del horno informa el valor máximo de 18,75 kW. Se toma ese valor como medida conservadora para el calentamiento del aire a 105°C. Con el tiempo de secado de 8,68; tomando el horario nocturno para conducir la operación unitaria debido al costo más barato de electricidad (2,3\$/kWh)² que genera un costo por bachada de okara de USD 9,52 o de forma equivalente un costo de USD 0,37 por kg de okara seco con 8 % de humedad (25,5kg de okara seco por bachada).

²El pliego tarifario actual de UTE puede accederse en [\[Pliego Tarifario\]](#). Se toma Tarifa de Grandes Consumidores G2 (Nivel de tensión de 15kV) y horario Valle (Nocturno). Se supone que la empresa posee los capacitores suficientes instalados que disipan el consumo reactivo del horno y por tanto se desprecia el costo de potencia máxima medida.

C.3. Trituradora de okara seco

Para obtener el HOU a partir del okara seco, es necesario molerlo hasta un tamaño de partícula similar al del pan rallado. Para ésto, se propone la compra de un equipo disponible en plaza por el proveedor Baudin³, con un costo inversión de USD 660.

Bajo la hipótesis de que este equipo logra moler los 25,5 kg de okara seco que se obtienen del horno en 1 hora, con un motor que tiene un consumo de 0.56 kW, en período horario Llano (de 7 am a 18 pm) para grandes consumidores (\$ 4,04/kW⁴) y utilizando un factor de cobertura por dimensionamiento y/o tiempos mayores de 30 %, el molido de una bachada okara seco resulta en un costo de USD 0,13.

Este valor implica que el costo de producción estimado del HOU, que proviene de la suma de su secado y su molido es de USD 0,50⁵.

C.4. Selección de extrusor y cálculos asociados

En la Tabla C.2 puede verse un resumen de extrusoras de doble tornillo disponibles al 29/6/24 en Alibaba, sitio web que entre sus múltiples servicios busca conectar industrias de equipos con industrias de producto. Por lo general, el precio mostrado del equipo en dicha web suele ser FOB y reflejar una realidad promedio, dado que los equipos se suelen vender “a medida”.

Tabla C.2: Extrusoras disponibles con información publicada en Alibaba

Item	Productor	Enlace	Capacidad media (kg/h)	Poder (kW)	Costo FOB (USD)
Puff snack corn sticks prawn cracker extruder	Jinan Saixin Machinery Co., Ltd.	[Enlace]	400	132,5	8900
Puff snack corn sticks prawn cracker extruder	Jinan Dingrun Machinery Co., Ltd.	[Enlace]	125	120	10000
Extruder pelletazer	Jinan Saixin Machinery Co., Ltd.	[Enlace]	200	60	7500
Cheese ball snacks	Jinan Saixin Machinery Co., Ltd.	[Enlace]	400	105	8600
Baby Food Nutrition Powder	Jinan Saibainuo Food Machinery Co.,Ltd	[Enlace]	100	70	8000
Puff food lab snack food line	Jinan Saixin Machinery Co., Ltd.	[Enlace]	400	132,5	9800

³Accesible en: [\[Baudin, UY\]](#)

⁴Información tomada del Pliego tarifario de UTE a Mayo 2024.

⁵Este costo es aproximado tomando en consideración todos los factores de cobertura e hipótesis nombradas anteriormente

En base a dicha información, se seleccionó un equipo promedio, calculando un factor de escalado para cada extrusora, suponiendo una capacidad media de 100 kg/h de capacidad y asumiendo linealidad entre la capacidad media, el poder y el costo FOB; obteniendo unos valores medios de dichos parámetros de (30.6 ± 3.2) kW y (2275.0 ± 156.1) USD.

Utilizando la Ecuación 5.1, descrita en el Capítulo 5, y suponiendo un volumen del cargamento incluyendo embalaje de 3x2x2 metros cúbicos, se obtiene un valor del equipo en planta de USD 5120, el cual se le calcula un factor de cobertura de 30 % debido a que no se tiene una cotización real, resultando en USD 6.600.

El costo de producción del okara extrusado (HOE) depende directamente del tiempo encendido del mismo, este tiempo depende a su vez de la capacidad de procesamiento, que depende de la SME que el equipo sea capaz de imprimir al HOU como se detalló en el Capítulo 3. Dado que se calculó una capacidad media de 100 kg/h, se tomará a modo de cálculo conservador la mitad de la misma. Suponiendo que solamente se procesa 50 kg/h, a una potencia de 30,6 kW implica un costo de USD 1,60 para una bachada de okara (25,5 kg de okara seco), según lo calculado en el Anexo C.1 y con el precio del kWh tomado de la misma forma que para el Anexo C.3.

Finalmente, se calcula un costo de extrusión de 0,06 USD/kg de HOU lo cual sumado a la obtención del HOU define un costo aproximado de producción del HOE en 0,69 USD/kg HOE ⁶.

⁶Este costo se obtiene sumando el costo de producción por kg de HOU con el costo de su extrusión y el costo de su nueva molienda

Apéndice D

Trabajos presentados en congresos

REVALORIZACIÓN DE UN SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA: OKARA; A TRAVÉS DEL DESARROLLO DE ALIMENTOS TECNOFUNCIONALES.

Maximiliano KNIAZEV^(1,2), Adriana GÁMBARO⁽²⁾, Ignacio VIEITEZ⁽¹⁾

(1) Área Tecnología de Alimentos, CyTAL, Universidad de la República Montevideo, Uruguay.

(2) Área Evaluación Sensorial, CyTAL, Universidad de la República Montevideo, Uruguay.
mkniazev@fq.edu.uy



INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La soja es un cultivo clave por su relevancia económica y nutricional, entre otros productos da origen a la leche de soja, un producto de alto valor comercial. De esta se derivan numerosos alimentos, como el tofu, yogur de soja y quesos a base de soja.

Durante la producción de leche de soja se genera un residuo denominado **okara**, del cual se obtiene 1.2 kg por cada kg de soja procesada. El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de okara seco y molido como alternativa al pan rallado en la elaboración de bifes de tofu fritos y como ingrediente funcional en barras de cereales.



MATERIALES Y MÉTODOS

Para ambos alimentos se partió desde una formulación base de comprobada aceptación cedida por la industria.

BIFES DE TOFU FRITOS

- Se sustituyó el pan rallado en el rebozado por cantidades crecientes de okara (0, 25, 50, 75 y 100%). Los bifes fueron fritos en aceite de girasol por 2,5 minutos a $170 \pm 10^\circ\text{C}$.
- Los jueces evaluaron en una escala no estructurada de 10cm los atributos discutidos previamente más característicos del alimento: Color, Sabor ácido, Intensidad de olor, Crocancia, Sensación grasa en boca, Firmeza, Intensidad de sabor y Humedad.



Los alimentos fueron servidos en dos sesiones independientes a 8 jueces sensoriales semi-entrenados, de forma codificada y por duplicado en el laboratorio sensorial de Facultad de Química diseñado según la norma ISO 8589:1988.

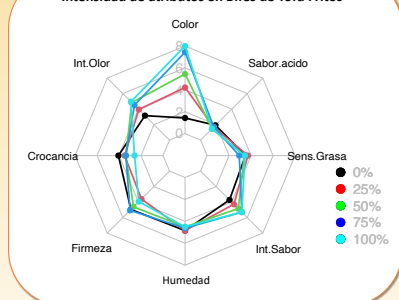
BARRAS DE CEREALES

- Se condujo un diseño factorial completo de tres factores: agua, miel y okara; y dos niveles: 7-10%, 0-10%, y 0-20% respectivamente (8 formulaciones). Fijando los demás ingredientes a excepción de los copos de maíz y la avena que se sustituyó por okara en las formulaciones pertinentes. Las barras fueron horneadas a 135°C durante 12 minutos.
- Se utilizó la técnica Napping®, en la cual los jueces determinan su percepción sobre las muestras en términos de aroma, sabor, textura y otros atributos sensoriales. Luego, colocan los productos en un espacio bidimensional, basándose en sus similitudes y diferencias percibidas.



RESULTADOS

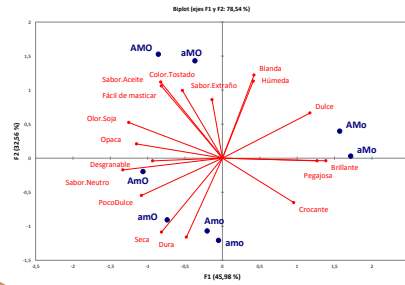
Intensidad de atributos en Bifes de Tofu Fritos



En los bifes de tofu fritos, el aumento de sustitución de okara en el pan rallado afectó significativamente ($p > 0.05$) el desarrollo de color durante el frito y la intensidad de olor global en notas de frito/soja/aceite, manteniendo los demás atributos sin cambios significativos ($p < 0.05$).

MFA: Napping en Barras de Cereal

Las letras mayúsculas y minúsculas representan los niveles altos y bajos respectivamente de los factores Agua, Miel y Okara.



En las barras de cereal, si bien hubo formulaciones con nivel alto de okara ("O"mayúscula) asociadas con atributos deseables, como Fácil de masticar, Sabor neutro y Húmeda, todas las formulaciones "O" mayúscula fueron asociadas *a priori* negativos desde un punto de vista de aceptabilidad: opaca, sabor neutro, sabor a aceite y desgranable.

CONCLUSIONES

En los bifes de tofu fritos, el okara se presenta como un buen ingrediente tecnofuncional, aportando fibra, disminuyendo el tiempo de cocción para lograr un determinado pardeamiento y potencialmente disminuyendo el costo del producto al incluir un subproducto en la cadena de valor. En el caso de las barras de cereal, *a priori* el okara en una sustitución de 20% con respecto a los ingredientes de cuerpo no es adecuado. Se debe reformular y volver a probar en siguientes etapas otras sustituciones para lograr un producto de mejor perfil y en todos los casos corroborar los resultados con consumidores.

Primer Congreso Latinoamericano de Sustentabilidad y Sostenibilidad de Alimentos - Noviembre 2023, Montevideo, Uruguay

Figura D.1: Revalorización de un subproducto de la industria agroalimentaria: Okara; a través del desarrollo de alimentos tecnofuncionales. Primer Congreso Latinoamericano de Sustentabilidad y Sostenibilidad de Alimentos - Noviembre 2023, Montevideo, Uruguay. Este trabajo fue presentado en formato poster y oral

Apéndice R

Código utilizado en R

En este anexo se podrá encontrar el código ejecutado en R para obtener las herramientas gráficas de este trabajo final de tesis. Si bien no se puede copiar y pegar de forma directa el código dado que se requieren los datos crudos, es una buena guía para obtener gráficos similares. En caso de querer replicar uno de forma exacta, el/la lector/a puede escribir a maxikniazev@gmail.com que con gusto le puedo proveer un `data.frame` funcional para el código en cuestión.

R.1. Producción Mundial de Soja

```
1 library(ggplot2)
2 library(rworldmap)
3 library(dplyr)
4 library(sf)
5
6 # Cargar los datos de https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL, se
  # descargo como CSV la configuracion:
7 # todas las regiones del mundo (IS03)
8 # Production Quantity
9 # Soya beans
```



```

10 # 2022
11 data <- read.csv("Data.csv")
12
13 # Expresar los datos de toneladas en log10(toneladas)
14 data$Value_log <- log10(data$Value)
15
16 # Obtener un mapa del mundo
17 worldMap <- getMap()
18
19 # Convertir el mapa a un formato que ggplot pueda entender
20 worldMap_sf <- st_as_sf(worldMap)
21
22 # Excluir la Antartida para mejorar la visualizacion
23 worldMap_sf <- worldMap_sf[!grepl("Antarctica", worldMap_sf$NAME), ]
24
25 # Unir los datos de produccion de soja con el mapa del mundo
26 worldMap_data <- left_join(worldMap_sf, data, by = c("ISO_A3" = "
    Area.Code..ISO3."))
27
28 # Crear el mapa utilizando ggplot
29 ggplot(data = worldMap_data) +
30   geom_sf(aes(fill = Value_log)) +
31   scale_fill_continuous(low = "white", high = "dark green",
32     name = "Produccion de Soja \n (log10(toneladas))",
33     na.value = "transparent") +
34   ggtitle("Mapa Mundial de la Produccion de Soja (2022)") +
35   theme_minimal() +
36   theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

```

Código R.1: Gráfico de producción global de soja.

R.2. Evolución temporal de artículos publicados sobre tópicos en valorización de algunos subproductos

```
1  #Los datos fueron obtenidos de https://app.dimensions.ai/discover/
   publication
2  #"With deep indexing of more than 98 million publications and 150
   million patents,
3  #Dimensions provides enriched data that makes research easier.
4  #This includes specific, disambiguated data on individual people as
   well as
5  #institutions, using AI-based categorization and a wide range of
   indicators and metrics"
6  #
7  #Se filtro segun brewery, coffee, fruit, grape, surgarcane,
   vegetable AND valorization
8  #El AND estrictamente inclusivo. Aparecen ambas palabras en el
   titulo o en el abstract
9  #de la publicacion.
10
11 #Cargar los datos descargados
12 library(readxl)
13 library(tidyr)
14
15 datos <- read_excel("data.xlsx")
16 datos$Busqueda <- factor(datos$Busqueda)
17
18 #Convertir de formato wide a long para analisis y arreglar objetos
19 data_long <- datos %>%
20 pivot_longer(!Busqueda, names_to="Year", values_to="count")
21
22 colnames(data_long)<- c("Search", "Year", "count")
23 data_long$Year <- as.integer(data_long$Year)
```

```

24
25 #Graficar usando ggplot2
26 library(ggplot2)
27 library(ggtext) #Habilitar markdown
28
29 ggplot(data_long, aes(x = Year, y = count, color = Search)) +
30 ggtitle("Evolucion temporal de articulos publicados sobre topicos
31 en valorizacion de algunos subproductos") + #Cambiar titulo
32 geom_line() + #Lineas
33 theme_bw() + #Sin fondo
34 guides(color = guide_legend(title = "Filtro de busqueda<sup>t</sup>"
35 ))+ #Cambiar titulo de leyenda
36 theme(legend.title = element_markdown()) + #Habilitar markdown
37 labs(
38 x = "Ano",
39 y = "Nuevos articulos publicados") #Cambiar etiquetas de ejes

```

Código R.2: Grafico evolución de artículos sobre valorizacion

R.3. Evolución temporal de la producción mundial de algunos productos alimentarios

```

1 # Descargar los datos de https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL,
2 #Se descargo como CSV la configuracion:
3 #todas las regiones del mundo (IS03)
4 #Production Quantity
5 #Cereals, Fruits, Sugar crops, Vegetables
6 #Years (range) 2005-2022
7
8 #Cargar los datos
9 library(readxl)
10 library(tidyr)

```

```

11
12  datos <- read.csv("data.csv", sep = ",")
13  datos$Value_log <- log10(datos$Value)#Transformar a logaritmo
14
15  #Graficar
16  library(ggplot2)
17
18  ggplot(
19    datos, aes(x = Year, y = Value_log, color = Item)) +
20    geom_line() + #Seleccionar lineas
21    theme_bw() + #Quitar fondo
22    ggtitle("Evolucion temporal de la produccion
23    mundial de algunos alimentos") +
24    labs(
25      x = "Ano",
26      y = "Log10(Toneladas totales de produccion)") + #Cambiar etiquetas
27    guides(color = guide_legend(title = "Filtro de busqueda<sup>s</sup>"
28      ))+
29    #Cambiar titulo de leyenda
30    theme(legend.title = element_markdown()) + #Habilitar markdown
31    scale_color_discrete(labels = c(
32      "Cereales principales",
33      "Frutas principales",
34      "Plantaciones de azucar",
35      "Vegetales principales"
36    )) #Renombrar las categorias

```

Código R.3: Producción mundial de algunos productos alimentarios

R.4. DCA y Gráfico: Resultados ^oBx vs proporción agua/porotos

```

1
2 # Generacion de DCA
3
4 set.seed(7638) #Para fijar el resultado del DCA
5 f <- factor( rep( c("a", "b", "c", "d", "e"), each = 3)) #Generar
   factores
6 fac <- sample( f, length(f) ) #Aleatorizar factores
7 eu <- 1:length(f) #Generar fila de corridas
8 plan <- data.frame( Corrida=eu, Condicion=fac ) #Crear DCA
9 write.csv( plan, file = "Plan.csv", row.names = FALSE) #Imprimir
   plan a hoja de calculo
10
11
12 # Una vez fueron registrados los datos, se guardaron en "assay160322
   .txt"
13
14 data <- read.delim2("assay160322.txt")
15 colnames(data) <- c("Ag", "Br", "Le")
16
17 plot(Br~Ag, data,
18 xlab="Proporcion agua/porotos",
19 ylab="Brix obtenidos") # Crear grafico inicial
20
21 lmBvsA <- lm(Br~Ag, data) # Generar regresion lineal
22
23 summary(lmBvsA) # Imprimir resultados: R^2 = 0,88
24
25 curve(coefficients(lmBvsA)[1] +
26 coefficients(lmBvsA)[2]*x,
27 from = 0.5, to=2.0,
28 col="red", add=TRUE) # Anadir recta al grafico inicial
29
30 lmBvsAQ <- lm(Br~Ag+I(Ag^2), data) # Generar regresion cuadratica

```

```

31
32 summary(lmBvsAQ) # Imprimir resultados: R^2=0,95
33
34 curve(coefficients(lmBvsAQ)[1] +
35 coefficients(lmBvsAQ)[2]*x +
36 coefficients(lmBvsAQ)[3]*x^2,
37 from = 0.5, to=2.0,
38 col="blue", add=TRUE) # Anadir curva al grafico inicial
39

```

Código R.4: DCA y Gráfico: Resultados °Bx vs proporción agua/porotos

R.5. Gráfico: Resultados del ensayo Humedad vs método

```

1
2 library(dplyr)
3 library(readxl)
4
5 data <- read_excel("Ensayos preliminares.xlsx", sheet= "R")
6 data$Muestra <- as.factor(data$Muestra) # Cargar los datos
7
8 library(agricolae)
9 ANOVA <- aov(Humedad ~ Muestra, data = data) # ANOVA
10 summary(ANOVA) # Existen diferencias significativas
11
12 tukey <- HSD.test(ANOVA, "Muestra", console = TRUE) # HSD de Tukey
13 grupos <- as.data.frame(tukey$groups) # Guardar grupos en dataframe
14 grupos$Muestra <- rownames(grupos)
15
16 library(ggplot2)
17

```

```

18 # Reorganizar data para graficar
19 df <- data %>% group_by(Muestra) %>% summarize(x_techo = mean(
    Humedad),
20 sd = sd(Humedad)) %>% left_join(grupos, by = "Muestra")
21
22
23 df %>% ggplot(aes(x = Muestra, y = x_techo)) + # Seleccionar datos
24 geom_col(aes(fill = Muestra),
25 show.legend = FALSE) + # Seleccionar tipo de grafico
26 geom_errorbar(aes(ymin=x_techo-sd,
27 ymax=x_techo+sd),
28 width = 0.2) + # Agregar error
29 geom_text(aes(label = groups,
30 y = Humedad + 2*sd),
31 vjust = -2) + # Agregar letras de error
32 geom_text(aes(label = sprintf(round(x_techo, digits=2),
33 fmt = "%.2f"),
34 y = x_techo + 2*sd),
35 position = position_dodge(width = 0.9),
36 vjust = -0.6, size = 3) + # Agregar promedios a barras
37 labs(x = "Muestra",
38 y = "Humedad (%)") + # Cambiar etiquetas
39 ylim(0,1) + # Ajustar limite
40 theme_minimal() +
41 scale_fill_brewer(palette = "Paired") # Esquema de colores

```

Código R.5: Gráfico: Resultados del ensayo Humedad vs método

R.6. Prueba pareada y gráfico: Resultado de análisis proximal

```

1 library(readxl)

```

```

2 df <- read_excel("Data.xlsx")
3
4 library(tidyr)
5 library(dplyr)
6
7 # Seleccionar solo las primeras dos columnas y la columna de valores
8 data <- df %>% select(Muestra, Analisis, Valor)
9
10 # Funcion para realizar la prueba t pareada y devolver los
    resultados
11 prueba_pareada <- function(data, muestra1, muestra2, analisis) {
12   data_muestra1 <- filter(data, Muestra == muestra1, Analisis ==
    analisis)
13   data_muestra2 <- filter(data, Muestra == muestra2, Analisis ==
    analisis)
14
15   if (nrow(data_muestra1) == nrow(data_muestra2) && nrow(data_
    muestra1) > 1) {
16     test <- t.test(data_muestra1$Valor, data_muestra2$Valor, paired
    = TRUE)
17     return(c(test$statistic, test$p.value))
18   } else {
19     return(c(NA, NA))
20   }
21 }
22
23 # Lista de analisis unicos
24 analisis_unicos <- unique(data$Analisis)
25
26 # Aplicar la funcion a cada tipo de analisis para M vs. MS y D vs.
    DS
27 resultados_m_ms <- lapply(analisis_unicos, function(x) prueba_
    pareada(data, "M", "MS", x))

```



```

28 names(resultados_m_ms) <- analisis_unicos
29
30 resultados_d_ds <- lapply(analisis_unicos, function(x) prueba_
pareada(data, "D", "DS", x))
31 names(resultados_d_ds) <- analisis_unicos
32
33 # Imprimir resultados
34 print("Resultados para M vs. MS:")
35 print(resultados_m_ms)
36 print("Resultados para D vs. DS:")
37 print(resultados_d_ds)
38
39
40 #Prepararse para graficar
41 #-----Generamos una lista con 4 entradas: Los promedios de cada
analisis segun muestra y el resultado de CHdig
42 muestras <- c("M", "MS", "D", "DS")
43 resultados <- list()
44
45 for (i in muestras){
46   res_i <- df %>%
47   filter(Muestra == i, Analisis != "Humedad_wb") %>%
48   group_by(Analisis) %>%
49   summarize(
50     x_techo = mean(Valor),
51     sd = sd(Valor))
52   resultados[[i]] <- res_i
53 }
54
55 for (i in 1:4) {
56   CH <- sum(resultados[[i]]$x_techo)
57   resultados[[i]] <- add_row(resultados[[i]], Analisis = "CHdig_db",
x_techo = 100-CH, sd = NA)

```

```

58 }
59
60
61 for (i in 1:4){
62   print(resultados[[i]])
63 }
64
65 library(ggplot2)
66
67 # Anadir columna 'Muestra' y 'Tipo'
68 resultados[["M"]] <- resultados[["M"]] %>% mutate(Muestra = "M",
69   Tipo = "Martillo")
69 resultados[["MS"]] <- resultados[["MS"]] %>% mutate(Muestra = "MS",
70   Tipo = "Martillo")
70 resultados[["D"]] <- resultados[["D"]] %>% mutate(Muestra = "D",
71   Tipo = "Disco")
71 resultados[["DS"]] <- resultados[["DS"]] %>% mutate(Muestra = "DS",
72   Tipo = "Disco")
72
73 # Combinar todos en un unico data frame
74 datos_combinados <- bind_rows(resultados[["M"]], resultados[["MS"]],
75   resultados[["D"]], resultados[["DS"]])
75
76 datos_combinados <- datos_combinados %>%
77   mutate(Analisis = recode(Analisis,
78     "Fiber_db" = "Fibra",
79     "Prot_db" = "Proteina",
80     "Lipid_db" = "Lipidos",
81     "CHdig_db" = "Carbohidratos",
82     "Ash_db" = "Ceniza")) # Cambiar nombres a etiquetas
83
84
85

```

```

86 # Crear el grafico con facet_grid
87 datos_combinados %>% ggplot(aes(x = reorder(Análisis, -x_techo, mean
88 ),
89 y = x_techo,
90 fill = Muestra,
91 group = Muestra)) + #Seleccionar datos
92 geom_col(position = position_dodge(width = 0.9),
93 width = 0.8) + # Seleccionar tipo de grafico
94 geom_errorbar(aes(ymin = x_techo - 2*sd,
95 ymax = x_techo + 2*sd),
96 position = position_dodge(width = 0.9),
97 width = 0.25) + # Agregar error
98 geom_text(aes(label = "a",
99 y = x_techo + 2*sd),
100 position = position_dodge(width = 0.9),
101 vjust = -2) + # Agregar letras de signif.
102 geom_text(aes(label = round(x_techo, digits=2),
103 y = ifelse(is.na(sd), x_techo, x_techo + 2*sd)),
104 position = position_dodge(width = 0.9),
105 vjust = -0.6,
106 size = 3) + # Agregar valores
107 labs(x = "Análisis", y = "% Base Seca") + #Cambiar etiquetas
108 ylim(0, 50) + #Cambiar limites
109 theme_minimal() +
110 scale_fill_brewer(palette = "Paired") + #Cambiar colores
111 facet_grid(. ~ Tipo, scales = "free_x") # Facet grid ~Tipo

```

Código R.6: Prueba pareada y gráfico: Resultado de análisis proximal

R.7. Gráfico: Distribución del tamaño de partícula del pan rallado

```

1
2 library(readxl)
3 df <- read_excel("Tamanhopanrallado.xlsx", sheet="R")
4
5 library(ggplot2)
6 library(tidyr)
7 library(dplyr)
8
9 df$micrometer <- as.factor(df$micrometer)
10
11 df <- df %>% group_by(micrometer) %>%
12   summarize(x_techo = mean(Recup_porc),
13             sd = 2*sd(Recup_porc)) #Calcular promedio y 2*desviacion
14
15 df$acum <- NA #Iniciar acumulado
16 df$acum[1] <- df$x_techo[1]
17
18 for (i in 2:length(df$micrometer)){
19   df$acum[i] <- df$x_techo[i] + df$acum[i-1]
20 }
21
22
23 df %>% ggplot(aes(x=micrometer, y=x_techo)) +
24   geom_col(aes(fill="fixed"), show.legend = FALSE) +
25   geom_errorbar(aes(ymin=x_techo-sd,
26                     ymax=x_techo+sd),
27                 width = 0.2) + # Agregar error
28   geom_text(aes(label = sprintf(round(x_techo, digits=2),
29                                   fmt = "%.2f"),
30               y = x_techo + 2*sd),
31             position = position_dodge(width = 0.9),
32             vjust = -0.1, size = 3) + # Agregar promedios a barras
33   geom_line(aes(x=as.numeric(micrometer), y=acum, colour=acum)) +

```

```

34 geom_point(aes(y=acum, colour=acum), show.legend = FALSE) +
35   labs(x = "Tamano de tamiz (mu m)",
36        y = "Recuperacion (%)",
37        color = "Recuperacion acumulada (%)") + # Cambiar etiquetas
38   ylim(0,1) + # Ajustar limite
39   theme_minimal() +
40   theme(legend.position = "bottom", # Colocar la leyenda en la
41         parte inferior
42         legend.direction = "horizontal") + # Mostrar la leyenda
43   scale_fill_brewer(palette = "Paired") +
44   scale_color_gradient(low = "gray", high = "chartreuse3") # Esquema
45   de colores

```

Código R.7: Gráfico: Distribución del tamaño de partícula del pan rallado

R.8. Gráfico: Composición de los ácidos grasos del okara

```

1
2 library(ggplot2)
3
4 GC <- read.delim('GClipidos.tsv')
5
6 GC$Acido.graso <- as.factor(GC$Acido.graso)
7 GC$Muestra <- as.factor(GC$Muestra)
8
9 ggplot(GC, aes(fill= Muestra,x=Acido.graso, y=Porcentaje)) +
10   geom_bar(position="dodge", stat='identity') +
11   ylim(0,60)+
12   labs(
13     x='Acido graso',

```

```

14     y='Identificacion (%)',
15     title='') +
16     theme_minimal() +
17     scale_fill_brewer(palette = "Paired")

```

Código R.8: Gráfico: Composición de los ácidos grasos del okara

R.9. Análisis de datos - Productos registrados en IM

Análisis de datos de IM - Productos registrados

Maximiliano Kniazev

2024-05-28

Se cargaron los datos en el objeto `v_productos_real` obtenido de:

<https://ckan.montevideo.gub.uy/dataset/habilitacion-y-registro-de-alimentos>

Notamos la estructura de los mismos y que la columna `VIDA_UTIL` de interés no tiene un formato estándar.

```
v_productos_real <- read.csv("v_productos_real.csv", sep = ";")

str(v_productos_real)

## 'data.frame': 65107 obs. of 24 variables:
## $ NOMBRE : chr "ALMENDRAS SALADAS CUBIERTAS CON CHOCOLATE NEGRO.LIBRES DE GLUTEN" "CER"
## $ NOM_FANTASIA : chr "" "PREMIUM LAGER" "BARBECUE RELISH" "" ...
## $ IDPROD : int 15694 15471 15684 15635 15670 15671 15664 15558 15691 591 ...
## $ RUBRO : chr "Exp-elab" "Exp-elab" "Exp-elab" "Exp-elab" ...
## $ NRO_HAB : int 3106 3106 3106 3106 3106 3106 3106 3106 941 ...
## $ EMPRESA : chr "HENDERSON Y CIA. S.A." "HENDERSON Y CIA. S.A." "HENDERSON Y CIA. S.A."
## $ LOCAL : chr "AV ITALIA N°: 5820 [Padron: 196674] entre AV BOLIVIA y ANCONA" "AV I"
## $ IDCAPI : int 4 13 16 16 18 18 18 16 4 18 ...
## $ CAPITULO : chr "ALIMENTOS AZUCARADOS" "BEBIDAS ALCOHOLICAS FERMENTADAS" "SAL-CONDIMEN"
## $ IDCLASE : int 446 1320 16427 1621 1841 1841 1841 1621 446 18313 ...
## $ CLASE : chr "PELADILLA" "CERVEZA" "OTRAS SALSAS NO EMULSIONADAS" "ESPECIES SIMPLES"
## $ VIDA_UTIL : chr "12 MESES" "15 MESES" "30 meses" "3 AÑOS" ...
## $ MARCA : chr "FOREST FEAST" "BIRRIFICIO ANGELO PORETTI" "MRS. DARLINGTON¿S" "CARMEN"
## $ PAIS : chr "REINO UNIDO" "ITALIA" "REINO UNIDO" "ESPAÑA" ...
## $ DPTO : chr "" "" "" "" ...
## $ ENVASE : chr "BOLSA" "BOTELLA" "FRASCO" "BOLSA" ...
## $ MEDIDA : chr "g" "cc" "g" "g" ...
## $ MATERIAL_ENVASE : chr "BOPP" "VIDRIO" "vidrio" "pp" ...
## $ PRESENTACION : chr "ALIMENTO CONSERVADO A TEMPERATURA AMBIENTE" "ALIMENTO CONSERVADO A TEI"
## $ TAMANIO_PRESENTACION : chr "50g a 500g" "200mL a 1L" "50 g a 1 kg" "0.1g a 50g" ...
## $ ESTADO : chr "HABILITADO" "HABILITADO" "HABILITADO" "HABILITADO" ...
## $ FDESDE_HAB : chr "15/04/2024" "11/04/2024" "08/04/2024" "20/02/2024" ...
## $ FHASTA_HAB : chr "15/04/2029" "11/04/2029" "08/04/2029" "19/02/2029" ...
## $ RUC : num 2.1e+11 2.1e+11 2.1e+11 2.1e+11 2.1e+11 ...

Categories <- unique(v_productos_real$VIDA_UTIL)
length(Categories) #Hay 2692 categorías distintas para vida útil, no hay criterio.

## [1] 2692
```

Se extrajo y se adecuó una función de fuentes diversas en internet para convertir todas las mayúsculas de `VIDA_UTIL` a minúsculas, y luego convertir todos los años y meses a un número. (Multiplica por doce los años y elimina el tag, o bien elimina el tag si es mes). Esto dejará un hueco en todos los elementos de `VIDA_UTIL` que tengan en el tag cosas como "Días" pero son los casos minimales.

```

convert_to_months <- function(vida_util) {
  vida_util <- tolower(vida_util) # Convertir a minúsculas para manejar mejor los casos
  if (grepl("mes", vida_util)) {
    # Extraer el número de meses
    months <- as.numeric(gsub("[^0-9]", "", vida_util))
    return(months)
  } else if (grepl("año", vida_util) | grepl("año", vida_util)) {
    # Extraer el número de años y convertir a meses
    years <- as.numeric(gsub("[^0-9]", "", vida_util))
    return(years * 12)
  } else {
    return(NA) # En caso de que el formato no sea reconocido
  }
}

```

Aplicamos la función generada a los datos y determinamos que existen 65.000 casos de alimentos registrados en la base de datos de IM.

```

library(dplyr)

##
## Attaching package: 'dplyr'

## The following objects are masked from 'package:stats':
##
##   filter, lag
##
## The following objects are masked from 'package:base':
##
##   intersect, setdiff, setequal, union
# Aplicar la función de conversión
v_productos_real <- v_productos_real %>%
  mutate(VIDA_UTIL_MESES = sapply(VIDA_UTIL, convert_to_months))

dim(v_productos_real) #65107 productos en la base de datos de la IM

## [1] 65107    25

```

Analizamos las categorías bajo las cuales se pueden aplicar filtros:

```

conserva <- unique(v_productos_real$PRESENTACION)
print(conserva)

## [1] "ALIMENTO CONSERVADO A TEMPERATURA AMBIENTE"
## [2] "ALIMENTO CONGELADO (-18 °C)"
## [3] "CONSERVADO EN REFRIGERACION (0 A 7°C)"
## [4] "ALIMENTO CONSERVADO EN FRÍO"
## [5] ""
## [6] "MANTENER A TEMPERATURA SUGERIDA DE TRANSPORTE(CISTERNA)"
## [7] "CONSERVADO A TEMP. AMBIENTE ( AMB. SECO, MENOS DE 20 °C)"
## [8] "ENVASE (FUERA DE USO)"

capitulo <- unique(v_productos_real$CAPITULO)
print(capitulo)

## [1] "ALIMENTOS AZUCARADOS"
## [2] "BEBIDAS ALCOHOLICAS FERMENTADAS"

```



```
## [3] "SAL-CONDIMENTOS-SALSAS-CALDOS Y SOPAS"
## [4] "ALIMENTOS VARIOS"
## [5] "CACAO Y DERIVADOS"
## [6] "ALIMENTOS FARINACEOS"
## [7] "ADITIVOS ALIMENTARIOS"
## [8] "FRUTAS-HORTALIZAS Y DERIVADOS"
## [9] "PESCADOS Y PRODUCTOS PESQUEROS"
## [10] "LECHE Y DERIVADOS"
## [11] "AGUA Y BEBIDAS SIN ALCOHOL"
## [12] "CAFE-TE Y YERBA"
## [13] "CARNE Y DERIVADOS"
## [14] "HELADOS"
## [15] "ALIMENTOS GRASOS"
## [16] "BEBIDAS ALCOH. DESTILADAS Y DE FANTASIA"
## [17] "PRODUCTOS PROTEICOS Y LEVADURAS"
## [18] "ENVASES"
## [19] "HUEVOS Y DERIVADOS"
```

Aplicamos el filtro en cuestión “productos envasados en bolsa y que pertenezcan a capítulos del RBN de relativa similitud al okara deshidratado”.

```
filtrados <- v_productos_real %>% filter(PRESENTACION == conserva[1]) %>% #Seleccionar alimentos a temp.
  filter(CAPITULO %in% c(capitulo[4], capitulo[6], capitulo[7], capitulo[12])) %>% #Seleccionar capit.
  filter(!is.na(VIDA_UTIL_MESES)) %>% #Eliminar entradas vacías
  filter(VIDA_UTIL_MESES <= 36) %>% #Filtrar menores a 36 (por error los mayores)
  filter(ENVASE == "BOLSA") %>% #Filtrar envasados en bolsa
  filter(VIDA_UTIL_MESES >= 12) #Filtrar los mayores a 12

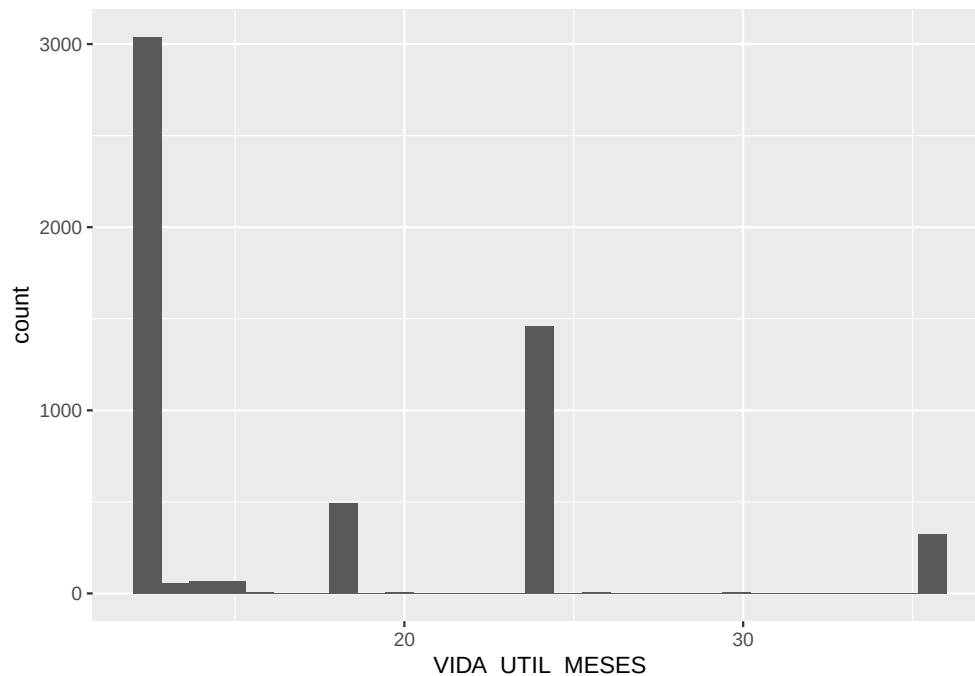
dim(filtrados) #5546 productos filtrados
```

```
## [1] 5547 25
```

Observamos la distribución de vida útil filtrada.

```
library(ggplot2)
ggplot(filtrados, aes(x=VIDA_UTIL_MESES)) + geom_histogram()

## `stat_bin()` using `bins = 30`. Pick better value with `binwidth`.
```



A continuación analizamos las palabras más usadas en la descripción del producto bajo este filtro, utilizando una función que genera un `data.frame()` de todas las palabras en la categoría “NOMBRE” (`unnest_tokens()`) y contando las ocurrencias de la misma.

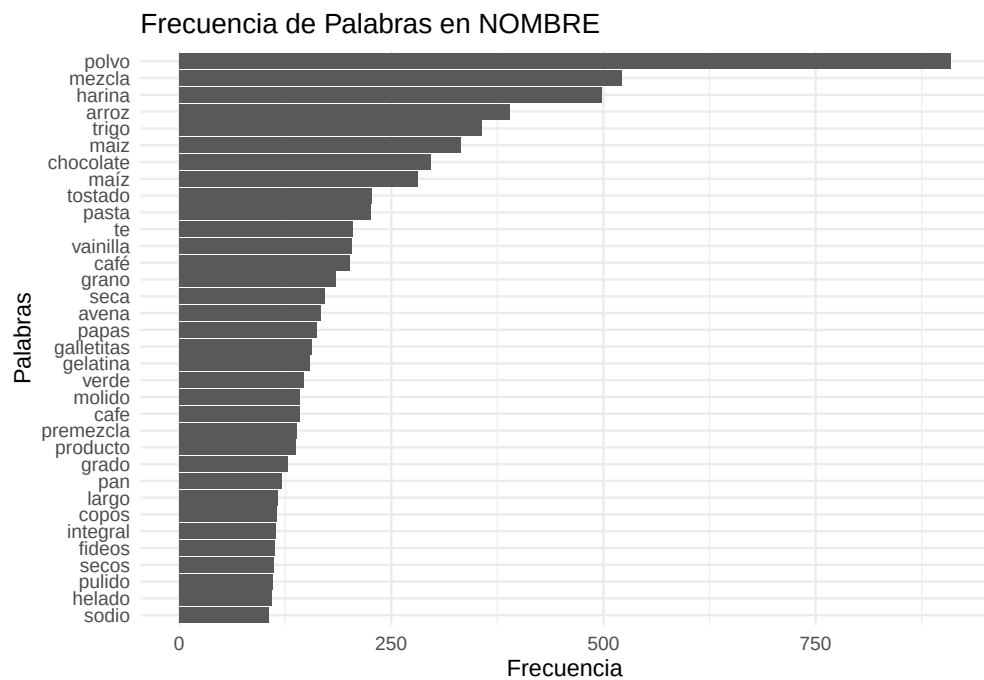
Tras un primer análisis, se decidió eliminar manualmente las palabras cortas o que no aportaban información al análisis (palabras como “con”, “sin”, “tipo”, “y”, etc).

```
library(wordcloud)

## Loading required package: RColorBrewer
library(tm)

## Loading required package: NLP
##
## Attaching package: 'NLP'
## The following object is masked from 'package:ggplot2':
##
##   annotate
library(tidytext)

# Dividir los nombres en palabras individuales
word_counts <- filtrados %>%
  unnest_tokens(word, NOMBRE) %>%
  count(word, sort = TRUE) %>%
  filter(n > 100)
```

R.10. Gráfico y ANOVA: Determinación de la humedad en función del tiempo de almacenamiento

```
1 #---- Humedad
2
3 humedad_t <- read_excel("Resultados_Humedad.xlsx")
4
5 humedad_t$Mes <- as.factor(humedad_t$Mes)
6
7 res_hum <- humedad_t %>%
8   group_by(Muestra,Mes) %>%
9   summarize(promedio = mean(Hum),
10             sd = sd(Hum))
11 res_hum
12
13
14 HUM_DS <- humedad_t %>% filter(Muestra == "DS")
15 HUM_MS <- humedad_t %>% filter(Muestra == "MS")
16
17
18 anova_hum_ds <- aov(Hum ~ Mes, data = HUM_DS)
19 summary(anova_hum_ds) #p-vale > 0.05
20
21 anova_hum_ms <- aov(Hum ~ Mes, data = HUM_MS)
22 summary(anova_hum_ms) #p-value > 0.05
23
24 library(RColorBrewer)
25 paired_colors <- brewer.pal(n = 12, name = "Paired")
26 custom_colors <- paired_colors[c(2, 4)]
27
28 ggplot(res_hum, aes(x=Mes, y = promedio, fill=Muestra)) + geom_col(
29   position="dodge") +
```

```

30   geom_errorbar(aes(ymin = promedio - sd, ymax = promedio+sd),
31                 position = position_dodge(0.9), width=0.25) +
32   theme_minimal() +
33   scale_fill_manual(values = custom_colors) +
34   labs(x = "Mes transcurrido",
35        y = "Humedad (%)") +
36   ylim(0,10) +
37   geom_hline(yintercept = 8,
38             linetype = 2,
39             color = 2)

```

Código R.9: Gráfico y ANOVA: Determinación de la humedad en función del tiempo de almacenamiento

R.11. Gráfico y ANOVA: Evolución de la estabilidad oxidativa del okara seco

```

1 #TBARS -----
2 df_TBARS <- read_excel("TBARS.xlsx") #Cargamos data
3 df_TBARS <- df_TBARS %>%
4   setNames(c("Muestra", "Mes", "Propiedad")) #Estandarizamos notacion
5 df_TBARS$Propiedad <- as.numeric(df_TBARS$Propiedad)
6 df_TBARS$Mes <- as.factor(df_TBARS$Mes)
7
8 df_TBARS_MS <- df_TBARS %>% filter(Muestra == "MS")
9 anova_TBARS_MS <- aov(Propiedad ~ Mes, data = df_TBARS_MS) #Hacemos
   anova
10 summary(anova_TBARS_MS)
11
12 df_TBARS_DS <- df_TBARS %>% filter(Muestra == "DS")
13 anova_TBARS_DS <- aov(Propiedad ~ Mes, data = df_TBARS_DS) #Hacemos
   anova

```

```

14 summary(anova_TBARS_DS)
15
16 Resumen <- df_TBARS %>% group_by(Muestra, Mes) %>%
17   summarize('TBARS mgMDA/kg okara seco' = mean(Propiedad),
18             sd = sd(Propiedad))
19
20 library(RColorBrewer)
21 paired_colors <- brewer.pal(n = 12, name = "Paired")
22 custom_colors <- paired_colors[c(2, 4)]
23
24
25 Resumen %>% ggplot(aes(x=Mes, fill=Muestra, y='TBARS mgMDA/kg okara
   seco')) +
26   geom_col(position = position_dodge()) +
27   geom_errorbar(aes(ymin = 'TBARS mgMDA/kg okara seco' - sd, ymax =
   'TBARS mgMDA/kg okara seco' + sd),
28                 position = position_dodge(0.9), width = 0.25) +
29   scale_fill_manual(values = custom_colors) +
30   theme_minimal() +
31   labs(x="Mes transcurrido",
32        y= "TBARS (mgMDA/kg okara seco)")

```

Código R.10: Gráfico: Evolución de la estabilidad oxidativa del okara seco

R.12. Gráfico y ANOVA: Evolución de la estabilidad sensorial del okara seco

```

1   #-----
2 #Sensorial
3 #-----
4
5 df <- read_excel("Vida util.xlsx", sheet = "R2")

```

```

6
7 ##-- LSD Fisher por atributo y por muestra
8 df_DS <- df %>% filter('Sample Name' == "DS") %>% select(-1)
9 date_mapping <- c('2022-09-01' = 1, '2023-04-01' = 9, '2024-01-01' =
10 18)
11 df_DS <- df_DS %>%
12   mutate(Mes = date_mapping[as.character(Fecha)]) %>% select(-1)
13
14 anova_DS_color <- aov(Color ~ Mes, data = df_DS)
15 summary(anova_DS_color) #p-value <0.05
16 LSD_DS_color <- LSD.test(anova_DS_color, "Mes", p.adj="none")
17 LSD_DS_color$groups
18
19 anova_DS_olor <- aov('Intensidad de olor' ~ Mes, data = df_DS)
20 summary(anova_DS_olor) #p-value > 0.05
21
22 anova_DS_crocancia <- aov(Crocancia ~ Mes, data = df_DS)
23 summary(anova_DS_crocancia) #p-value <0.05
24 LSD_DS_crocancia <- LSD.test(anova_DS_crocancia, "Mes", p.adj="none")
25 LSD_DS_crocancia$groups
26
27 anova_DS_sequedad <- aov(Sequedad ~ Mes, data = df_DS)
28 summary(anova_DS_sequedad) #p-value <0.05
29 LSD_DS_sequedad <- LSD.test(anova_DS_sequedad, "Mes", p.adj="none")
30 LSD_DS_sequedad$groups
31
32 anova_DS_isabor <- aov('Intensidad de sabor' ~ Mes, data = df_DS)
33 summary(anova_DS_isabor) #p-value <0.05
34 LSD_DS_isabor <- LSD.test(anova_DS_isabor, "Mes", p.adj="none")
35 LSD_DS_isabor$groups
36
37 anova_DS_aceite <- aov('Sabor a aceite de soja' ~ Mes, data = df_DS)
38 summary(anova_DS_aceite) #p-value >0.05

```



```

38
39 anova_DS_amargo <- aov(Amargo ~ Mes, data = df_DS)
40 summary(anova_DS_amargo) #p-value >0.05
41
42 anova_DS_pers <- aov('Persistencia de sabor' ~ Mes, data = df_DS)
43 summary(anova_DS_pers) #p-value >0.05
44
45
46 df_MS <- df %>% filter('Sample Name' == "MS") %>% select(-1)
47 date_mapping <- c('2022-09-01' = 1, '2023-04-01' = 9, '2024-01-01' =
    18)
48 df_MS <- df_MS %>%
49     mutate(Mes = date_mapping[as.character(Fecha)]) %>% select(-1)
50
51
52 anova_MS_color <- aov(Color ~ Mes, data = df_MS)
53 summary(anova_MS_color) #p-value >0.05
54
55 anova_MS_olor <- aov('Intensidad de olor' ~ Mes, data = df_MS)
56 summary(anova_MS_olor) #p-value > 0.05
57
58 anova_MS_crocancia <- aov(Crocancia ~ Mes, data = df_MS)
59 summary(anova_MS_crocancia) #p-value >0.05
60
61 anova_MS_sequedad <- aov(Sequedad ~ Mes, data = df_MS)
62 summary(anova_MS_sequedad) #p-value <0.05
63 LSD_MS_sequedad <- LSD.test(anova_MS_sequedad, "Mes", p.adj="none")
64 LSD_MS_sequedad$groups
65
66 anova_MS_isabor <- aov('Intensidad de sabor' ~ Mes, data = df_MS)
67 summary(anova_MS_isabor) #p-value >0.05
68
69 anova_MS_aceite <- aov('Sabor a aceite de soja' ~ Mes, data = df_MS)

```

```

70 summary(anova_MS_aceite) #p-value >0.05
71
72 anova_MS_amargo <- aov(Amargo ~ Mes, data = df_MS)
73 summary(anova_MS_amargo) #p-value >0.05
74
75 anova_MS_pers <- aov('Persistencia de sabor' ~ Mes, data = df_MS)
76 summary(anova_MS_pers) #p-value >0.05
77
78
79
80 ##-- Grafico
81 data <- df %>% group_by('Sample Name', Fecha) %>%
82   summarize( Color = mean(Color),
83             I.Olor = mean('Intensidad de olor'),
84             Crocancia = mean(Crocancia),
85             Sequedad = mean(Sequedad),
86             I.Sabor = mean('Intensidad de sabor'),
87             S.A.Soja = mean('Sabor a aceite de soja'),
88             Amargo = mean(Amargo),
89             Pers.Sab = mean('Persistencia de sabor')
90 )
91
92 data.sd <- df %>% group_by('Sample Name', Fecha) %>%
93   summarize( Color = sd(Color),
94             I.Olor = sd('Intensidad de olor'),
95             Crocancia = sd(Crocancia),
96             Sequedad = sd(Sequedad),
97             I.Sabor = sd('Intensidad de sabor'),
98             S.A.Soja = sd('Sabor a aceite de soja'),
99             Amargo = sd(Amargo),
100                                     Pers
101             .Sab = sd('Persistencia de sabor')
102 )

```

```

102
103 date_mapping <- c('2022-09-01' = 1,
104                   '2023-04-01' = 9,
105                   '2024-01-01' = 18)
106
107
108 data <- data %>%
109   mutate(Mes = date_mapping[as.character(Fecha)])
110
111 data.sd <- data.sd %>%
112   mutate(Mes = date_mapping[as.character(Fecha)])
113
114 data_long <- data %>% select(!Fecha) %>%
115   pivot_longer(!c("Sample Name", "Mes"), names_to = "Atributo",
116               values_to = "Promedio")
117
118 data.sd_long <- data.sd %>% select(!Fecha) %>%
119   pivot_longer(!c("Sample Name", "Mes"), names_to = "Atributo",
120               values_to="sd")
121
122 data_long <- data_long %>% left_join(data.sd_long, by=c("Atributo", "
123               Mes", "Sample Name"))
124
125
126
127 data_long %>% ggplot(aes(x=as.factor(Mes), fill=Atributo, y=Promedio))
128   +
129   geom_col(position = position_dodge()) +
130   geom_errorbar(aes(ymin = Promedio - sd, ymax = Promedio + sd),
131                 position = position_dodge(0.9), width = 0.25) +

```

```

131 facet_grid('Sample Name' ~ .) +
132 scale_fill_manual(labels=c("Amargo",
133                             "Int. Color",
134                             "Crocancia",
135                             "Int. Olor",
136                             "Int. Sabor",
137                             "Pers. Sabor",
138                             "Sab. Ac. Soja",
139                             "Sequedad"),
140                values = dark2_colors) +
141 theme_minimal() +
142 theme(strip.background = element_rect(colour = "black",
143                                       fill = "white"),
144       strip.text = element_text(face = "bold",
145                                 size = 12)) +
146 labs(x="Mes transcurrido",
147      y="Respuesta sensorial promedio")
148
149
150 Presentacion_sensorial <- data %>% left_join(data.sd, by=c("Sample
    Name", "Fecha", "Mes"))

```

R.13. Tamaño de partícula del HOE y OD

```

1
2 #Grafico tamanho de particula
3 # Funcion para preparar los datos, vienen del software en una forma
   especial
4 prepare_data <- function(sheet_name, xl_path) {
5   df <- read_excel(xl_path, sheet = sheet_name)
6   colnames(df) <- c("x", "y") # Renombrar las columnas para
   facilitar el acceso

```

```

7     df$x <- as.numeric(df$x)
8     df$y <- as.numeric(df$y)
9     df <- na.omit(df)
10    return(df)
11  }
12
13  # Preparar los datos de cada hoja
14  rep1_data <- prepare_data('Rep1', '121023-Acumulado.xlsx')
15  rep2_data <- prepare_data('Rep2', '121023-Acumulado.xlsx')
16  rep3_data <- prepare_data('Rep3', '121023-Acumulado.xlsx')
17
18  ext1_data <- prepare_data('Ext1', '121023-Acumulado.xlsx')
19  ext2_data <- prepare_data('Ext2', '121023-Acumulado.xlsx')
20  ext3_data <- prepare_data('Ext3', '121023-Acumulado.xlsx')
21
22  T_part_okara_extrus <- rbind(ext1_data, ext2_data, ext3_data)
23  T_part_okara_extrus$muestra <- as.factor(c("Extrusado"))
24  T_part_okara_nativo <- rbind(rep1_data, rep2_data, rep3_data)
25  T_part_okara_nativo$muestra <- as.factor(c("Nativo"))
26  T_part_total <- rbind(T_part_okara_nativo, T_part_okara_extrus)
27
28  #Graficar
29  ggplot(T_part_total, aes(x=x, y=y, color = muestra)) +
30    geom_smooth(method = "auto", span=0.1) + #Agregar curvas
31    scale_x_log10(labels = scales::comma) + #Graficar en logaritmo
32    geom_jitter(alpha = 0.5) + #Agregar puntos
33    theme_minimal() + #quitar fondo
34    labs(
35      x = "Log10(Di metro equivalente ( m ))",
36      y = "Acumulado de muestra (%)",
37      colour = ""
38    ) + #corregir ejes
39    geom_vline(xintercept = 383.0, linetype = "dashed", colour = "red")

```

```

    ) + #Agregar mediana
40   geom_vline(xintercept = 604.7, linetype = "dashed", colour = "blue
    ") + #agregar mediana
41   coord_cartesian(xlim = c(5, NA)) + #Limitar el eje x
42   geom_text(data=data.frame(x=383.0, y=0),
43             aes(x=x, y=y, label="383.0"), colour="red", hjust=1.3) +
44   geom_text(data=data.frame(x=604.7, y=0),
45             aes(x=x, y=y, label="604.7"), colour="blue", hjust=-0.3)

```

Código R.11: Tamaño de partícula del HOE y OD

R.14. Capacidad de Retención de Agua y Fracción Soluble

```

1
2 library(tidyverse)
3 # Leer los datos desde el archivo Excel
4 df <- read_excel("Hidratacion.xlsx", sheet = "R")
5
6 df$Cond <- as.factor(df$Cond)
7 str(df)
8 df_grouped <- df %>%
9   mutate(Cond = recode(Cond,
10                        'Cond3' = '3',
11                        'Cond5' = '5',
12                        'Cond8' = '8',
13                        'Nativo' = 'Nativo')) %>%
14   group_by(Cond) %>%
15   summarize(PromWR = mean(Wretention),
16            sdWR = sd(Wretention),
17            PromSF = mean(SolubleFrac),
18            sdSF = sd(SolubleFrac))

```

```

19
20
21 # Realizar el analisis ANOVA para Wretention vs Cond
22 anova_Wretention <- aov(Wretention ~ Cond, data = df)
23 summary(anova_Wretention)
24
25 # Realizar el test LSD de Fisher para Wretention vs Cond
26 lsd_Wretention <- LSD.test(anova_Wretention, "Cond")
27 lsd_Wretention$groups
28
29 # Realizar el analisis ANOVA para SolubleFrac vs Cond
30 anova_SolubleFrac <- aov(SolubleFrac ~ Cond, data = df)
31 summary(anova_SolubleFrac)
32
33 # Realizar el test LSD de Fisher para SolubleFrac vs Cond
34 lsd_SolubleFrac <- LSD.test(anova_SolubleFrac, "Cond")
35 lsd_SolubleFrac$groups
36
37 # Gr fico de Wretention vs Cond
38 p1 <- ggplot(df_grouped, aes(x = Cond, y = PromWR)) +
39   geom_col(aes(fill="fixed"), show.legend = FALSE) +
40   geom_errorbar(aes(ymin = PromWR - 2*sdWR,
41                     ymax = PromWR + 2*sdWR),
42                 position = position_dodge(width = 0.9),
43                 width = 0.25) + # Agregar error
44   geom_text(aes(label = sprintf(round(PromWR, digits=2),
45                                   fmt = "%.2f"),
46               y = PromWR + 2*sdWR),
47             position = position_dodge(width = 0.9),
48             vjust = -0.5, size = 2.5) + # Agregar promedios a barras
49   geom_text(aes(label = c("a", "b", "a", "c"),
50               y = PromWR + 2*sdWR),
51             position = position_dodge(width = 0.9),

```

```

52         vjust = -2, size = 2.5) + # manual Significance letters
53 xlab("Condici n") +
54 ylab("Capacidad de retenci n de agua (%)") +
55 scale_fill_brewer(palette = "Paired") +
56 theme_minimal() +
57 ylim(0, 9)
58
59 # Gr fico de SolubleFrac vs Cond
60 p2 <- ggplot(df_grouped, aes(x = Cond, y = PromSF)) +
61   geom_col(aes(fill="fixed"), show.legend = FALSE) +
62   geom_errorbar(aes(ymin = PromSF - 2*sdSF,
63                     ymax = PromSF + 2*sdSF),
64                 position = position_dodge(width = 0.9),
65                 width = 0.25) + # Agregar error
66   geom_text(aes(label = sprintf(round(PromSF, digits=2),
67                                   fmt = "%.2f"),
68                 y = PromSF + 2*sdSF),
69             position = position_dodge(width = 0.9),
70             vjust = -0.5, size = 2.5) + # Agregar promedios a barras
71   geom_text(aes(label = c("b", "a", "a", "c"),
72                 y = PromSF + 2*sdSF),
73             position = position_dodge(width = 0.9),
74             vjust = -2, size = 2.5) + # manual Significance letters
75 xlab("Condici n") +
76 ylab("Fracci n soluble (%)") +
77 theme_minimal() +
78 scale_fill_brewer(palette = "Paired") +
79 ylim(0, 30)
80
81 # Usa la funci n grid.arrange() de la biblioteca gridExtra para
82   colocar los gr ficos uno al lado del otro
83 library(gridExtra)

```



```
83 grid.arrange(p1, p2, ncol=2)
```

Código R.12: Capacidad de Retención de Agua y Fracción Soluble

R.15. Mapeo Proyectivo: Biplot

```
1 library(SensoMineR)
2 library(tidyverse)
3 library(openxlsx)
4
5 #Cargar datos
6 data <- read.xlsx("data.xlsx", sheet="napping.data", rowNames = TRUE)
7 words <- read.xlsx("data.xlsx", sheet="napping.words", rowNames = TRUE
8   )
9
10 #Por si los casilleros de words est n vac os en lugar de tener 0
11 words[is.na(words)] <- 0
12
13 nappeplot(data, numr = 3, numc = 3)
14
15 # Abrir un dispositivo nulo
16 pdf(NULL)
17 result <- pmfa(data, words)
18 #cerrar el dispositivo
19 dev.off()
20
21 #Generemos la matriz de cosenos cuadrados y corroboremos quien est
22   bien representado
23 cos2 <- as.data.frame(round(result$MFA$quanti.var.sup$cos2, 2))
24 cos2$SumaCos2 <- cos2$Dim.1 + cos2$Dim.2
25 cos2$BienRepresentado <- cos2$SumaCos2 > cos2max_value
26 print(cos2)
```

```

26
27 #Automatizamos qu  atributos queremos seg n cos2>0.67
28
29 atributos_ok <- rownames(cos2 %>% filter(BienRepresentado == TRUE))
30 words_ok <- words %>% select(all_of(atributos_ok))
31
32 # Abrir un dispositivo nulo
33 pdf(NULL)
34 result2 <- pmfa(data, words_ok)
35 # Cerrar el dispositivo
36 dev.off()
37
38 #Mostrar eigenvalues
39 round(result2$MFA$eig,2)
40
41 #Quedarse con los % de la varianza explicada en las dimensiones
42 peso_dim <- as.data.frame(result2$MFA$eig) %>%
43   mutate(Percentage = 'percentage of variance') %>%
44   select(Percentage) %>%
45   slice(1:2) %>%
46   round(digits = 2)
47
48 #-----Recrear el biplot
49
50 #Rescatar las coordenadas de las muestras
51 FactoresInd <- as.data.frame(result2$MFA$ind$coord)
52 #Formatearlo, no tienen los nombres de las muestras sino
53 FactoresInd$Muestra <- rownames(FactoresInd)
54
55 #Rescatar las coordenadas de la variable suplementaria
56 Sup.Var <- as.data.frame(result2$MFA$quanti.var.sup$coord)
57 #Formatearlo, no tienen los nombres de atributos
58 Sup.Var$Atributo <- rownames(Sup.Var)

```

```

59 # Reemplazar puntos por espacios en los nombres de los atributos
60 Sup.Var$Atributo <- gsub("\\.", " ", Sup.Var$Atributo)
61
62 #----
63 #Ajustar el máximo de los atributos para que coincida con el de los
    factores
64 # Cálculo de máximos para FactoresInd
65 max_factores_ind <- max(abs(FactoresInd$Dim.1), abs(FactoresInd$Dim.2)
    )
66
67 # Cálculo de máximos para Sup.Var
68 max_sup_var <- max(abs(Sup.Var$Dim.1), abs(Sup.Var$Dim.2))
69
70 # Cálculo del factor de escala
71 scale_factor <- max_factores_ind / max_sup_var
72
73 # Aplicar el factor de escala a Sup.Var
74 Sup.Var$Dim.1 <- Sup.Var$Dim.1 * scale_factor * 0.9
75 Sup.Var$Dim.2 <- Sup.Var$Dim.2 * scale_factor * 0.9
76
77 library(ggplot2)
78 library(grid) # Para usar la función arrow()
79 library(ggrepel)
80
81 # Gráfico utilizando dos data frames diferentes: FactoresInd y Sup.
    Var
82 ggplot() +
83   # Puntos de FactoresInd con mayor tamaño y en azul oscuro
84   geom_point(data = FactoresInd, aes(x = Dim.1, y = Dim.2), color =
    "darkblue", size = 2) +
85   # Texto repelente para las muestras en FactoresInd en azul oscuro
    y negrita
86   geom_text_repel(data = FactoresInd, aes(x = Dim.1, y = Dim.2,

```

```

label = Muestra),
87         color = "darkblue", fontface = "bold", size = 4) +
88   # Flechas desde el origen a los puntos de Sup.Var
89   geom_segment(data = Sup.Var, aes(x = 0, y = 0, xend = Dim.1, yend
= Dim.2),
90         arrow = arrow(type = "open", length = unit(0.15, "
inches"))),
91         color = "red", size = 0.5, alpha = 0.5) +
92   # Texto repelente para los atributos en Sup.Var en color rojo
oscuro
93   geom_text_repel(data = Sup.Var, aes(x = Dim.1, y = Dim.2, label =
Atributo), color = "red", alpha=0.7) +
94   # Líneas guía en los ejes
95   geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", alpha = 0.5) +
96   geom_vline(xintercept = 0, linetype = "dashed", alpha = 0.5) +
97   # Etiquetas y título
98   labs(x = paste("F1", peso_dim[1, "Percentage"], "%"),
99         y = paste("F2", peso_dim[2, "Percentage"], "%"),
100        title = paste("Biplot (Ejes F1 y F2:",
101                      sum(peso_dim[1:2, "Percentage"]), "%")) +
102   # Tema minimalista
103   theme_classic() +
104   theme(panel.border = element_rect(color = "black", fill = NA, size
= 1)) +
105   xlim(-max_factores_ind * 1.1, max_factores_ind * 1.1) +
106   ylim(-max_factores_ind * 1.1, max_factores_ind * 1.1)

```

Código R.13: Mapeo Proyectivo: Biplot

R.16. Círculo de correlación de variables auxiliares

Este código es anexo al descrito en el Anexo [R.15](#). Se utilizan los mismos `data.frames`

```
1
2 #Circulo de correlaciones
3 Correlation.data <- Sup.Var
4 Correlation.data$Cos2 <- cos2$SumaCos2
5
6 ggplot() +
7   # Flechas desde el origen a los puntos de Sup.Var
8   geom_segment(data = Correlation.data, aes(x = 0, y = 0, xend = Dim
9     .1, yend = Dim.2, color = Cos2),
10     arrow = arrow(type = "open", length = unit(0.07, "
11       inches")),
12     #color = myred,
13     size = 0.3) +
14   # Texto repelente para los atributos en Sup.Var en color rojo
15   oscuro
16   geom_text_repel(data = Correlation.data, aes(x = Dim.1, y = Dim.2,
17     label = Atributo, color = Cos2),
18     #color = myred,
19     size = 3.5) +
20   # L neas gu a en los ejes
21   geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", alpha = 0.5) +
22   geom_vline(xintercept = 0, linetype = "dashed", alpha = 0.5) +
23   # Agregar el c rculo
24   geom_circle(aes(x0=0, y0 = 0, r=1)) +
25   geom_circle(aes(x0=0, y0 = 0, r=sqrt(0.67)), linetype = "dotted")
26 +
27   # Etiquetas y t tulo
28   labs(x = paste("F1", peso_dim[1, "Percentage"], "%"),
29     y = paste("F2", peso_dim[2, "Percentage"], "%"),
```

```

25     title = paste("Círculo de correlación (Ejes F1 y F2:",
26                   sum(peso_dim[1:2, "Percentage"]), "%")) +
27   # Tema minimalista
28   theme_classic() +
29   theme(panel.border = element_rect(color = "black", fill = NA, size
30     = 1)) +
31   xlim(-1.1, 1.1) +
32   ylim(-1.1, 1.1) +
33   coord_fixed() +
34   scale_color_gradient2(low = mypink,
35                         #mid = myred,
36                         high = myred,
37                         #midpoint = 0.5,
38                         name = "") +
39   # Agregar una línea discontinua para la leyenda
40   geom_line(aes(x = c(0, 0), y = c(0, 0), linetype = "0.67"), color
41     = "black", show.legend = TRUE) +
42   geom_line(aes(x = c(0, 0), y = c(0, 0), linetype = "1.00"), color
43     = "black", show.legend = TRUE) +
44   scale_linetype_manual(name = "cos2", values = c("0.67" = "dotted",
45     "1.00" = "solid"))

```

Código R.14: Círculo de correlación de variables auxiliares del mapeo proyectivo

```

1   #--- Factor galleta
2   library(openxlsx)
3   data <- read.xlsx("Reologia.xlsx", sheet = "FG_R")
4   data$Muestra <- as.factor(data$Muestra)
5   data$Tipo <- as.factor(data$Tipo)
6   data$Sustitución <- as.factor(data$Sustitución)
7
8   #- ANOVA
9   anova_FG <- aov(Fg ~ Muestra, data)
10  summary(anova_FG)

```

```

11 library(agricolae)
12 HSD.test(anova_FG, "Muestra", console=TRUE)
13
14
15 grupos_t.student <- data.frame(
16   grupos = c("a",rep(NA,3),"a,b", "b",NA, "b", "b",NA,"c","d"))
17
18 plot_data <- data %>%
19   select(c("Sustituci n", "Tipo", "Fg")) %>%
20   complete(Sustituci n, Tipo) %>%
21   group_by(Sustituci n, Tipo) %>%
22   summarize('Factor galleta' = mean(Fg),
23             sd = sd(Fg)) %>%
24   cbind(grupos_t.student) %>%
25   print()
26
27 plot_data %>% ggplot(aes(x = Sustituci n, y = 'Factor galleta', fill
28   = Tipo)) +
29   geom_col(position = position_dodge()) +
30   geom_errorbar(aes(ymin = 'Factor galleta' - sd,
31                     ymax = 'Factor galleta' + sd),
32                 position = position_dodge(width = 0.9),
33                 width = 0.3) +
34   geom_text(aes(label = round('Factor galleta',2),
35                   y = 'Factor galleta' + sd),
36             vjust = -1,
37             position = position_dodge(width = 0.9)) +
38   geom_text(aes(label = grupos,
39                   y = 'Factor galleta' + sd),
40             vjust = -2.7,
41             size = 3.5,
42             position = position_dodge(width = 0.9)) +
43   theme_minimal() +

```

```

43 scale_fill_brewer(palette = "Paired") +
44 labs(x = "Sustituci n (%)") +
45 ylim(0,max(data$Fg+1.5))

```

Código R.15: Resultados: Factor galleta

R.17. Gráfico y ANOVA: DA

```

1
2 ##----- DA
3
4 DA_crudos <- read.xlsx("DA galletas.xlsx", sheet = 5, startRow = 1)
5 %>%
6 select(c(1,6,8:16)) %>%
7 filter(!is.na(Sample.Name))
8 #mutate_if(is.numeric, ~ ifelse(. < 0, 0,.))
9
10 atributos_DA <- as.factor(colnames(DA_crudos[, -c(1:2)])) %>% print()
11
12 # Crear un dataframe para almacenar los valores p
13 p_value <- data.frame(Atributo = atributos_DA, p_value = NA)
14
15 library(agricolae)
16 # Iterar sobre los nombres de las columnas y realizar ANOVA
17 for (i in seq_along(atributos_DA)) {
18   atributo <- atributos_DA[i]
19   anova_aux <- aov(as.formula(paste(atributo, "~ Sample.Name")),
20     data = DA_crudos)
21   summary_anova_aux <- summary(anova_aux)
22   p_value$p_value[i] <- summary_anova_aux[[1]]["Sample.Name", "Pr(>F
23     )"]
24
25   print(HSD.test(anova_aux, "Sample.Name")$groups)
26 }

```



```

23 }
24 #No hay diferencia significativa en todos!
25
26 tukey_manual_rata <- c("a","a","a",
27                        "a","a","a",
28                        "a","b","b",
29                        "a","b","b",
30                        "a","a","a",
31                        "a","b","b",
32                        "a","b","a,b",
33                        "b","a","a",
34                        "a","a","a")
35
36
37 resumen <- DA_crudos %>% select(-c(1)) %>%
38   pivot_longer(-c(1), names_to = "Atributo", values_to = "Valor")
39   %>%
40   group_by(Atributo, Sample.Name) %>%
41   summarize(Promedio = mean(Valor, na.rm = TRUE),
42             Promedio.sd = sd(Valor, na.rm = TRUE)) %>%
43   mutate(Tipo = case_when(
44     Atributo == "Homogeneidad" ~ "Apariencia",
45     Atributo == "Altura" ~ "Apariencia",
46     Atributo == "Rugosidad" ~ "Textura",
47     Atributo == "Dureza" ~ "Textura",
48     Atributo == "Crocancia" ~ "Textura",
49     Atributo == "Masticabilidad" ~ "Textura",
50     Atributo == "Salado" ~ "Sabor",
51     Atributo == "Amargo" ~ "Sabor",
52     Atributo == "Extraño" ~ "Sabor"
53   )) %>%
54   cbind(Grupo = tukey_manual_rata) %>% print()

```

```

55 ggplot(resumen, aes(x = Atributo, y = Promedio, fill = Sample.Name)) +
56   geom_col(position = position_dodge()) +
57   geom_errorbar(aes(ymin = pmax(Promedio - Promedio.sd, 0),
58                               ymax = Promedio + Promedio.sd),
59                position = position_dodge(width = 0.9),
60                width = 0.30) +
61   geom_text(aes(label = Grupo,
62                 y = Promedio + Promedio.sd),
63             position = position_dodge(width = 0.9),
64             vjust = -1,
65             size = 3.5)+
66   theme_minimal() +
67   ylim(0,10) +
68   labs(y = "Respuesta promedio",
69        fill = "Muestra") +
70   theme(axis.text.x = element_text(angle = 20)) +
71   scale_fill_manual(values = c(myblue, mygreen, myred)) # Asignar
    colores espec ficos

```

Código R.16: Tratamiento de datos y gráfico DA

R.18. Gráfico: Penalty Lifts de ensayo CATA

```

1   #---- Penalty lifts
2   # Preparar un data frame vac o para almacenar los resultados
3   penalty_lifts <- data.frame(Atributo = character(), PL = numeric(),
4                                stringsAsFactors = FALSE)
5
6   for (i in 4:ncol(df)) {
7     # Asignar el nombre de la columna actual a la variable 'atributo'
8     atributo_name <- names(df)[i]
9
10    # Calcular la media de Acceptability cuando el atributo es 1

```

```

10   A1 <- df %>%
11     select(Aceptabilidad, all_of(atributo_name)) %>%
12     filter(!sym(atributo_name) == 1) %>%
13     summarise(mean_acceptability = mean(Aceptabilidad)) %>%
14     pull(mean_acceptability)
15
16   # Calcular la media de Acceptability cuando el atributo es 0
17   A0 <- df %>%
18     select(Aceptabilidad, all_of(atributo_name)) %>%
19     filter(!sym(atributo_name) == 0) %>%
20     summarise(mean_acceptability = mean(Aceptabilidad)) %>%
21     pull(mean_acceptability)
22
23   # Calcular el Penalty Lift
24   PL <- A1 - A0
25
26   # Agregar el resultado al data frame de resultados
27   penalty_lifts <- rbind(penalty_lifts, data.frame(Atributo =
28     atributo_name, PL = PL))
29
30 # Mostrar la tabla de Penalty Lifts
31 penalty_lifts
32
33 library(ggplot2)
34
35 # Asumiendo que 'penalty_lifts' es tu data frame que contiene las
36   columnas 'Atributo' y 'PL'.
37
38 # Ordena el data frame por el valor de PL de mayor a menor
39 penalty_lifts <- penalty_lifts[order(penalty_lifts$PL, decreasing =
  TRUE), ]

```

```

40 # Crea el gráfico de barras
41 ggplot(penalty_lifts, aes(x = reorder(Atributo, PL), y = PL, fill = PL
    > 0)) +
42   geom_bar(stat = "identity", position = "identity") +
43   coord_flip() + # Hace que las barras sean horizontales
44   scale_fill_manual(values = c("brown2", "darkolivegreen3")) + #
    Colores para los valores negativos y positivos
45   labs(x = "Atributo", y = "Penalty Lift", fill = "Penalty Lift") +
46   theme_minimal() +
47   theme(legend.position = "none") + # Ocultar la leyenda
48   geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "black")
    # Línea en y=0

```

Código R.17: Gráfico de penalty lifts de ensayo CATA

R.19. Gráfico de análisis de correspondencia CATA

```

1   #CATA
2
3   # Separar los nombres de las muestras y los datos de los atributos
4   df <- CATA.bym
5
6   sample_names <- df$Sample.Name
7   attribute_data <- df[, 4:ncol(df)]
8
9   # Agrupar por 'Sample.Name' y sumar los atributos
10  contingency_table <- aggregate(attribute_data, list(Productos = sample
    _names), sum)
11
12  # Formatear los números como enteros
13  contingency_table[-1] <- lapply(contingency_table[-1], function(x) as.
    integer(format(x, scientific = FALSE)))
14

```

```

15 #Eliminar aquellos atributos no marcados al menos 10% de las personas
    (10)
16 contingency_aux <- contingency_table %>%
17   pivot_longer(-c(1), names_to = "Atributo", values_to = "Cuenta")
    %>%
18   group_by(Atributo) %>%
19   summarize(total = sum(Cuenta)) %>%
20   filter(total > 10) %>%
21   pull(Atributo)
22
23
24 #Ver cu les atributos son interesantes
25 # Preparar un dataframe para almacenar los resultados
26 results <- data.frame(
27   Atributo = colnames(df[, 4:ncol(df)]),
28   p_valor = rep(NA, ncol(df) - 3)
29 )
30
31 library(rstatix)
32 # Realizar la prueba Q de Cochran para cada atributo
33 for (i in seq_along(results$Atributo)) {
34   # Extrayendo los datos relevantes
35   mydata <- data.frame(
36     outcome = df[, i + 3],
37     treatment = df$Sample.Name,
38     participant = df$Participant.Code
39   )
40   colnames(mydata) <- c("outcome", "treatment", "participant")
41
42   # Aplicando la prueba Q de Cochran
43   test_result <- cochrans_qtest(mydata, outcome ~ treatment |
    participant)
44

```

```

45     # Almacenando los p-valores en el dataframe de resultados
46     results$p_valor[i] <- format(round(test_result$p, 3), nsmall = 3)
47 }
48
49 atributos_signif <- as.data.frame(results) %>%
50     filter(p_valor < 0.05) %>%
51     pull(Atributo)
52
53 rownames(contingency_table) <- contingency_table$Productos
54 contingency_table <- contingency_table %>%
55     select(c(1), any_of(atributos_signif), -Color.demasiado.oscuro,
56             -Para.el.desayuno.o.merienda)
57
58 library(FactoMineR)
59 library(factoextra)
60 # Realiza el An lisis de Correspondencias
61 ca_results <- CA(contingency_table[,-1], graph = TRUE)
62
63 # Extrae los nombres de las muestras y crea un factor para la leyenda
64 sample_names <- as.factor(contingency_table$Productos)
65
66 # Crea el gr fico de biplot
67 p <- fviz_ca_biplot(ca_results, col.row = sample_names,
68                     repel = TRUE, # Para evitar el solapamiento de
69                     texto
70                     addEllipses = FALSE,
71                     title = "An lisis de Correspondencia - Biplot")
72
73 p <- p + labs(color = "Leyenda")
74
75 print(p)

```

Código R.18: Gráfico de análisis de correspondencia CATA y tratamiento de datos

R.20. Gráfico y ANOVA: Textura en galletas fuente de fibra

```
1 library(openxlsx)
2 library(tidyr)
3 library(gridExtra)
4 library(agricolae)
5 library(RColorBrewer)
6
7 ensayos <- c("Mximo.Carga.de.compresi n.N",
8             "Energ aalRotura.(Cursor).J",
9             "Breaking.stress")
10
11 datos_crudos <- read.xlsx("data.xlsx", sheet = "Combinada_R") %>%
12   filter(!is.na(Ensayo))
13
14 data <- datos_crudos %>%
15   pivot_longer(-c(1:4),
16               values_to = "valor",
17               names_to = "ensayo") %>%
18   filter(ensayo %in% ensayos) %>%
19   mutate(Sustituci n = as.factor(Sustituci n),
20          Muestra = as.factor(Muestra)) %>%
21   mutate(both = paste0(Muestra, Sustituci n))
22
23
24 resumen <- data %>%
25   group_by(ensayo, Sustituci n, Muestra) %>%
26   summarize(promedio = mean(valor, na.rm = TRUE),
27             std = sd(valor, na.rm = TRUE)) %>% print()
28
29 data1 <- data %>% filter(ensayo == ensayos[1], !is.na(valor)) %>%
```

```

    print()
30 anova1 <- aov(valor ~ both, data = data1)
31 summary(anova1)
32 g1 <- as.data.frame(HSD.test(anova1, "both")$groups) %>%
33   mutate(both = rownames(.)) %>%
34   mutate(orden = case_when(
35     both == "Control0" ~ 1,
36     both == "HOE10" ~ 2,
37     both == "ODS10" ~ 3,
38     both == "HOE20" ~ 4,
39     both == "ODS20" ~ 5,
40     both == "HOE30" ~ 6,
41     both == "ODS30" ~ 7
42   )) %>%
43   arrange(orden) %>%
44   select(groups) %>%
45   pull(.) %>% print()
46
47 data2 <- data %>% filter(ensayo == ensayos[2], !is.na(valor)) %>%
    print()
48 anova2 <- aov(valor ~ both, data = data2)
49 summary(anova2)
50 g2 <- as.data.frame(HSD.test(anova2, "both")$groups) %>%
51   mutate(both = rownames(.)) %>%
52   mutate(orden = case_when(
53     both == "Control0" ~ 1,
54     both == "HOE10" ~ 2,
55     both == "ODS10" ~ 3,
56     both == "HOE20" ~ 4,
57     both == "ODS20" ~ 5,
58     both == "HOE30" ~ 6,
59     both == "ODS30" ~ 7
60   )) %>%

```



```

61   arrange(orden) %>%
62   select(groups) %>%
63   pull(.) %>% print()
64
65 data3 <- data %>% filter(ensayo == ensayos[3], !is.na(valor)) %>%
66   print()
67 anova3 <- aov(valor ~ both, data = data3)
68 summary(anova3)
69 g3 <- as.data.frame(HSD.test(anova3, "both")$groups) %>%
70   mutate(both = rownames(.)) %>%
71   mutate(orden = case_when(
72     both == "Control0" ~ 1,
73     both == "HOE10" ~ 2,
74     both == "ODS10" ~ 3,
75     both == "HOE20" ~ 4,
76     both == "ODS20" ~ 5,
77     both == "HOE30" ~ 6,
78     both == "ODS30" ~ 7
79   )) %>%
80   arrange(orden) %>%
81   select(groups) %>%
82   pull(.) %>% print()
83
84
85 tukey <- c(g3,g2,g1)
86
87 resumen <- resumen %>% cbind(grupo = tukey)
88
89 resumen_plot <- resumen %>%
90   mutate(titulo = case_when(
91     ensayo == ensayos[1] ~ "Fuerza m xima de compresi n (N)",
92     ensayo == ensayos[2] ~ "Energ a de ruptura (J)",
93     ensayo == ensayos[3] ~ "Estr s de ruptura (Crujencia)"
94   )) %>% print()

```

```

93
94 ensayos <- unique(resumen_plot$titulo)
95
96 # Lista para guardar los gráficos
97 plots <- list()
98
99 for (i in 1:length(ensayos)) {
100   ensayo_actual <- ensayos[i]
101
102   # Filtra los datos por ensayo y crea el gráfico
103
104   p <- resumen_plot %>%
105     filter(titulo == ensayo_actual) %>%
106     ggplot(aes(x = Sustitución, y = promedio, fill = Muestra)) +
107     geom_col(position = position_dodge(width = 0.9), show.legend =
108     TRUE) +
109     geom_errorbar(aes(ymin = promedio - std, ymax = promedio + std),
110                   position = position_dodge(width = 0.9), width = 0.3)
111     +
112     geom_text(aes(label = grupo,
113                   y = promedio + std),
114               position = position_dodge(width = 0.9),
115               vjust = -1,
116               size = 3.5) +
117     labs(x = "Sustitución",
118          y = paste(ensayo_actual)) +
119     theme_minimal() + # Añade un tema minimalista
120     theme(legend.position = "bottom", # Coloca la leyenda en la
121           parte inferior
122           legend.direction = "horizontal") + # Organiza los elementos
123           de la leyenda horizontalmente
124     scale_fill_brewer(palette = "Paired")
125

```

```

122 # Almacena el gráfico en la lista
123 plots[[i]] <- p
124 }
125
126 # Muestra los gráficos lado a lado
127 grid.arrange(grobs = plots, ncol = 3)

```

Código R.19: Gráfico y ANOVA: Textura en galletas fuente de fibra