



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y SALUD
HUMANA

TESIS DOCTORAL

INCORPORACIÓN DE GARBANZO (*Cicer arietinum*) CON ADICIÓN DE ARROZ
(*Oryza sativa*) EN UNA BOTANA COMERCIAL EXTRUIDA DE MAÍZ (*Zea mays*):
CARACTERIZACIÓN Y SU EFECTO EN LA SALUD MEDIANTE PARÁMETROS
IN VITRO

Para obtener el grado de
Doctor en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana

PRESENTA

M. en N.C. Antonio Luis García Cordero

Directora:

Dra. Eva María Santos López

Codirectora:

Dra. Mirandeli Bautista Ávila

Pachuca de Soto, Hgo., México; septiembre 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias de la Salud

School of Medical Sciences

Área Académica de Nutrición

Department of Nutrition

San Agustín, Tlaxiaca, Hgo., 29 de agosto del 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar

Por este medio se informa que el comité tutorial asignado al Mtro. Antonio Luis García Cordero con número de cuenta 472624, estudiante del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana ha terminado el trabajo de tesis titulado "Incorporación de garbanzo (*Cicer arietinum*) con adición de arroz (*Oryza sativa*) en una botana comercial extruida de maíz (*Zea mays*): caracterización y su efecto en la salud mediante parámetros *in vitro*", y por lo tanto se autoriza la impresión del documento en extenso propuesto por el estudiante después de haber sido revisado, analizado y evaluado de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 73, VI del Reglamento General de Estudios de Posgrado. Lo anterior, en función de que, el estudiante realizó todas las correcciones, adiciones y/o modificaciones sugeridas por el comité en la revisión previa con fecha 28 de agosto del 2025. Por tal motivo, solicitamos a usted tenga a bien permitir al doctorando dar continuidad al proceso necesario que conlleve a la obtención del grado de Doctor en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana.

DRA. EVA MARÍA SANTOS LÓPEZ
Directora de tesis
DRA. MIRANDELI BAUTISTA ÁVILA
Codirectora
DR. RUBÉN JIMÉNEZ ALVARADO
Integrante comité tutorial
DR. FERNANDO DÍAZ SÁNCHEZ
Integrante Comité tutorial

ATENTAMENTE
"Amor, Orden y Progreso"

M.C. ESP. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ VERA
Director del Instituto de Ciencias de la Salud
Dean

DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
Jefa del Área Académica de Nutrición
Chair of Academic Area of Nutrition

DRA. LYDIA LÓPEZ PONTIGO
Coordinadora de Posgrado del ICsA
Director of Graduate Studies of ICsA

DRA. ESTHER RAMÍREZ MORENO
Representante del Programa Educativo ICsA
Representative of Graduate Studies



"Amor, Orden y Progreso"

Circuito ex-Hacienda la Concepción s/n Carretera
Pachuca Actopan, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo,
México. C.P.42172
Teléfono: 52(771)7172000 Ext. 41524 y 41528
nutricion@uaeh.edu.mx



2025



uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Gracias a mi familia mexicana por el apoyo en los buenos y malos momentos, ha sido un periodo duro e intenso, pero vosotros me habéis ayudado a disfrutar de los momentos y a sacar una sonrisa en cualquier situación, os quiero.

A mi familia española, tanto a los que están como a los que no, por ser un apoyo y darme fuerzas.

Dra. Eva gracias por el aprendizaje y apoyo brindado durante este periplo. Este periodo ha sido muy enriquecedor sobre todo desde el punto de vista científico y profesional, gracias a ti.

Dr. Fernando le agradezco la oportunidad de conocer desde dentro la industria botanera, además de haber recibido comentarios que me han ayudado a comprender de fondo este mundo.

Dr. Rubén muchas gracias por sus comentarios y su disposición durante este periodo, me han ayudado a mejorar en gran medida este trabajo

Dra. Mirandeli muchas gracias por el apoyo recibido

Dra. Raquel Lucas, ha sido un gusto trabajar contigo, he aprendido muchísimo durante mi paso tanto por el CTC como en la UMH, me llevo un gran ejemplo de profesionalidad, dedicación y eficiencia, pero sobre todo de una gran persona.

Dra. Juana muchas gracias por la oportunidad de formar parte durante unos meses del gran grupo de profesionales que es el grupo IPOA, y por tu disposición a ayudar en todo momento.

Dra. Marisela gracias por recibirme en su laboratorio, fue un placer trabajar con usted y por todo lo aprendido.

Dr. Lorenzo y Dr. Roberto Bermúdez, mi gratitud por la oportunidad de trabajar en centro de investigación lleno de grandes profesionales y siempre con la buena predisposición a ayudar.

Muchas gracias al Dr. Israel por la oportunidad de apoyarle en su trabajo y aprender nuevas técnicas

A la Dra. Esther por ser una gran profesional y estar siempre dispuesta a ayudar.

De la UAEH a Astrid y al pequeño Andre, Rubén, Etna, Alex, José, Netza, Ari, Toño... por los buenos momentos pasados y por estar siempre dispuestos a ayudar.

También a la Dra. Esmeralda y Dra. Irais por su disposición a ayudar en todo momento.

Del CTC gracias por el apoyo recibido y buenos momentos pasados a Bea, Mariarosaria, Lucia, Andrea y Noemí.

Del CIATEJ, tanto por el apoyo como los buenos momentos, me llevo a unos grandes amigos como son Cesar y Brenda, además de a Juan, Yara, Jesús, Albatros, ...

Durante mi paso por la Universidad Miguel Hernández de Elche también me llevo a un buen amigo a Ezequiel, además de a Patricia y Laura.

Este trabajo ha sido realizado en colaboración con la empresa Fritos Totis



Agradecimientos institucionales:



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)



centro tecnológico da **carne**

Centro Tecnológico da Carne (Ourense, España)



El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C
(CIATEJ)



Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante, España)

Los resultados de la presente tesis doctoral fueron presentados en los siguientes congresos

- 6º Congreso Internacional de Alimentos Funcionales y Nutraceuticos
- V Congreso Internacional y VII Encuentro de la Red de Vinculación SOMUCAAAB-2023
- 5º Congreso Internacional Anual de Estudiantes de Doctorado de la Universidad Miguel Hernández de Elche
- III Congreso Internacional Virtual de Promoción de la Salud

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	14
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.....	16
1.1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1.1. Tendencia de la alimentación en México	16
1.1.2. Definición y consumo de botanas.....	17
1.1.3. Clasificación de botanas y extrusión	20
1.2. MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE BOTANAS EXTRUIDAS DE MAÍZ MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE LEGUMBRES.....	23
1.2.1. Legumbres en botanas extruidas de maíz	25
1.2.2. Propiedades de botanas extruidas de maíz-legumbres.....	32
1.2.3. Modificaciones tecnológicas y sensoriales en botanas extruidas.....	38
1.2.4. Impacto en la salud	46
1.3. JUSTIFICACIÓN	54
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	55
Objetivo general	55
Objetivos específicos	55
1.5. REFERENCIAS	56
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DE UN EXTRUIDO COMERCIAL TIPO “PUFF”, EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS.....	76
2.1. INTRODUCCIÓN.....	76
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	78
2.2.1. Materiales	78
2.2.2. Propiedades físicas.....	78
2.2.3. Propiedades tecnológicas	79
2.2.4. Composición química	82
2.2.5. Propiedades antioxidantes (Aox)	87
2.2.6. Análisis estadístico	89
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
2.3.1. Propiedades físicas.....	89
2.3.2. Propiedades tecnológicas	94
2.3.3. Composición química	113
2.3.4. Propiedades antioxidantes (Aox)	131
2.4. CONCLUSIÓN.....	134

2.5. REFERENCIAS	135
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HARINA DE GARBANZO (<i>Cicer arietinum</i>) Y ADICIÓN DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i>) EN MATRICES EXTRUIDAS DE MAÍZ (<i>Zea mays</i>), MEDIANTE ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS Y SENSORIALES	
3.1. INTRODUCCIÓN.....	149
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	150
3.2.1. Material.....	150
3.2.1. Extrusión	151
3.2.2. Propiedades físicas.....	152
3.2.3. Propiedades tecnológicas	156
3.2.4. Composición química	157
3.2.5. Propiedades antioxidantes	159
3.2.6. Evaluación sensorial.....	160
3.2.7. Análisis estadístico	161
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	161
3.3.1. Propiedades físicas.....	161
3.3.2. Propiedades tecnológicas	178
3.3.3. Composición proximal.....	189
3.3.4. Perfil de aminoácidos.....	200
3.3.5. Antioxidantes	206
3.3.6. Análisis sensorial	209
3.4. CONCLUSIÓN.....	213
3.5. REFERENCIAS	214
CAPÍTULO 4: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE GARBANZO (<i>Cicer arietinum</i>) EN UNA BOTANA COMERCIAL DE MAÍZ (<i>Zea mays</i>) EXTRUIDA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE PROTEÍNAS, LA BIOACCESIBILIDAD DE MINERALES Y EL ÍNDICE GLUCÉMICO PREVISTO	
4.1. INTRODUCCIÓN.....	223
4.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	224
4.2.1. Material.....	224
4.2.2. Preparación de muestra.....	225
4.2.3. Composición química	225
4.2.4. Contenido proteico	225
4.2.5. Contenido de almidón total	226
4.2.6. Contenido mineral	228
4.2.7. Simulación de digestión <i>in vitro</i>	228
4.2.8. Evaluación proteica.....	235

4.2.9.	Cinética de digestión del almidón e índice glucémico estimado	236
4.2.10.	Bioaccesibilidad de minerales tras la digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	238
4.2.11.	Análisis estadístico	238
4.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	239
4.3.1.	Contenido proteico y evaluación proteica	239
4.3.2.	Cinética de digestión del almidón	243
4.3.3.	Bioaccesibilidad de minerales	249
4.4.	CONCLUSIÓN.....	254
4.5.	REFERENCIAS	255
ANEXOS.....		259
a)	Tablas de correlaciones de Pearson de harinas.....	259
b)	Tablas de correlaciones de Pearson de formulaciones	267

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1. Ventas globales de las principales botanas en el 2018.....	18
Tabla 2. Diferencias entre equipos de tornillo simple y doble tornillo.	22
Tabla 3. Resumen de las características nutricionales de las legumbres.....	27
Tabla 4. Resumen de varios estudios enfocados a la modificación de las propiedades nutricionales, tecnológicas y sensoriales debido a la inclusión de legumbres en botanas extruidas de maíz.....	30
Tabla 5. Resumen de estudios donde se determinan la composición química de botanas de legumbre-maíz.....	33

CAPÍTULO 2

Tabla 6. Parámetros físicos de las harinas.....	90
Tabla 7. Parámetros tecnológicos de las harinas.....	96
Tabla 8. Correlación de Pearson entre propiedades tecnológicas y propiedades químicas de las harinas.....	101
Tabla 9. Correlación de Pearson entre propiedades tecnológicas de las harinas	102
Tabla 10. Parámetros químicos de las harinas	114
Tabla 11. Composición mineral de las harinas	126
Tabla 12. Perfil de aminoácidos de las harinas	129
Tabla 13. Propiedades antioxidantes de las harinas	132

CAPÍTULO 3

Tabla 14. Composición de ingredientes de cada formulación.....	151
Tabla 15. Parámetros de extrusión en la elaboración de las diferentes formulaciones	152
Tabla 16. Parámetros físicos de las formulaciones extruidas.....	163
Tabla 17. Correlación de Pearson entre parámetros de extrusión y propiedades físicas de las formulaciones.....	164
Tabla 18. Parámetros de textura de las formulaciones extruidas	166
Tabla 19. Correlación de Pearson entre propiedades físicas/antioxidantes y parámetros de textura/propiedades antioxidantes de las formulaciones.....	169
Tabla 20. Correlación de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y parámetros de textura de las formulaciones	170
Tabla 21. Correlación de Pearson entre parámetros de textura y análisis sensorial de las formulaciones.....	171
Tabla 22. Correlación de Pearson entre propiedades químicas y parámetros de textura de las formulaciones.....	172
Tabla 23. Correlación de Pearson entre parámetros de textura/propiedades antioxidantes y propiedades tecnológicas de las formulaciones	173
Tabla 24. Correlación de Pearson entre propiedades físicas/ingredientes y propiedades físicas de las formulaciones.....	177
Tabla 25. Parámetros tecnológicos de las formulaciones extruidas	179
Tabla 26. Correlación de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y propiedades tecnológicas/ antioxidantes de las formulaciones	181
Tabla 27. Correlación de Pearson entre propiedades químicas y propiedades tecnológicas de las formulaciones.....	182
Tabla 28. Correlación de Pearson entre propiedades físicas y propiedades químicas de las formulaciones.....	184

Tabla 29. Correlación de Pearson entre propiedades físicas y propiedades de tecnológicos/análisis sensorial de las formulaciones	184
Tabla 30. Correlación de Pearson entre propiedades tecnológicas e ingredientes de las formulaciones	188
Tabla 31. Parámetros químicos de las formulaciones extruidas	190
Tabla 32. Correlación de Pearson entre propiedades químicas e ingredientes de las formulaciones	192
Tabla 33. Composición mineral de las formulaciones extruidas	196
Tabla 34. Correlación de Pearson entre contenido de aminoácidos/sensorial/ingredientes y contenido de minerales de las formulaciones	197
Tabla 35. Correlación de Pearson entre contenido de minerales/sensorial/propiedades antioxidantes y propiedades químicas de las formulaciones	198
Tabla 36. Composición de aminoácidos de las formulaciones extruidas	202
Tabla 37. Calidad proteica	205
Tabla 38. Propiedades antioxidantes de las formulaciones extruidas	208
Tabla 39. Análisis sensorial de las formulaciones extruidas	212

CAPÍTULO 4

Tabla 40. Preparación de soluciones salinas para preparación de simulación de fluidos electrolíticos	229
Tabla 41. Preparación de simulación de fluido salival, gástrico e intestinal.....	230
Tabla 42. Preparación de soluciones de enzimas	231
Tabla 43. Parámetros de digestibilidad proteica de formulaciones seleccionadas.....	241
Tabla 44. Hidrólisis total del almidón de las formulaciones seleccionadas	246
Tabla 45. Índice glucémico estimado de las fórmulas seleccionadas	249
Tabla 46. Bioaccesibilidad de minerales de las formulaciones seleccionadas.....	251

ANEXOS

Tabla 47. Correlación de Pearson entre propiedades químicas de las harinas	259
Tabla 48. Correlación de Pearson entre propiedades físicas de las harinas	259
Tabla 49. Correlación de Pearson entre propiedades químicas y físicas de las harinas	260
Tabla 50. Correlación de Pearson entre propiedades tecnológicas y propiedades físicas/antioxidantes de las harinas.....	260
Tabla 51. Correlación de Pearson entre propiedades antioxidantes de las harinas	261
Tabla 52. Correlación de Pearson entre el contenido de minerales y propiedades tecnológicas de las harinas.....	261
Tabla 53. Correlación de Pearson entre propiedades fisicoquímicas y contenido de minerales/propiedades antioxidantes de las harinas.....	262
Tabla 54. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades físicas de las harinas.....	263
Tabla 55. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades químicas de las harinas.....	264
Tabla 56. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y contenido de minerales	265
Tabla 57. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades tecnológicas ..	266
Tabla 58. Correlación de Pearson entre propiedades antioxidantes e ingredientes de las formulaciones	267
Tabla 59. Correlación de Pearson entre parámetros de extrusión y propiedades químicas de las formulaciones.....	268

Tabla 60. Correlación de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y análisis sensorial/ingredientes de las formulaciones.....	269
Tabla 61. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y parámetros de extrusión de las formulaciones.....	270
Tabla 62. Correlación de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades físicas de las formulaciones.....	271
Tabla 63. Correlación de Pearson entre contenido de aminoácidos y propiedades tecnológicas/ingredientes de las formulaciones	272
Tabla 64. Correlación de Pearson entre contenido de minerales/sensorial y propiedades tecnológicas de las formulaciones	273
Tabla 65. Correlación de Pearson entre contenido de aminoácidos y propiedades químicas de las formulaciones.....	274
Tabla 66. Correlación de Pearson entre contenido de aminoácidos y sensorial/propiedades antioxidantes de las formulaciones	275

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Ventas minoristas de botanas saladas 2019.....	19
Figura 2. Ventas 2020 de botanas saladas en México.....	19
Figura 3. Esquema general de un extrusor de tornillo simple.....	21
Figura 4. Mecanismo de expansión por diferencia de presión durante la extrusión	21
Figura 5. Extrusor de tornillo simple y tornillo doble.....	22
Figura 6. Efecto de la inclusión de legumbre en extruidos de maíz.	48

CAPÍTULO 2

Figura 7. Apariencia visual de las harinas.	91
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 8. Sonda Kramer de 5 palas (HDP/KS5).....	154
Figura 9. Representación esquemática típica de la curva de deformación para crujencia	154
Figura 10. Representación esquemática típica de la curva de deformación para crocancia (mm)	155
Figura 11. Apariencia de las diferentes formulaciones extruidas de garbanzo, arroz, maíz y proteína de chícharo.....	174
Figura 12. Análisis sensorial de las formulaciones extruidas..	210

CAPÍTULO 4

Figura 13. Toma de alícuotas para determinación de cinética de digestión de almidón.....	236
Figura 14. Metodología cinética digestión del almidón.....	237
Figura 15. Digestibilidad proteica de formulaciones seleccionadas.	240
Figura 16. Tasa de hidrólisis total de formulaciones seleccionadas durante la digestión gastrointestinal	244
Figura 17. Contenido ácido fítico en formulaciones seleccionadas.....	250
Figura 18. Bioaccesibilidad de minerales de las formulaciones seleccionadas	253

RESUMEN

En los últimos años, el consumo de botanas a nivel mundial y en Latinoamérica específicamente ha mostrado un crecimiento notable. Estos productos, tradicionalmente ricos en calorías, grasas saturadas, sodio y azúcares, pero pobres en micronutrientes esenciales, suelen asociarse a una dieta desequilibrada. Sin embargo, la creciente demanda de opciones más saludables ha impulsado a la industria alimentaria a desarrollar formulaciones con mejores características nutricionales. En este contexto, la presente investigación evaluó el efecto de la incorporación de harinas de garbanzo (*Cicer arietinum*) y adición de arroz (*Oryza sativa*), esta última con el fin de blanquear el producto, en la elaboración de botanas extruidas a base de maíz (*Zea mays*), enfocándose en sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y funcionales. Además, se evaluó el efecto de las formulaciones en ciertos parámetros *in vitro* como digestibilidad proteica, hidrólisis de almidón, índice glucémico estimado y bioaccesibilidad mineral.

Los resultados revelaron que estas harinas mejoran significativamente el perfil nutricional del producto final, aumentando el contenido de proteína, fibra dietética, minerales y aminoácidos esenciales, a la vez que se reduce el contenido de hidratos de carbono. También se observó un incremento en la densidad aparente y menor expansión, lo cual resultó en una botana más compacta, con menor absorción de aceite y mayor dureza. Desde el punto de vista sensorial, las formulaciones con mayor proporción de garbanzo obtuvieron las mejores valoraciones en color, sabor, textura y aceptación global.

Respecto a los parámetros de salud, aunque se registró una ligera disminución en la digestibilidad proteica en las botanas con garbanzo, respecto a la botana con un 100% de maíz, esta fue compensada por el aumento en el contenido proteico total. Además, las formulaciones con garbanzo mostraron una reducción del índice glucémico, aunque no alcanzaron valores bajos en comparación con el alimento de referencia. Finalmente, la bioaccesibilidad de minerales se vio limitada por la presencia de ácido fítico, pero el gran aporte de minerales del garbanzo, también compensó el efecto de la presencia de antinutrientes.

En conclusión, la inclusión de harinas de garbanzo y arroz en botanas extruidas representa una estrategia viable y sostenible para mejorar su calidad nutricional, con potencial de respuesta a la demanda de alimentos más saludables.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Tendencia de la alimentación en México

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2024) de México, realizada en 2023, en la población infantil de 5 a 11 años únicamente el 51.3 % consume frutas y solo el 30 % ingiere verduras de forma cotidiana. Además, según esta misma encuesta la prevalencia en el déficit de hierro, bajos niveles de vitamina B₁₂ y deficiencia de vitamina D, fue del 21.1, 22.9 y 30.3%, respectivamente, en el mismo rango de edad.

Según la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, el consumo mínimo de frutas y verduras debería ser de 240 g/día y 450 g/día, respectivamente. Las frutas y verduras contienen fitoquímicos, vitaminas y nutrientes esenciales para el mantenimiento de la salud (Hervert-Hernández et al., 2011). Además, otros grupos de alimentos considerados como recomendables para su consumo diario, se encuentran en unos porcentajes de consumo muy bajos como son el huevo (27.2-38.2%), las legumbres (11%) y los frutos secos (2.8-4.9%) (ENSANUT, 2024).

Por otro lado, el consumo de productos alimenticios no recomendados como son las botanas, dulces y postres, oscilan entre el 50-60% en esta misma población escolar (5-11 años) y bebidas endulzadas (80-91.5%) (ENSANUT, 2024).

Además, existe una preocupación en la población por la obesidad y trastornos de la salud (hipertensión, diabetes, cáncer...), a los cuales el consumo de botanas tradicionales y el bajo consumo de fuentes importantes de vitaminas y minerales, no contribuyen a revertirlos. Siendo la prevalencia de sobrepeso y obesidad en población adulta mayor de 20 años de 37.3% y 38.9%, respectivamente. Sumado a ello, la prevalencia tanto de sobrepeso como obesidad en edades de 12 a 19 años también es preocupante, siendo de 38-38.2% (ENSANUT, 2024). Resultando, México junto a Chile de los países a nivel mundial con mayor prevalencia en exceso de peso en niños en edad escolar y adolescente (Zhang et al., 2024).

1.1.2. Definición y consumo de botanas

Las botanas se definen comúnmente como “aperitivos” que sirven para abrir el apetito (FAO, 2011; RAE, s.f.) y en gastronomía se describen como alimentos salados o dulces, servidos en porciones pequeñas y consumidos generalmente con bebidas y/o en ambientes informales (Larousse Cocina, s.f.). En inglés se les conoce como “snacks”: pequeñas comidas entre las principales (Shah et al., 2017).

La Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002 define las botanas como los productos de pasta de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extruidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

La gran mayoría de botanas se encuentran dentro de los productos denominados cotidianamente como “comida basura”, “junk food” o “comida chatarra” en México, por su alto contenido calórico, ricos en azúcares añadidos, sodio y grasas saturadas (Neder-Suarez et al., 2024; Jensen & Schwartz, 2021).

Las botanas son consideradas alimentos ultraprocesados, definidos como aquellos que han sido sometidos a diversos procesos industriales, como la adición de sal, azúcares, grasas y aditivos, así como la eliminación de agua. Estos productos suelen ser densos en energía y nutricionalmente desequilibrados (Nardocci et al., 2019; Fardet, 2016). A medida que el grado de procesamiento aumenta, también lo hace la respuesta glucémica que provocan, mientras que su capacidad para generar saciedad disminuye (Fardet, 2016). Este tipo de alimentos son comunes en las llamadas dietas no saludables o dietas de tipo occidental, las cuales se caracterizan por un alto consumo de productos animales y ultraprocesados, con elevada densidad energética y escaso contenido de compuestos protectores (fibra dietética, vitaminas, minerales, ciertos ácidos grasos de cadena corta e insaturados, compuestos bioactivos y fitoquímicas) (Serino & Salazar, 2018; Edwards et al., 2017; Costa et al., 2017; Pauwels, 2011). Estas dietas se asocian con un aumento del 41 al 44 % en el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 (Fardet, 2016). Por otro lado, se ha encontrado una relación significativa entre la ingesta de fibra dietética total y el

índice glucémico (IG), lo cual resalta la importancia de una alimentación rica en componentes protectores (Wolever, 1990).

En cuanto a la venta de botanas a nivel mundial durante el año 2018 (Tabla 2), las botanas saladas fueron las más vendidas y se encuentran en segundo lugar, solo por debajo de los chocolates y la confitería.

Tabla 1. Ventas globales de las principales botanas en el 2018

Tipo de producto	Ventas en miles de millones de dólares estadounidenses (USD) en 2018
Chocolate/confitería	110
Botanas saladas	83
Helados	77
Galletas dulces	73
Frutos secos, semillas y mezclas de frutos secos	27
Galletas saladas	23
Otras botanas saladas	18
Lácteos y productos congelados	15
Barritas energéticas	14
Botanas de frutas	11
Palomitas saladas	5
Lazos salados	3

Fuente: Chung, 2019. **Elaborado por:** Antonio Luis García Cordero.

Si se analizan las ventas de botanas saladas en 2019 (Figura 1), Estados Unidos es el país que más vendió botanas, seguidos de países asiáticos como China y Japón, junto a países europeos como Reino Unido y Alemania. En séptimo y octavo lugar nos encontramos con países latinoamericanos como son México y Brasil.

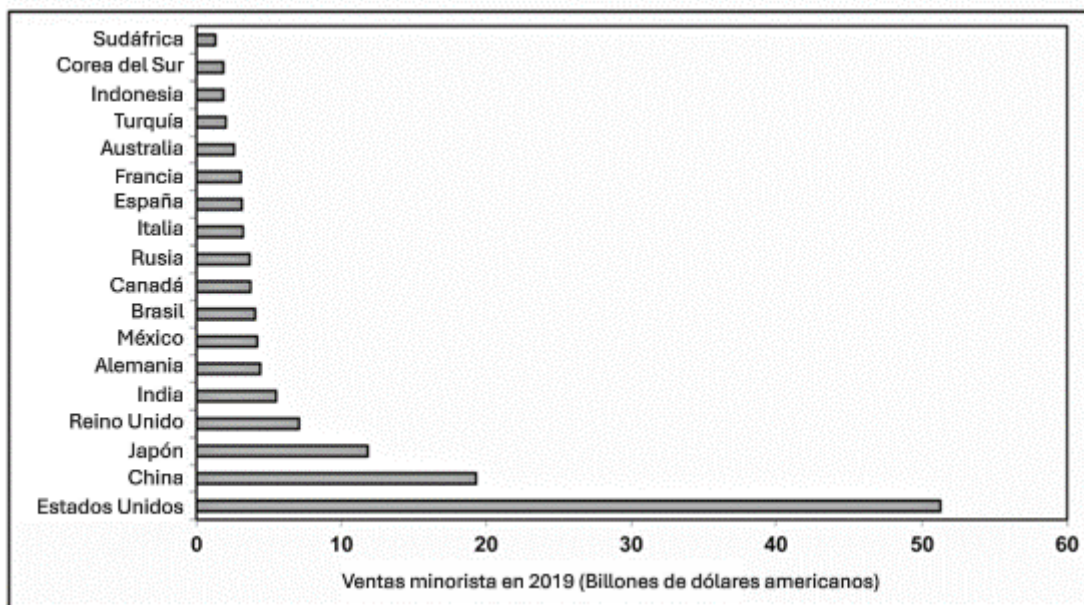


Figura 1. Ventas minoristas de botanas saladas 2019 (En miles de millones de dólares americanos).

Fuente: Serna-Saldivar, 2022

Las botanas saladas que más se venden en México (Figura 2) son las frituras de maíz (23.2%) papas fritas (22.2%), botanas de maíz inflado (19%), galletas saladas (16%) nueces, semillas y mezclas de frutos secos (12.9%) (Sales & Associates. Creative Solutions. Trusted Advice., 2021)

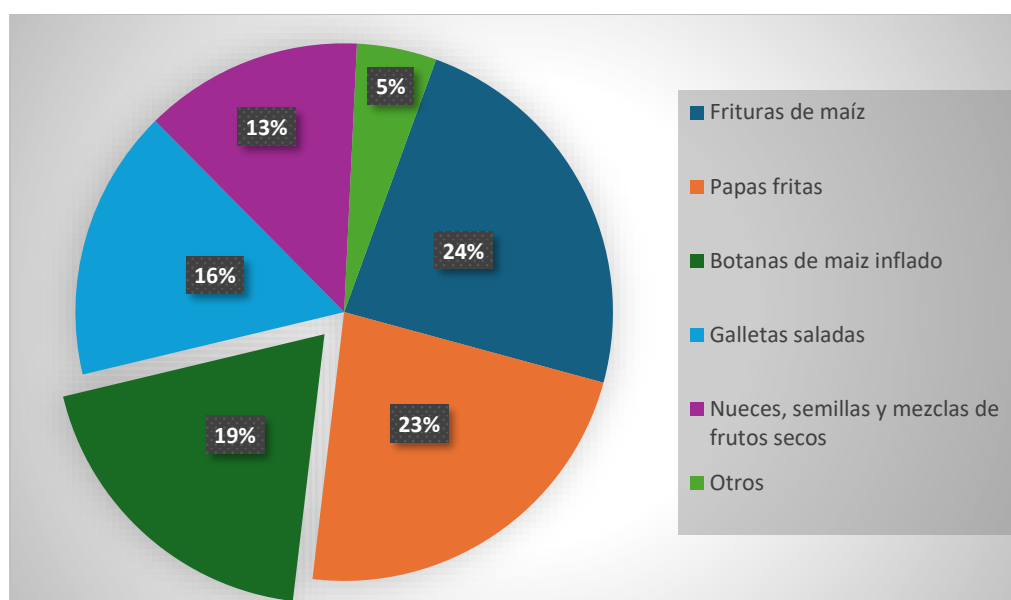


Figura 2. Ventas 2020 de botanas saladas en México. **Fuente:** Sales & Associates. Creative Solutions. Trusted Advice, 2021. **Elaborado por:** Antonio Luis García Cordero

El consumo de botanas se ha convertido en una práctica habitual y preocupante tanto a nivel mundial como en México. En este contexto, la prevalencia del consumo de

botanas en niños mexicanos de 5 a 11 años se estima entre el 50 y el 60% (ENSANUT, 2024), y aproximadamente el 15% de la ingesta energética total diaria en esta población proviene de dicho tipo de alimentos (Wang et al., 2018). Esta situación, sumada a la alta prevalencia de exceso de peso observada en la población escolar, adolescente y adulta (ENSANUT, 2024), así como al elevado consumo de alimentos no recomendados para el consumo cotidiano (entre los que destacan las botanas y las bebidas endulzadas), pone de manifiesto la urgencia de fortalecer y mejorar las estrategias dirigidas a disminuir estas cifras alarmantes.

1.1.3. Clasificación de botanas y extrusión

Una de las clasificaciones de botanas saladas, es según la tecnología de procesamiento empleada como son el horneado, fritura, rebozado, tostado, extrusión y cocción por extrusión, inflado, uso de infrarrojos, microondas, ondas de radio y cocción por vapor (Bhattacharya. 2022).

Aunque actualmente existen una gran variedad de botanas saladas en el mercado, habitualmente se utiliza el freído, la deshidratación y la extrusión, como métodos de procesamiento de botanas saladas. El proceso de producción de las botanas “tipo puff” o más conocido como “botanas de maíz o arroz inflado”, se obtiene a través de un proceso industrial denominado extrusión (Shaviklo et al., 2015).

La extrusión es una de las operaciones de procesamiento de alimentos más rápida, eficientes, flexibles y relativamente barata en comparación con el resto procesos tecnológicos utilizados en botanas (Manosalvas et al., 2019; Hegazy et al., 2017). El uso de esta tecnología se ha incrementado en la elaboración de alimentos e ingredientes alimentarios en los últimos 40 años (Shah et al., 2021).

En la extrusión la materia prima húmeda es expuesta a altas temperaturas, presión, humedad y fuerza de cizallamiento para mezclarla y provocar cambios físicos y químicos (Figura 3) lo que constituye la cocción y da a los aperitivos extruidos una gran variedad de formas y sabores (Omuetti & Morton, 1996). Esta tecnología incluye varias operaciones unitarias, como la mezcla, el formado, la cocción, la texturización, inflado, secado y corte, casi de forma simultánea (Sumathi et al., 2007). La materia prima

preferida para el proceso de extrusión suelen ser harinas de granos descascarillados o harinas refinadas con elevados contenidos de almidón, que facilitan la gelatinización del almidón y posteriormente su expansión (Serna-Saldivar., 2022; Gabr et al., 2013).

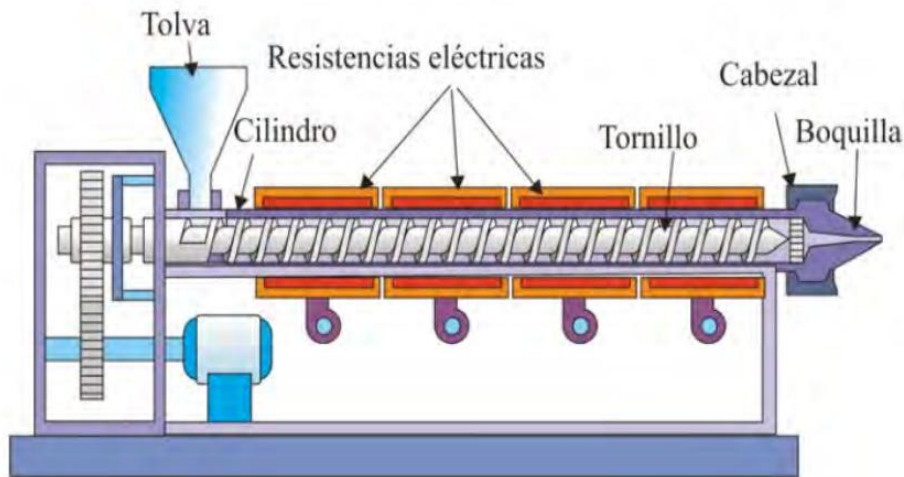


Figura 3. Esquema general de un extrusor de tornillo simple. **Fuente:** Rodríguez-Vidal, 2017

La expansión de la masa fundida a través del dado u orificio de salida del extrusor, viene dado por dos mecanismos (Figura 4). Uno de ellos es el fenómeno de hinchamiento de la masa, por el aumento de volumen que se produce por la diferencia de presión entre la matriz interna del dado y la presión exterior, es el más relevante en extrusión de alimentos. El segundo es la expansión producida por la evaporación repentina del agua dentro de la masa fundida, donde se forman pequeñas burbujas en un proceso conocido como nucleación el cual es más importante en otras áreas diferentes a los alimentos.

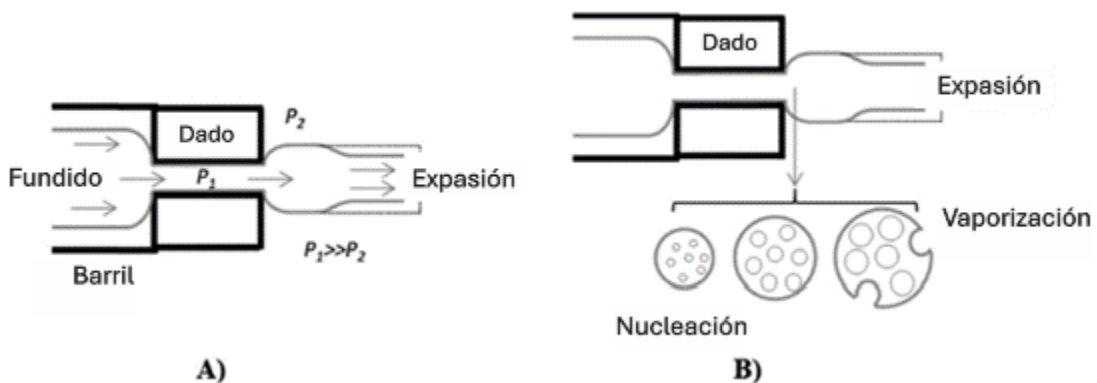


Figura 4. Mecanismo de expansión por diferencia de presión durante la extrusión (A). Mecanismo de expansión por nucleación (B). **Fuente:** Serna-Saldivar, 2022

Los equipos utilizados en la extrusión son de dos tipos, basados en un tornillo helicoidal: tornillo simple y doble tornillo (Figura 5).

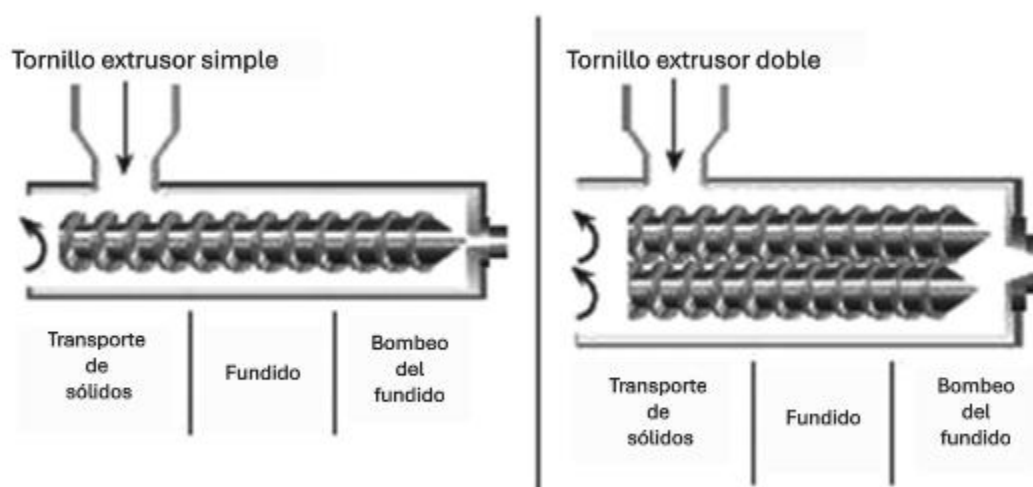


Figura 5. Extrusor de tornillo simple y tornillo doble. **Fuente:** Luker, 2012

Algunas de las diferencias entre estos dos equipos son las siguientes (Tabla 2).

Tabla 2. Diferencias entre equipos de tornillo simple y doble tornillo.

Tornillo simple	Doble tornillo
Mezclado pobre	Micromezclado de ingredientes.
Restringido uso de variedad de materias primas	Baja sensibilidad a cambios en las materias primas.
Baja tolerancia al aceite	Alta tolerancia al aceite.
Baja tolerancia a la variación de humedad	Alta tolerancia a variaciones de humedad.
Baja flexibilidad termomecánica	Mejor control de la energía administrada.
Baja consistencia en la calidad del producto	Más uniformidad en disipación termoplástica.
	Mejor consistencia en la calidad del producto

Fuente: Van Zuilichem ,1983

1.2. MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE BOTANAS EXTRUIDAS DE MAÍZ MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE LEGUMBRES

Esta parte del capítulo 1 se encuentra publicada en la revista “Revista Mexicana de Ingeniería Química” (García-Cordero et al., 2024).

El mercado de las botanas ha presentado una tendencia creciente en las últimas décadas y se espera que continúe su aumento en los próximos años (Natabirwa et al., 2020), incluida la demanda de productos más saludables por parte de los consumidores (Félix-Medina et al., 2020). Muchas botanas extruidas o no extruidas a base de cereales son consideradas comida chatarra, debido a su bajo contenido nutricional, alta cantidad de conservantes y la presencia de otros ingredientes que perjudican la salud del consumidor como la sal o la grasa (Neder-Suárez et al., 2021ab; Jensen & Schwartz., 2021). Las botanas a base de cereales extruidos de maíz no satisfacen las necesidades de salud de los consumidores debido a su alto índice glucémico por el alto contenido de almidón (Manosalvas et al., 2019; Brennan et al., 2013; Conti-Silva et al., 2012), y el bajo valor nutricional, lo que lleva a aumentar la desnutrición del consumidor (Freire, 2014). Su consumo creciente presenta consecuencias negativas y graves problemas de salud (Korkerd et al., 2016). Son bajos en proteínas y deficientes en ciertos aminoácidos como la lisina y el triptófano, desmereciendo la calidad de su ya de por sí bajo contenido proteico (Félix-Medina et al., 2021; Estrada-Girón et al., 2015; Meng et al., 2010; Pérez-Navarrete et al., 2006). El contenido de otros micronutrientes como el hierro, el zinc y la vitamina A también es deficiente (Korkerd et al., 2016). Además, las botanas suelen contener cantidades importantes de grasa, aumentando así la ingesta calórica. Además, suelen contener conservantes y otros ingredientes nocivos para la salud (Neder-Suárez et al., 2021b). En resumen, las botanas tradicionales son alimentos ricos en azúcares, carbohidratos, grasas y sal (Selvaparakash et al., 2021; Jensen & Schwartz, 2021). Lamentablemente, muchas de estas botanas se han convertido en parte integral del consumo alimentario diario de muchas personas a nivel mundial, especialmente niños, debido a su bajo costo y disponibilidad, al ser productos listos para consumir (Sebastian et al., 2008). Un ejemplo del alto consumo de botanas entre la población infantil es lo que ocurre en EE.UU., donde el 28% de la ingesta energética diaria en niños de dos a cinco años proviene de estos productos (Shriver et al., 2018). Por ello, la mejora nutricional de estos productos supone un reto para la industria alimentaria, que pretende mejorar la salud del consumidor (Selvaparakash et al., 2021; Tobias-Espinoza et al., 2019; Gabr et al., 2013; Seth & Rajamanickam, 2012; Meng et al., 2010).

Una de las metodologías líderes en la producción de botanas es el proceso de extrusión (Sebio & Chang, 2000). El objetivo de la extrusión es crear productos en los que el almidón se expanda, dando como resultado productos ligeros y voluminosos, es decir, botanas extruidas de alta calidad (Neder-Suárez et al., 2021b). Esta cocción por extrusión va acompañada de la gelatinización del almidón, que implica la ruptura de enlaces de hidrógeno intermoleculares y permite el aumento de la capacidad de absorción de agua (Gabr et al., 2013). El almidón gelatinizado aumenta la viscosidad de la masa y, después de salir del extrusor, la masa caliente se expande rápidamente debido a la vaporización inmediata del agua, proporcionando una estructura porosa deseable al producto (Cheftel, 1986). El enfriamiento rápido hace que la masa se vuelva rígida y pierda su elasticidad inicial (Cheftel, 1986). La extrusión como proceso tecnológico de alimentos, basado en la cocción a alta temperatura y corto tiempo (HTST), permite conservar nutrientes esenciales, reducir significativamente la carga microbiana y la presencia de compuestos antinutricionales (enzimas y factores no nutricionales), además de alargar la vida útil y posibilitar el desarrollo de productos de mayor calidad (Delgado-Nieblas et al., 2018; Mercier et al., 2016; Obradović et al., 2014; Delgado et al., 2012). Además, es una tecnología versátil, rentable y eficiente para el procesamiento de alimentos (Castro-Montoya et al., 2024; Limón-Valenzuela et al., 2017; Pansawat et al., 2008; Shimelis & Rakshit, 2007; Rahman et al., 2002; Alonso et al., 2000).

Se están desarrollando diversas estrategias para aumentar el valor nutricional de las botanas tradicionales. Algunas de estas se basan en aumentar los niveles de macronutrientes como proteínas y fibra dietética, micronutrientes como vitaminas (vitaminas A o C) y minerales (hierro, zinc), así como aumentar la presencia de biomoléculas funcionales como los antioxidantes (Félix-Medina et al., 2020; Bashir et al., 2016; Pastor-Cavada et al., 2011). Algunas de ellas son mediante la inclusión de otro tipo de cereales, que aportan una mayor cantidad de estos macronutrientes, como como la avena (Gopirajah & Muthukumarappan, 2018) u otros tipos de alimentos vegetales como legumbres, incluida la soja, los garbanzos y los frijoles (Azima et al., 2017). La incorporación de verduras (zanahorias, coliflor, espinacas, brócoli) (Neder-Suárez et al., 2021b; Shevkani et al., 2019; Alam et al., 2016; Bisharat et al., 2014), algas como la espirulina (Bashir et al., 2016), aislado de proteína de origen animal (Kocherla et al., 2012) y vegetal (Martin et al., 2022; Chen et al., 2017; Draganovic et al., 2011) o concentrado de fibra (Giannini et al., 2013) son otros ejemplos recientes. Incluso se han propuesto alimentos de origen animal como la leche (Hegazy et

al., 2017; Gabr et al., 2013), el pulmón bovino (Moreira-Araujo et al., 2008) o los insectos (García-Segovia et al., 2020) para mejorar este tipo de botanas.

La incorporación de legumbres a las botanas extruidas es una alternativa interesante por su perfil nutricional, bajo en grasas, rico en proteínas y carbohidratos complejos donde se incluye fibra dietética (Johnston et al., 2021), además de su contenido en antioxidantes (Félix-Medina et al., 2020). Por otro lado, tanto los bajos costes son los mismos, como su contribución al medio ambiente al ser considerado un cultivo sostenible (Johnston et al., 2021).

Este capítulo tuvo como objetivo resumir el efecto de la incorporación de legumbres a las botanas extruidas a base de maíz sobre sus propiedades fisicoquímicas, atributos sensoriales y su impacto en la salud humana.

1.2.1. Legumbres en botanas extruidas de maíz

Aunque los cereales, especialmente el maíz, por su alto contenido en almidón, son ideales para la elaboración de botanas extruidas, por sus excelentes propiedades de expansión y textura, la incorporación de legumbres es una alternativa interesante, sobre todo desde el punto de vista nutricional (Félix-Medina et al., 2020). Las legumbres en general son semillas comestibles procedentes de cultivos leguminosos. Este término incluye frijoles secos (*Phaseolus vulgaris*, *Vigna angularis*), garbanzos (*Cicer arietinum*), lentejas (*Lens culinaris*) y guisantes secos (*Pisum sativum*), lupino (*Lupinus mutabilis*) y caupí (*Vigna unguiculata*) (Tosh & Yada, 2010) y excluye aquellos con un alto contenido de grasa como el cacahuate (*Arachis hypogaea*) y la soja (*Glycine max*) (Singh & Muthukumarappan, 2017a) o frijoles y guisantes frescos (FAO, 2011; Graybosch, 2004). El contenido de macronutrientes y aminoácidos dependerá del tipo de legumbre, la variedad y el medio ambiente (Wang & Daun, 2006, 2004; Chauhan et al., 1988). En general, las legumbres son bajas en grasas, ricas en proteínas y carbohidratos complejos, incluyendo una cantidad significativa de fibra dietética soluble e insoluble. Su contenido variará dependiendo del tipo de legumbre. Las legumbres contienen entre un 42-76% de carbohidratos, y aproximadamente un 17-44% de proteínas (Dahl et al., 2012), siendo ricas en aminoácidos como la lisina y el triptófano, mientras que la metionina y la cisteína son los aminoácidos limitantes

(Mosibo et al., 2022; Algarni et al., 2019; Wang et al., 2019; Shi et al., 2017). En cuanto al contenido de fibra dietética, contienen aproximadamente entre 1 y 34 g/100 g de legumbre cruda, siendo mayoritariamente fibra insoluble (10-34 g/100 g de legumbre cruda), y menos fibra soluble (1-9 g/100 g de legumbre cruda) (Hall et al., 2017; Kutoš et al., 2003; Dalgetty & Baik, 2003; Martín-Cabrejas et al., 2003). El contenido de grasa se encuentra entre (1-7 g/100 g de legumbre cruda). También contribuyen al aporte de vitaminas del complejo B y minerales como potasio, hierro, zinc, calcio y magnesio (Simons et al., 2017; Saha et al., 2009).

Existen diferencias en la composición nutricional de las distintas legumbres (Tabla 3). Por ejemplo, las legumbres con mayor contenido proteico son el lupino, que puede alcanzar el 44% de proteína, mientras que el frijol rojo y el frijol pinto, se han reportado con el menor contenido (17-18%). En cuanto al contenido total de fibra dietética, las legumbres con mayor contenido son el lupino y el caupí, alcanzando un máximo del 34%, las de menor contenido son el frijol carioca (1-2%) y el guisante verde seco (5%). En el caso del contenido de grasa, exceptuando el lupino (5-15%) y el garbanzo (2-7%), el resto de las legumbres tienen un contenido de grasa bastante modesto (1-5%).

Tabla 3. Resumen de las características nutricionales de las legumbres

Nombre científico	Nombre común	Características nutricionales				Referencias
		Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)	Fibra dietética total (%)	
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijoles negros	19-20	2-3	63-74	18-26	Neder-Suarez et al. (2021b); Caprioli et al. (2016); Ambigaipalan et al. (2011); Sutivisedsak et al. (2011); Boschín & Arnoldi (2011); Silva-Cristobal et al. (2010); Hoover & Ratnayak (2002); Trugo et al. (2000); Garcia et al. (1997); Hoover & Sosulski (1985); de Moraes & Angelucci (1971)
	Frijoles blancos pequeños	19-27	2	67-75	14-25	Caprioli et al. (2016); Soral-Smietana & Krupa (2005); Hoover & Ratnayak (2002); Su et al. (1998); Gujska & Khan (1991); Koehler et al. (1987); Sathe & Salunkhe (1984); Sathe & Salunkhe (1981); Naivikul & D'Appolonia (1979); Fordham et al. (1975)
	Frijoles pintos	18-25	1-2	70-76	14-26	Sutivisedsak et al. (2011); Wang et al. (2010); Silva-Cristobal et al. (2010); Oomah et al. (2008); Kutoš et al. (2003); Kahlon & Woodruff (2002); Hoover & Ratnayak (2002); Moraghan & Grafton (2002); Su et al. (1998); Koehler et al. (1987); Hoover & Sosulski (1985); Sathe & Salunkhe (1984); Marquez & Lajolo (1981); Pusztai et al. (1979); Naivikul & D'Appolonia (1979); Sgarbieri et al. (1979); Fordham et al. (1975)
	Frijoles rojos	17-27	1-5	63-74	18-30	Caprioli et al. (2016); Sutivisedsak et al. (2011); Wang et al. (2010); Ryan et al. (2007); Yoshida et al. (2005); El-Adawy (2002); Alonso et al. (2001); Su et al. (1998); Pérez-Hidalgo et al. (1997); Hoover & Sosulski (1985); Sathe & Salunkhe (1984); Koinov & Radkov (1981); Pusztai et al. (1979); Meiners et al. (1976)
	Frijoles blancos	23	1	60	15	Lazou et al. (2007)
	Frijoles cariocas	25	2	67	1-2	da Silva et al. (2014)
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo	19-27	2-7	52-71	6-15	Masood et al. (2014); Sreerama et al. (2012); Karaca et al. (2011); Frimpong et al. (2009); Shad et al. (2009); Ryan et al. (2007); Zia-Ul-Haq (2007a,b); Kaur et al. (2005); El-Adawy (2002); Cai et al. (2002); Gopala Krishna et al. (1997); Dhawan et al. (1991); Singh & Jambunathan (1982)
<i>Vigna unguiculata</i>	Frijol de ojo negro	24-28	2	42-63	11-34	Fan et al. (2015); Sreerama et al. (2012); Gupta et al. (2010); Mallillin et al. (2008); Martín-Cabrejas et al. (2008); Mwangwela et al. (2007); Nugdallah & El Tinay (1997); Ene-Obong & Carnovale (1992)
<i>Lupinus mutabilis</i>	Altramuz	32-44	5-15	47	31-34	Calabrò et al. (2015); Rumiyati et al. (2012); Boschín & Arnoldi (2011); Chilomer et al. (2010); Gulewicz et al. (2008); Martínez-Villaluenga et al. (2006); Sujak et al. (2006); Erbas et al. (2005); Torres et al. (2005)

<i>Lens culinaris</i>	Lenteja	23-31	1-3	42-72	7-23	Ghumman et al. (2016); Fouad & Rehab (2015); Zhang et al. (2014); Gharibzahedi et al. (2012); Zia-ul-Haq et al. (2011); Bamdad et al. (2009); Ryan et al. (2007); Wang & Daun (2006); de Almeida Costa et al. (2006); Frias et al. (2003); Cai et al. (2002); Carlsson et al. (1992)
<i>Pisum sativum</i>	Chícharo seco	25	1-2	69-70	5	Wani & Kumar et al. (2016d)

Elaborado con datos de Hall et al. (2017)

En la última década se han publicado varios trabajos sobre la inclusión de legumbres en botanas de maíz extruidas (Tabla 5). La incorporación de legumbres en extruidos varía desde pequeñas cantidades (5-10%) (Hegazy et al., 2017; Limsangouan et al., 2010) incluso combinadas con otros ingredientes (Natabirwa et al., 2020; Manosalvas et al., 2019) hasta su elaboración cercana al 100% de legumbre (Shevkani et al., 2019; Ai et al., 2017; Hardacre et al., 2006). Las legumbres más utilizadas incluyen diferentes variedades de frijol, garbanzo, lenteja, guisante verde seco, lupino e incluso variedades silvestres como *Vicia lutea* var. *Hirta*, *Vicia. sativa subsp. Sativa*, *Lathyrus annuus* y *Lathyrus clymenum* (Pastor-Cavada et al., 2013, 2011).

Tabla 4. Resumen de varios estudios enfocados a la modificación de las propiedades nutricionales, tecnológicas y sensoriales debido a la inclusión de legumbres en botanas extruidas de maíz.

Legumbre añadida a la mezcla	Nombre científico	Cantidad incluida (%)	Referencia
Frijol común	<i>Phaseolus vulgaris</i> L., var. Higuera Azufrado	16, 30, 40	Félix-Medina et al. (2021)
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i> L.,	10, 20	Sawant et al. (2013)
Frijol común	<i>Phaseolus vulgaris</i> L., var. Roba1 Beans	50-85	Natabirwa et al. (2020)
Frijol negro	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.,	33	Neder-Suarez et al. (2021ab)
Frijol de ojo negro	<i>Vigna unguiculata</i>	20	Sosa-Moguel et al. (2009)
Altramuz	<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet., var. INIAP 450	15, 10	Manosalvas et al. (2019)
Frijol blanco pequeño y frijol pinto	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.,	Navy bean (50-40) Pinto bean (50-40)	Vadukapuram et al. (2014)
Frijol ancho	<i>Phaseolus lunatus</i> L.,	25-50-75	Pérez-Navarrete et al. (2006)
Frijoles rojos Haba común Chícharo seco	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Vicia faba</i> <i>Pisum sativum</i>	Frijoles rojos (29.5) Haba común (20,0) Chícharo seco (5)	Limsangouan et al. (2010)
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i> L.	72	Moreira-Araujo et al. (2008)
Chícharo seco	<i>Pisum sativum</i>	9	Wani & Kumar (2019)
Lenteja	<i>Lens culinaris</i> Medik.	0-10-30-50	Lazou & Krokida (2010)
Garbanzo Frijol mexicano Frijol blanco Lenteja	<i>Cicer arietinum</i> L., <i>Phaseolus vulgaris</i> L., <i>Phaseolus vulgaris</i> L., <i>Lens culinaris</i>	Garbanzo (10, 50, 90) Frijol mexicano (10, 50, 90) Frijol blanco (10, 50, 90) Lentejas (10, 50, 90)	Lazou et al. (2007)

Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i> L.	(10, 20, 30)	Selvapraseash et al. (2021)
Frijol mungo	<i>Vigna radiata</i>	30	Thakur et al. (2020)
Frijoles cariocas	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.,	(4.8-55.2)	da Silva et al. (2014)

Además de la mejora de la proteína y de algunos aminoácidos limitantes en los cereales, especialmente la lisina (Hall et al., 2017; Boye et al., 2010; Iqbal et al., 2006), el almidón de legumbre también puede contribuir a reducir el índice glucémico en botanas expandidas por su menor digestibilidad asociada a la presencia de almidón resistente (Hoover et al., 2010; Tosh & Yada, 2010). Además, la presencia de 2-3 veces más proteína que los productos tradicionales a base de cereales puede tener un mayor efecto saciante, lo que se ha observado en otros productos proteicos (Veldhorst et al., 2012). El consumo regular de productos elaborados a partir de una combinación de cereales integrales y legumbres se ha asociado con un menor riesgo de desarrollar ciertas enfermedades crónicas y otras afecciones (por ejemplo, diabetes, obesidad, cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares) (Das & Singh, 2016; Fan & Beta, 2016; Chen et al., 2015; Reyes-Moreno et al., 2012; Žilić et al., 2012). La presencia de otros compuestos en estas combinaciones, como fibra dietética, compuestos fenólicos y otros componentes bioactivos de las legumbres, se ha asociado con ciertos beneficios para la salud (Félix-Medina et al., 2020; Espinoza-Moreno et al., 2016; Camacho-Hernandez et al., 2014; Escalante-Aburto et al., 2013; Limsangouan et al., 2010). La reformulación de estos productos no sólo aporta un beneficio en la calidad nutricional, sino que también reduce el impacto ambiental de estos alimentos (Chaudhary et al., 2018).

1.2.2. Propiedades de botanas extruidas de maíz-legumbres

Debido a la diferente composición de las legumbres, el contenido nutricional de las botanas extruidas de legumbre y maíz se ve favorecido positivamente en términos de las principales macromoléculas: proteínas, lípidos y carbohidratos (Félix-Medina et al., 2020; Natabirwa et al., 2020; Shevkani et al., 2019; Shah et al., 2017). En términos de proteína, la incorporación de legumbres favorece el aumento de proteína en el botanas en un 1.9 a 10.37%, algunos ejemplos se pueden observar en la Tabla 5, al ser más ricas en proteína que la materia prima tradicional (Johnston et al., 2021; Neder-Suárez et al., 2021b; Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Natabirwa et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Gabr et al., 2013; Pastor-Cavada et al., 2013, 2011; Hardacre et al., 2006; Pérez-Navarrete et al., 2006).

Tabla 5. Resumen de estudios donde se determinan la composición química de botanas de legumbre-maíz.

Legumbre añadida a la mezcla	Otros ingredientes	Tipo de extrusor	Parámetros de extrusión	Composición química	Referencias
Frijol (16%-30%-40%)	NA	Tornillo simple Model 20 DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, EE.UU)	Humedad: 18% Temperatura de barril (120-145 °C) Velocidad de tornillo (50-240 rpm) Diámetro del tornillo (19 mm) Longitud/diámetro ratio: 19	Incremento de proteína (↑1.54-3.51%), lípidos (↑0.15-0.44%), fibra dietética (↑1.65-2.1%) y ceniza (↑0.49-1.2%). Reducción de carbohidratos (↓1.56-4.6%)	Félix-Medina et al. (2020)
Garbanzo (8.75 / 12.5%)	Arroz (20/14%), germen de trigo (10/7%), cebada (5/3.5%), leche en polvo (2.5/1.75%)	Doble tornillo (Cletral, Firminy Cedex, Francia)	Caudal (12 kg/h) Diámetro circular del dado (3 mm) Velocidad de tornillo (400 rpm) Temperatura de barril (150 °C)	Incremento de proteínas (↑0.4-1.2%), y carbohidratos (↑1.4-3.4%) Reducción de lípidos (↓1.11-1.6%), fibra dietética (↓0.26-0.49%) y ceniza (↓0.1-0.2%)	Gabr et al. (2013)
Garbanzo germinado y descascarillado (10%-20%- 30%)	Tomate en polvo (5%), leche en polvo (5%), sal (1%)	Tornillo simple	Velocidad de tornillo (160 rpm) Temperatura de barril (100-180 °C) Velocidad de tornillo (250 rpm)	Incremento de proteínas (↑5.92-3.07%), lípidos (↑0.42-1.01%), fibra dietética (↑1.44-1.64%) y ceniza (↑1.85-2.41%) Reducción de carbohidratos (↓6.27-10.89%) y calorías (↓10.59-11.23%).	Hegazy et al. (2017)
Chícharo amarillo entero (40%) guisante amarillo partido (40%) lenteja verde (40%) garbanzo (40%) frijol pinto (40%)	NA	NA	NA	Incremento de proteínas (↑6.3-8%), lípidos (↑0.5-2%), fibra soluble (↑0.8-2.6%) y fibra insoluble (↑1.6-4.4%). Reducción de hidratos de carbono disponibles (↓11.1-17.5%), almidón dañado (↓7.6-16.3%), calorías (↓5-11 kcal).	Johnston et al. (2021)

Altramuz (10-15%)	Papa (10-15%)	Tornillo simple (marca Sermaconi, Ecuador)	Temperatura de barril (110-140 °C) Humedad (15-20%) Velocidad de tornillo (300 rpm) Diámetro del dado (2.50 mm.)	Incremento de proteína (↑4.11-10.37%), lípidos (↑0.7-1.47%), fibra (↑0.25-1.73%), ceniza (↑0.25-0.43%). Reducción de carbohidratos (↓6.21-13.2%)	Manosalvas et al. (2019)
Semillas de Lathyrus (<i>L. annuus</i> and <i>L. clymenum</i>) (15%)	NA	Tornillo simple Brabender 20 DN (Brabender GmbH & Co. KG, Duisberg, Alemania)	Relación de compresión del tornillo (4:1) Humedad (14%) Dado cilíndrico (diámetro/longitud): 3/20-mm; Velocidad de tornillo (150 rpm) Temperatura de extrusión: 175 °C (dado y barril del extrusor).	Incremento de proteína (↑1.2-1.9%), fibra dietética (↑4.71-4.8%) ceniza (↑0.19-0.21%), Fe (↑7.2-12.3 ppm) y Zn (↑5.4-6 ppm) Reducción de carbohidratos (↓5.55-5.65%) y lípidos (↓0.53-1.06%)	Pastor-Cavada et al. (2011)
Arveja amarilla (<i>Vicia lutea</i> var. <i>Hirta</i> y <i>Vicia sativa</i> subsp. <i>Sativa</i>) (15%)	NA	Tornillo simple Brabender 20 DN (Brabender GmbH & Co. KG, Duisberg, Alemania)	Relación de compresión del tornillo (4:1) Humedad (14%) Dado cilíndrico (diámetro/longitud): 3/20-mm; Velocidad de tornillo (150 rpm) Temperatura de extrusión: 175 °C (dado y barril del tornillo).	Incremento de proteína (↑2.41-2.81%), Fibra dietética (↑4.38-5.83%), ceniza (↑0.16-0.26%) Fe (↑6.2-9 ppm) y Zn (↑3.8-4.6 ppm) Reducción de lípidos (↓0.87-0.9%)	Pastor-Cavada et al. (2013)
Lenteja (50%)	NA	Tornillo simple de laboratorio (Brabender mod.KE19 20 DN, Duisburg, Alemania)	Velocidad de tornillo (150 rpm) Temperatura de barril (110-130 °C) Humedad (20%) Diámetro del tornillo (19 mm) Longitud/diámetro ratio: 25	Incremento de proteína (↑6.5%), fibra dietética (↑12.05%), ceniza (↑0.8%) y ácido fítico (↑0.58%). Reducción de lípidos (↓0.65%), carbohidratos (↓10.07%)	Rico et al. (2021)

La extrusión no suele afectar al contenido proteico de las botanas (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Sosa-Moguel et al., 2009; Alonso et al., 2001). Sin embargo, se han descrito pequeñas disminuciones del contenido proteico (1-3%) (Manosalvas et al., 2019), además de la reducción de ciertos aminoácidos esenciales como la lisina durante la extrusión, al interactuar con azúcares mediante reacciones de Maillard (Sahoo et al., 2021; Félix-Medina et al., 2021; Pérez-Navarrete et al., 2006). Estas reacciones de Maillard son proporcionales a la intensidad del proceso termomecánico, al reducir la humedad, aumentar la temperatura y aumentar la velocidad del tornillo. (Ruiz-Ruiz et al., 2008; Ilo & Berghofer, 2003; Obatolu et al., 2000). Un ejemplo de este efecto fue reportado por Wang et al. (2019) observando un cambio en el aminoácido limitante de treonina en la masa cruda a lisina en la botana debido a las reacciones de Maillard durante la extrusión.

La adición de legumbres usualmente altera la composición de aminoácidos, con contenidos menores en cisteína, leucina y un aumento en el contenido de lisina (Pastor-Cavada et al., 2011, 2013). En Sahoo et al. (2021), se incorporó frijol (10%) a una mezcla de maíz y garbanzo, y se observó un aumento de 1.9% en los contenidos de proteína y lisina, leucina, isoleucina, cisteína, treonina, tirosina y metionina. Aunque la extrusión reduce el contenido de algunos aminoácidos esenciales (Paes & Maga, 2004), el alto contenido de proteína y algunos de estos aminoácidos esenciales en el frijol de árbol compensan el efecto de la extrusión.

Respecto a los cambios en la digestibilidad de la proteína, el proceso de extrusión aumenta la digestibilidad de la proteína *in vitro* en extruidos con legumbres en comparación con las masas crudas de 75.17 a 77.21% en Félix-Medina et al. (2021), aumentó de 81.40 a 87.57% en Hegazy et al. (2017), de 76.8 a 81.75% en Pérez-Navarrete et al. (2006), y de 74.11% a 80.91-82.43% en Wang et al. (2019). En Natabirwa et al. (2020), la extrusión incrementó la digestibilidad de la proteína de 50.6-62.4% en la masa cruda a niveles superiores a 71.5% en la extruida. En el mismo estudio se observó que el alto contenido de maíz de las formulaciones incrementó la digestibilidad de la proteína, este efecto puede estar relacionado con la interacción proteína-almidón que incrementa los grupos hidrofílicos, facilitando la solubilidad de la proteína (Siddiq et al., 2013). Este aumento en la digestibilidad

de la proteína también está asociado al cambio estructural provocado por la extrusión (cizallamiento y temperatura), dejando zonas más expuestas más susceptibles a la acción de las enzimas proteolíticas (Flores-Silva et al., 2022; Krupa-Kozak & Soral-Śmietana, 2010; Pérez-Navarrete et al., 2006; Alonso et al., 2000). Como excepción en Pastor-Cavada et al. (2011) la incorporación de las legumbres silvestres *Lathyrus annuus* y *Lathyrus clymenum* en comparación con la muestra control a base de maíz no aumentó la digestibilidad de la proteína en los extruidos.

En resumen, la incorporación de legumbres a los extruidos de maíz aumenta tanto el contenido de proteína como la calidad y la digestibilidad de la misma. Aunque el proceso de extrusión reduce la presencia de ciertos aminoácidos esenciales, el aumento de la digestibilidad y el aporte adicional de aminoácidos esenciales deficientes en el maíz mejoran la calidad de la proteína (Félix-Medina et al., 2021; Natabirwa et al., 2020; Wang et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Pastor-Cavada et al., 2013; Pérez-Navarrete et al., 2006).

Respecto a los lípidos, en general, el mayor contenido lipídico de las legumbres (1-2%) en comparación con las materias primas tradicionales aumenta el contenido lipídico de las botanas (Johnston et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Hegazy et al., 2017). Existen excepciones cuyas posibles causas se explican por el uso de legumbres con muy bajo contenido en grasa, como las legumbres silvestres (Pastor-Cavada et al., 2011) y las lentejas (Rico et al., 2021). Por otro lado la formación de complejos amilosa-lípido y proteína-lípido, dificulta la cuantificación de las primeras (Rico et al., 2021; Natabirwa et al., 2020; Félix-Medina et al., 2020; Simons et al., 2017; Espinoza-Moreno et al., 2016). En ocasiones las legumbres con mayor contenido en lípidos que los cereales afectan a la cuantificación del contenido en grasa, debido a la formación de estos complejos, haciéndolos menos detectables (Félix-Medina et al., 2020). Este fenómeno dificulta la extracción, cuantificación (Bhatnagar & Hanna, 1994; Izzo & Ho, 1989), oxidación y/o degradación (Estrada-Girón et al., 2015). Sin embargo, esta reducción de lípidos disponibles puede reducir el potencial de oxidación de estos compuestos (Estrada-Girón et al., 2015), y, por tanto, esto favorece la vida útil de los productos finales (Simons et al., 2015).

El contenido de carbohidratos al incluir legumbres como materia prima se reduce en la botana (4.6-17.5%) ya que la proporción de carbohidratos en legumbres es menor que en el maíz (Sahoo et al., 2021; Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Johnston et al., 2021; Natabirwa et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Pastor-Cavada et al., 2011; Hardacre et al., 2006; Pérez-Navarrete et al., 2006).

Además de aumentar el contenido de proteínas al incluir legumbres en las formulaciones de botanas, el contenido de fibra dietética también se ve beneficiado porque estos ingredientes aumentan del 1.64% al 20.6% (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Johnston et al., 2021; Natabirwa et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Pérez-Navarrete et al., 2006). También se ha observado que las características de la fibra dietética se ven afectadas al aumentar la severidad del proceso de extrusión, ya que, al aumentar la temperatura del barril, la velocidad del tornillo, la presión y la fuerza de corte en el proceso de extrusión, aumenta el porcentaje de fibra dietética soluble en detrimento de fibra dietética insoluble (Félix-Medina et al., 2020; Esposito et al., 2005). Este efecto es causado por la ruptura de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos por estrés mecánico durante el proceso de extrusión que forma fragmentos moleculares más pequeños favoreciendo su solubilidad (Espinoza-Moreno et al., 2016; Steel et al., 2012; Singh et al., 2007). Aunque después de la extrusión el contenido de fibra dietética insoluble se reduce, sigue siendo mayoritario (Wani et al., 2021; Pérez -Navarrete et al., 2006).

En cuanto al contenido de cenizas, la incorporación de legumbres en la mezcla resultó en un aumento de cenizas en comparación con la botana tradicional a base de maíz (0.21-2.41%) (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Pastor-Cavada et al., 2011; Hardacre et al., 2006; Pérez-Navarrete et al., 2006). En cuanto a los minerales, la incorporación de legumbres generalmente aumenta el suministro de minerales principales (Na, Ca, K y Mg) y minerales traza (Zn, Cu, Fe, F, Cr, Se y Mo) (Shah et al., 2017). La adición de legumbres silvestres (*Lathyrus annuus* y *Lathyrus clymenum*) a los extruidos a base de maíz aumentó la disponibilidad potencial de hierro (Pastor-Cavada et al., 2011), así como su contenido de hierro en comparación con el

producto de maíz extruido mediante la adición de frijoles (Natabirwa et al., 2020). También se observó un aumento de calcio (55.4 ± 3.5 mg/100 g), zinc (0.72 ± 0.01 mg/100 g) y fósforo (244 ± 12.3 mg/100 g) en comparación con la botana a base de maíz, respectivamente (2.4 ± 0.05 mg/100 g), (0.30 ± 0.04 mg/100 g), (34.1 ± 1.6 mg/100 g) (Natabirwa et al., 2020; Pastor-Cavada et al., 2011).

1.2.3. Modificaciones tecnológicas y sensoriales en botanas extruidas

La aceptación de las botanas extruidas depende de las propiedades tecnológicas y sensoriales de los productos extruidos. Una botana adecuadamente expandida exhibirá una alta porosidad y una gran tasa de expansión, pero un valor de densidad aparente bajo (Neder-Suárez et al., 2024; Pérez-Navarrete et al., 2006). Todos estos parámetros están estrechamente relacionados con la cantidad y el tipo de almidón presente en las materias primas, lo que afectará la tasa de expansión y la cantidad y el tamaño de las celdas de aire desarrolladas durante la extrusión (Gomes et al., 2023; Dehghan-Shoar et al., 2010). Los cambios en la estructura del almidón, como la fusión, gelatinización y dextrinización, se verán afectados por factores como la fuente de almidón, el tamaño de partícula, la relación amilosa/amilopectina, la relación agua/almidón en la masa (humedad), el tipo de extrusor (de tornillo simple o doble), la configuración del tornillo, las temperaturas del cilindro y del troquel, la velocidad del tornillo (corte) y la tasa de llenado del extrusor (Singh & Muthukumarappan, 2017ab; Singh & Muthukumarappan, 2014; Lai & Kokini, 1991). En este sentido, las condiciones de extrusión, así como la composición de la masa, determinarán las características sensoriales y la aceptación de la botana.

La viscosidad es una de las propiedades reológicas importantes para entender el comportamiento de la masa y los cambios que ocurren durante la extrusión (Lam & Flores, 2003). El estudio de las propiedades reológicas de la masa mediante el Rapid Visco Analyzer (RVA) ayuda a evaluar la textura y calidad de los extruidos (Wani & Kumar, 2016a). Los productos con un mayor grado de cocción tienen menores propiedades reológicas que la mezcla cruda (Wani et al., 2021). Las condiciones de extrusión como la humedad reducida y el aumento de la velocidad del tornillo favorecen la dextrinización y la gelificación, reduciendo las

propiedades reológicas de la masa y, en consecuencia, obteniendo un extruido más cocido y más expandido (Neder-Suárez et al., 2021b), y con menor densidad aparente (Félix-Medina et al., 2020). La alta viscosidad durante la extrusión y la baja viscosidad final en las pruebas RVA sobre productos ya extruidos se asocia con una alta gelatinización, nivel de cocción del almidón durante la extrusión y, por lo tanto, productos más expandidos con menor densidad aparente (Félix-Medina et al., 2020; Wang et al., 2019). Por el contrario, un exceso de humedad reduce las tasas de expansión y aumenta la densidad aparente de los productos expandidos ya que el agua provoca una reducción de la viscosidad en la matriz de almidón y una disminución de la disipación de energía en el extrusor (Ali et al., 2017; Sosa-Moguel et al., 2009).

De hecho, la Specific Mechanical Energy (SME), un indicador de la cantidad de energía mecánica aplicada por unidad de masa durante la extrusión, representa la ruptura de macromoléculas como los gránulos de almidón y depende de la viscosidad de la masa (Shevkani et al., 2019). SME está correlacionada positivamente con la expansión porque valores más altos de SME, están asociados con un mayor grado de dextrinización y gelatinización del almidón, promoviendo la ruptura de enlaces de hidrógeno intermoleculares, y dando más burbujas de aire y, por lo tanto, botanas más expandidas (Shevkani et al., 2019; Pastor-Cavada et al., 2013). En este contexto, los valores de SME serán más altos en presencia de mayores concentraciones de almidón y mayores temperaturas del barril y velocidades del tornillo. Mientras que masas con mayores contenidos de humedad y de aceite reducirán el SME (Wang et al., 2019; Pastor-Cavada et al., 2013). La presencia de humedad y aceite mejora el efecto lubricante, reduciendo la viscosidad y la fricción de la masa, y dando como resultado un extruido menos cocido. Como se mencionó anteriormente, esto se asocia con una menor expansión, mayor densidad y mayor dureza (Shevkani et al., 2019; Wang et al., 2019; Pastor-Cavada et al., 2013).

El aumento de las temperaturas del barril durante la extrusión permite la generación de celdas de aire pequeñas y finas, lo que da como resultado productos más crujientes, livianos y menos densos. Las temperaturas más altas en el barril promueven el sobrecalentamiento del agua, lo que hace que se evapore más

rápidamente al salir del molde, lo que contribuye a la expansión y la ligereza de los extruidos (Singha et al., 2018a, Wani & Kumar, 2016b; Gomez & Aguilera, 1984). Sin embargo, las temperaturas excesivas en el barril podrían conducir a una viscosidad reducida y un menor SME afectando negativamente la expansión de la botana (Singha et al., 2018b). La velocidad del tornillo tiene una correlación positiva con la expansión y una correlación negativa con la densidad aparente, ya que promueve efectos de cizallamiento en el almidón, aumentando su hidratación (da Silva et al., 2014). En términos generales, durante la extrusión, el exceso de humedad reduce las tasas de expansión, mientras que las temperaturas más altas en el barril la favorecen (Gomez & Aguilera, 1984). La presencia de legumbres en las mezclas reduce el SME, posiblemente debido a la menor dureza de los cotiledones de las legumbres (Pérez-Navarrete et al., 2006). Esta disminución también se puede atribuir al mayor contenido de proteínas, grasas y fibra, que interactúan con el almidón y el agua, impidiendo la interacción entre el agua y el almidón y afectando la gelatinización del almidón (Gomes et al., 2023; Shevkani et al., 2019).

La inclusión de legumbres en la formulación de botanas afectará al proceso de extrusión e inevitablemente a las características tecnológicas y sensoriales de las botanas. Aunque la modificación de los parámetros de extrusión puede revertir en cierta medida estos efectos.

a) Propiedades tecnológicas

Como se mencionó anteriormente, la densidad aparente, la expansión y la porosidad de un producto extruido son características físicas importantes que están relacionadas con la calidad de la botana.

La densidad aparente está correlacionada negativamente con la expansión, la porosidad, la elasticidad y la viscosidad de la mezcla durante la extrusión (Gomes et al., 2023; Singha et al., 2018a; Pathania et al., 2013; Hardacre et al., 2006). La inclusión de legumbres generalmente resulta en valores de densidad aparente más altos y consecuentemente tasas de expansión más bajas (Félix-Medina et al., 2020; Hegazy et al., 2017; Rodríguez-Miranda et al., 2014; Gabr et al., 2013; Sawant et

al., 2013; Pastor-Cavada et al., 2011; Hardacre et al., 2006; Pérez-Navarrete et al., 2006). La mayor presencia de proteínas proporcionadas por las legumbres mantiene la masa más plástica durante la extrusión, lo que lleva al colapso de las estructuras de espuma y la ruptura de las paredes celulares a medida que el vapor se expande debido a la presión, evitando que crezcan burbujas de aire y dando como resultado extruidos más duros, más densos y menos expandidos (Neder-Suárez et al., 2024; Félix-Medina et al., 2020; Hardacre et al., 2006). Además, la proteína interactúa con el agua a través de interacciones hidrofílicas, ralentizando la pérdida de expansión en el extruido (Wani et al., 2021). La presencia de fibra también tiene un efecto similar sobre la expansión y la densidad aparente (Hegazy et al., 2017). Las proteínas y las fibras compiten con el almidón por el agua disponible, reduciendo la capacidad de gelificación del almidón y, por tanto, su expansión (Wani et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Hegazy et al., 2017). La fibra también promueve la ruptura de las celdas de aire durante la extrusión (Gomes et al., 2023; Wani et al., 2021; Vadukapuram et al., 2014; Pérez-Navarrete et al., 2006). Además, aumentar la proporción de otros compuestos como proteína y fibra reduce la cantidad de almidón en las materias primas, lo que es responsable de las menores propiedades de expansión y porosidad de harinas como la de maíz (Neder-Suárez et al., 2024). El efecto de los lípidos en la expansión también depende del tipo de lípido. Los lípidos, al igual que las proteínas, pueden interactuar con el almidón, interfiriendo en la gelificación y la expansión de la masa (Pérez-Navarrete et al., 2006). Actúan como lubricante, reduciendo los efectos de cocción y cizallamiento en la extrusora, y dando lugar a valores de expansión más bajos (Pastor-Cavada et al., 2013; Lazou et al., 2007).

Además, en presencia de proteínas, el aumento de la velocidad del tornillo cuando se añaden legumbres a la formulación promoverá un mayor estiramiento de las proteínas, debilitando los enlaces, dando como resultado un producto más esponjoso. Este efecto se potencia cuando el almidón se ve afectado por el cizallamiento, promoviendo su gelatinización y, por tanto, su expansión (Wani & Kumar, 2016b). Por lo tanto, un aumento de la temperatura del barril y de la velocidad del tornillo puede compensar la reducción de la tasa de expansión, lo que reduce los valores de densidad aparente de los extruidos (Kothakota et al., 2013).

Otros parámetros tecnológicos afectados por la presencia de legumbres en las formulaciones de botanas extruidas incluyen el índice de absorción de agua (IAA), el índice de sólidos solubles (ISS) y el índice de absorción de aceite (IAAC). El IAA mide la cantidad de agua absorbida por el almidón y sirve como indicador del grado de gelatinización, ya que el almidón no absorbe agua a temperatura ambiente (Nongmaithem et al., 2024; Gomes et al., 2023; Lazou & Krokida, 2010). Existe una correlación positiva entre el almidón gelatinizado y el IAA (Nongmaithem et al., 2024).

El aumento de la proporción de legumbres en mezclas con maíz suele dar lugar a valores de IAA más bajos (Nongmaithem et al., 2024; Shevkani et al., 2019; Singha et al., 2018a; Wani & Kumar, 2016c). Esta reducción del IAA puede verse favorecida por la mayor proporción de proteínas aportadas por las legumbres que provocan una reducción del contenido de almidón en las mezclas (Wani & Kumar, 2016c) y promueve la formación de enlaces proteína-almidón intermoleculares e intramoleculares con amilosa y amilopectina, reduciendo la disponibilidad de almidón para la gelatinización y, por tanto, reduciendo el IAA (Shevkani et al., 2019). Aunque la presencia de proteínas debería favorecer la absorción de agua debido a sus grupos hidrofílicos, durante el proceso de extrusión, estas proteínas se desnaturalizan, perdiendo su capacidad de hidratarse y formar geles (Lazou & Krokida, 2010). También se puede explicar que la presencia de proteínas de legumbres en mezclas con almidón de cereales aumenta la temperatura de gelatinización (Singh & Muthukumarappan, 2014; Shevkani et al., 2014). Sin embargo, algunos estudios han informado que el aumento de la cantidad de legumbres condujo a un aumento del IAA (Hegazy et al., 2017; Rzedzicki et al., 1994).

El ISS mide la cantidad de componentes solubles liberados durante la extrusión a partir de la degradación tanto del almidón como de la proteína (Neder-Suárez et al., 2024; Hegazy et al., 2017). La inclusión de legumbres, como el aumento de la humedad de la masa, aumenta el ISS (Nongmaithem et al., 2024; Neder-Suárez et al., 2021b; Wani & Kumar, 2016c; Pastor-Cavada et al., 2013).

Por otro lado, el IAAC representa la capacidad del extruido para retener aceite y funciona como un indicador de su naturaleza hidrofóbica. Se ha demostrado que la inclusión de legumbres disminuye el IAAC (Lazou & Krokida, 2010). La inclusión de proteínas de legumbres (Gujaska & Khan, 1991) debería favorecer el IAAC, ya que también aumenta la presencia de aminoácidos no polares y aumenta las cadenas laterales de las proteínas. Sin embargo, estas proteínas interactúan entre sí durante la extrusión, así como con el almidón y los lípidos, alterando así su capacidad de absorción de aceite. Es fundamental señalar que una mayor presencia de proteínas fomenta las interacciones entre proteínas, almidón y lípidos, alterando así la capacidad de retención de aceite del extruido. Por ejemplo, al incorporar harina de lentejas (10-30-50%) en una mezcla con harina de maíz (0.91–4.49 mL/g), en comparación con un extruido de control que comprendía 100% de harina de maíz (1.48 a 5.45 mL/g), se observaron cambios notables en el IAAC, como se detalla en Lazou & Krokida (2010). En el mismo estudio, se exploró el impacto de los parámetros de extrusión en el IAAC. Se observó que el IAAC aumentó con el aumento de la temperatura de extrusión. Este efecto podría atribuirse al mayor grado de cocción en los extruidos (Drago et al., 2007), lo que resulta en la formación de moléculas de almidón más pequeñas a través de la dextrinización, lo que favorece el aumento del IAAC (Lazou & Krokida, 2010). Por el contrario, se encontró que la humedad disminuye el grado de cocción, lo que reduce en consecuencia el IAAC, ya que se producen menos moléculas de almidón pequeñas. Otro parámetro influyente que afecta al IAAC es la velocidad de alimentación del extrusor, que reduce el tiempo de residencia de la masa dentro del equipo, disminuyendo así el grado de cocción y dextrinización y, en última instancia, reduciendo el IAAC (Lazou & Krokida, 2010).

b) Propiedades sensoriales

La evaluación de las propiedades sensoriales en productos extruidos es uno de los parámetros estudiados para conocer el nivel de aceptabilidad por parte del consumidor, especialmente en el desarrollo de nuevos productos alimenticios o la modificación de algunas de las características de productos ya en el mercado (Wani & Kumar, 2016a; Sawant et al., 2013).

El color es uno de los atributos más importantes que afectan a la aceptabilidad de las botanas. Es uno de los parámetros estudiados a la hora de obtener productos extruidos a partir de legumbres, ya que el color de muchas de estas legumbres es diferente al de los ingredientes tradicionales de estos productos, como los cereales. Un ejemplo es el color verde natural del guisante verde en comparación con el color amarillo del maíz (Wani & Kumar, 2016c). Los cambios de color pueden proporcionar información sobre el grado de reacciones de pardeamiento, como la caramelización, la reacción de Maillard, el grado de cocción y la degradación de pigmentos que tienen lugar durante el proceso de extrusión (Ilo & Berghofer, 1999). En general, la incorporación de legumbres al extruido dará como resultado un oscurecimiento de la botana reflejado en valores L^* más bajos a medida que aumentan los valores de a^* y b^* (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Singha et al., 2018a; Sawant et al., 2013). Sin embargo, existen ejemplos donde la luminosidad (L^*) de la legumbre cruda es mayor que la de la harina de maíz, como en Neder-Suárez et al. (2021a) (donde se utilizó maíz azul y frijoles negros), el valor L^* fue mayor en los frijoles que en el maíz. Lo mismo ocurrió con los garbanzos que exhibieron un valor L^* más alto que el maíz (Shevkani et al., 2019). En general, a^* aumenta con la incorporación de legumbre y con el aumento de la temperatura y la humedad de extrusión (Singha et al., 2018a; Sawant et al., 2013). En cuanto a b^* , este suele aumentar debido a reacciones de pardeamiento no enzimático (Rico et al., 2021). En ocasiones, b^* disminuye debido a la pérdida de carotenoides del maíz (Cueto et al., 2017), y aumenta con el aumento de la velocidad del tornillo (Neder-Suárez et al., 2021a).

El otro parámetro más afectado por la incorporación de legumbre a los extruidos de maíz es la dureza. La dureza se define como la fuerza máxima necesaria para vencer la resistencia de las paredes celulares o alvéolos del extruido a romperse. Cuanto más se expande la botana, menos duro es el producto debido a que las paredes celulares son más frágiles (Félix-Medina et al., 2020). Así, todos los parámetros que limiten la expansión de la botana aumentarán la dureza del producto (Wani et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Shevkani et al., 2019; Ruiz-Armenta et al., 2018; Tovar-Jiménez et al., 2016; Limón-Valenzuela et al., 2010; Pérez Navarrete et al., 2006). Dado que la incorporación de legumbre en las botanas extruidas da como resultado productos menos expandidos, la dureza

aumenta inevitablemente, como han demostrado varios estudios con garbanzos (Shevkani et al., 2019; Shah et al., 2017), guisantes verdes (Wani & Kumar, 2016c), frijoles (Neder-Suárez et al., 2024; Félix-Medina et al., 2020; Pérez-Navarrete et al., 2006) y lentejas (Nongmaithem et al., 2024; Gomes et al., 2023).

La inclusión de legumbres en los extruidos mejora el contenido de proteínas, lo que contribuye a una mayor crocancia. Este fenómeno se puede explicar por las interacciones entre el almidón y las proteínas, que dan lugar a la formación de pequeñas burbujas de aire (Natabirwa et al., 2020). Además, la existencia de estas interacciones entre almidón y proteína se ha relacionado con un aumento de la crocancia y la crujencia de los extruidos (Onwulata et al., 2001).

La cohesión, otro parámetro para evaluar los productos extruidos, refleja el comportamiento de la dureza y aumenta con la presencia de legumbres (Paula & Conti-Silva, 2014; Parada et al., 2011). La elasticidad, que indica la capacidad de un extruido de volver a su altura inicial después de la primera compresión, sirve como un descriptor confiable para productos crujientes frente a los no crujientes. En términos más simples, los productos considerados crujientes, como los compuestos 100% de maíz, exhiben una elasticidad muy baja, mientras que la adición de legumbres mejora la elasticidad.

La gomosidad, la masticabilidad y la resiliencia exhiben tendencias similares a la dureza. La masticabilidad evalúa el comportamiento de mordida, y los productos que contienen más legumbres requieren más mordidas que los que consisten únicamente en maíz. La resiliencia mide la capacidad de un producto para recuperar su altura inicial después de someterse a presión (Shah et al., 2017).

El oscurecimiento de las botanas, así como el aumento de la dureza, también se ha detectado cuando se evalúan sensorialmente las botanas que contienen legumbres (Shevkani et al., 2019; Hardacre et al., 2006; Rzedzicki et al., 1994). También se observan cambios de color, siendo las botanas generalmente más oscuras (Félix-Medina et al., 2020). El sabor de las botanas también puede verse modificado (Hardacre et al., 2006). Sin embargo, no todos estos cambios son necesariamente percibidos como negativos por los panelistas (Natabirwa et al.,

2020). En general, el parámetro más afectado es la dureza, considerando que la dureza excesiva suele ser percibida negativamente por los panelistas (Shah et al., 2017; Wani & Kumar, 2016a). La adición de legumbres a los extruidos hace que el color amarillo tradicional del maíz se vea penalizado, oscureciendo las botanas. En cuanto al sabor, existen más discrepancias. La presencia de un alto porcentaje de legumbres se ha considerado a veces como algo positivo, mientras que en otros casos se ha puntuado negativamente (Natabirwa et al., 2020; Gabr et al., 2013; Hardacre et al., 2006). Por ejemplo, en Hardacre et al. (2006) la presencia de lentejas afectó negativamente al sabor, mientras que en Natabirwa et al. (2020), la fórmula de la botana con un 85% de legumbres recibió la puntuación más alta en cuanto a sabor entre los adultos, pero fue penalizada por los escolares. En términos de aceptabilidad general, las formulaciones con proporciones moderadas de legumbres han sido mejor puntuadas por los panelistas, como 15% de garbanzo (Shah et al., 2017), 20% de garbanzo (Selvaparakash et al., 2021), 25% guisante verde seco (Wani & Kumar, 2016a), y 35% materias primas (arroz, garbanzo, germen de trigo, cebada, leche en polvo) en el estudio de Gabr et al. (2013). Sin embargo, en algunos estudios como Natabirwa et al. (2020), la formulación mejor valorada fue la que contenía más legumbre (85%).

1.2.4. Impacto en la salud

Es bien sabido que el consumo de botanas, o picotear, junto con hábitos saludables, es beneficioso para el control del apetito, el control del peso y la mejora del control de la glucosa en sangre, contribuyendo en última instancia a mantener o mejorar la salud general de la población (Kaneko et al., 2021; Arora et al., 2020; Hess et al., 2016). Sin embargo, surge la controversia ya que las botanas actuales, en particular los categorizados como salados, suelen presentar porciones grandes, alta densidad energética y alta palatabilidad (Almoraie et al., 2021). Estas botanas son ricas en aditivos, grasas y sal, lo que los categoriza como alimentos chatarra (Dunford et al., 2020).

Son las características nutricionales de estas botanas las que los hacen perjudiciales para la salud (Morris et al., 2019). Pueden aumentar el riesgo de desarrollar afecciones como obesidad, diabetes, hipertensión y problemas dentales

en la población (Almoraie et al., 2021). Por lo tanto, reducir sus deficiencias nutricionales y mitigar el impacto negativo en los consumidores suena como una estrategia para mejorar la mala prensa.

A la incorporación de legumbres en botanas extruidas tradicionales elaborados principalmente a partir de cereales como el maíz (Félix-Medina et al., 2020) se le han atribuido ciertos efectos beneficiosos para la salud, como la reducción del riesgo de desarrollar ciertas enfermedades como la diabetes, la obesidad, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer de colon al mezclar legumbres y maíz, por ejemplo, con el consumo regular de productos ricos en maíz y frijoles (Das & Singh, 2016; Fan & Beta, 2016; Chen et al., 2015; Žilić et al., 2012; Reyes-Moreno et al., 2012). Estos efectos beneficiosos se han asociado a varios componentes bioactivos presentes en las legumbres (polifenoles, ácidos grasos poliinsaturados, flavonoides, proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas) (Félix-Medina et al., 2020; Saha et al., 2009). Además de la composición de macronutrientes, en particular, el mayor contenido proteico de las legumbres junto con la suplementación de aminoácidos por el conjugado legumbre-maíz, aumenta tanto la cantidad como la calidad de la proteína en los productos extruidos, como indican diversos estudios (Figura 6) (Wang et al., 2019; Simons et al., 2015; Estrada-Girón et al., 2015; Sosa-Moguel et al., 2009). Por otro lado, como también se ha mencionado anteriormente, la extrusión favorece que el alimento no se altere excesivamente al ser sometido a un proceso térmico. También conservan o en algunos casos mejoran aspectos asociados a la salud. (Hegazy et al., 2017; Espinoza-Moreno et al., 2016; Delgado et al., 2012). Sin embargo, también puede causar ciertas alteraciones en las características de los macronutrientes, como el almidón, las proteínas (Gilani et al., 2012; Huber et al., 2001, Mitchell & Areas, 1991) y la fibra dietética (Lue et al., 1991).

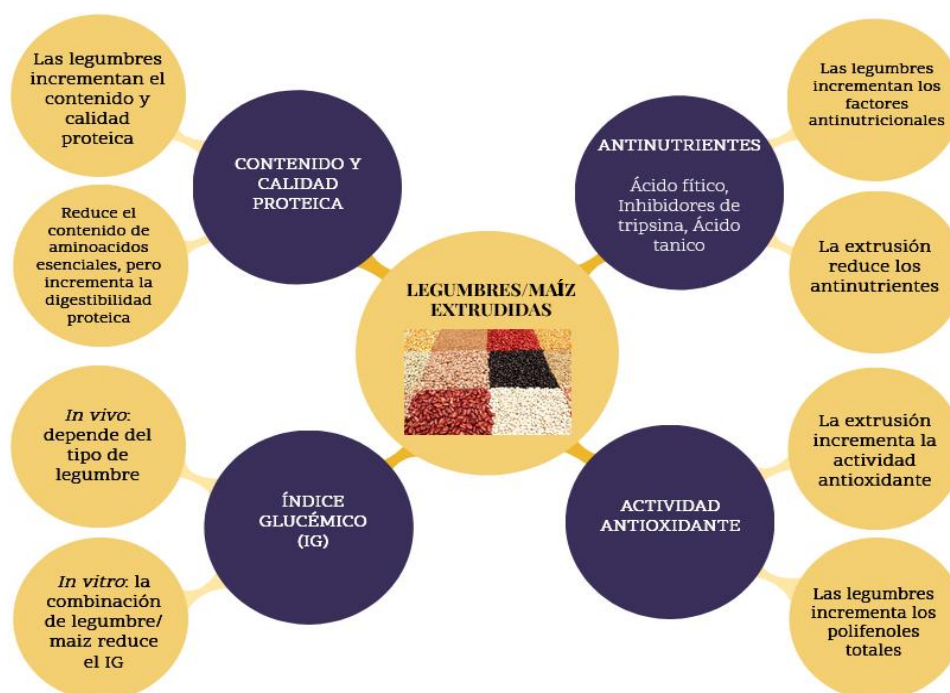


Figura 6. Efecto de la inclusión de legumbre en extruidos de maíz.

Existen pocos estudios sobre productos extruidos de maíz y legumbre que se centren en aspectos de salud, y la mayoría de ellos se basan en pruebas *in vitro* (contenido de antioxidantes, actividad antioxidante, índice glucémico, etc.) y solo unos pocos implican evaluaciones *in vivo* (insulina sérica, índice glucémico, saciedad).

Aunque el consumo de legumbres aporta beneficios como ya se ha comentado anteriormente, por otro lado, aporta antinutrientes como los inhibidores de enzimas digestivas (Figura 6) como tripsina, quimotripsina, amilasa, taninos, saponinas, que son menos comunes y se encuentran en menor proporción en cereales como el maíz. La presencia de compuestos antinutrientes, como ácido fítico, ácido tánico e inhibidores de tripsina, puede disminuir la digestibilidad de proteínas, carbohidratos, grasas y minerales (Wani & Kumar, 2016d). En general, se ha comprobado que la extrusión aumenta la absorción de minerales al reducir los factores antinutricionales como los fitatos (5.02 mg/g de muestra extruida) y los taninos (0.38 mg/g de muestra extruida) comparándola con la mezcla sin extruir (Wani & Kumar, 2016d).

En el estudio de Hegazy et al. (2017), donde se utilizaron diferentes proporciones de garbanzo (10%, 20%, 30%), el proceso de extrusión redujo el contenido de ácido fítico de los extruidos en un 43.30-46.51% de 1.86 mg/g a 1.00 mg/g en el caso del extruido con 30% de garbanzo comparándolo con la mezcla cruda. En cuanto al ácido tánico, la reducción fue entre 40.46-43.61%, pasando de 1.05 a 0.62 mg/g de ácidos tánicos en la misma mezcla anterior, esta reducción del contenido de taninos debido al tratamiento térmico en la extrusión favorece la absorción de minerales (Wani & Kumar, 2016d). Resultados similares fueron reportados por Wani & Kumar (2016b), Anton et al. (2009), y Hussein (2000). Rico et al. (2021) trabajaron con mezclas extruidas de lentejas y maíz a diferentes temperaturas (110 a 130°C), sin obtener diferencias importantes en el contenido de ácido fítico, posiblemente debido a la hidrólisis y la acción de la fitasa con una temperatura óptima en el rango de 48 a 55 °C.

Otro parámetro estudiado en este tipo de productos es el contenido de antioxidantes y la actividad antioxidante (Figura 6). En general, según las pruebas de actividad antioxidante utilizadas en varios estudios, la actividad antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP y ORAC) en mezclas de maíz y legumbres aumenta después del proceso de extrusión (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Hegazy et al., 2017; Wani & Kumar, 2016a) y la inclusión de legumbres (Nongmaithem et al., 2024; Sahoo et al., 2021; Gómez-Favela et al., 2021; Hegazy et al., 2017).

Los parámetros de extrusión como la temperatura del barril, la humedad, la velocidad del tornillo y la velocidad de alimentación afectan la actividad antioxidante de los extruidos. En general, el aumento de la velocidad del tornillo disminuye la actividad antioxidante, especialmente en condiciones de menor humedad y especialmente cuando se acompaña de velocidades de alimentación más bajas. En el caso de aumento de humedad en la mezcla, favorece la actividad antioxidante por efecto lubricante, ya que el efecto de cizallamiento es más agresivo para los antioxidantes a menor humedad. Respecto a la temperatura de barrica, su aumento favorece la actividad antioxidante (Neder-Suarez et al., 2021a; Wani & Kumar, 2019; Ozer et al., 2006; Delgado-Andrade et al., 2005; Cämmerer et al., 2002). Se ha observado un aumento de la actividad antioxidante como consecuencia de la extrusión, aumentando del 8.1 al 20.90% en la técnica DPPH

(Wani & Kumar, 2019, 2016a). En cuanto a la incorporación de legumbres a extruidos de maíz, se ha observado que la actividad antioxidante aumenta (Rico et al., 2021; Ciudad-Mulero et al., 2018; Espinoza-Moreno et al., 2016). Una excepción la observan Felix-Medina et al. (2020), quienes observaron que, al aumentar la proporción de legumbres, la actividad antioxidante disminuía.

Por otro lado, la actividad antioxidante está dada por ciertos compuestos antioxidantes como diferentes tipos de polifenoles. Los polifenoles son sustancias que contienen un anillo aromático que posee grupos hidroxilo (Zielinski et al., 2001). Estos compuestos son termosensibles a temperaturas superiores a los 80 °C, por lo que aumentar la temperatura del barril y la velocidad del tornillo provoca una reducción en el contenido de estos compuestos (Wani et al., 2021; Wani & Kumar, 2019, 2016a; Sharma et al., 2012; Altan et al., 2009). Los polifenoles se pueden encontrar en dos estados, libres o unidos a la pared celular de la materia prima. En el estudio de Félix-Medina et al. (2021), se observó que los compuestos fenólicos libres tienen una actividad antioxidante menor que los unidos a la pared celular. Este último permanece presente después de la extrusión.

La incorporación de legumbres de maíz en botanas suele provocar un aumento de los polifenoles totales en comparación con un producto obtenido a partir de 100% de maíz, como ocurrió en Sahoo et al. (2021) y Shevkani et al. (2019) con garbanzo, en Gómez-Favela et al. (2021) y Neder-Suarez et al. (2024) con frijol, y en Nongmaithem et al. (2024) con lentejas. Por ejemplo, Hegazy et al. (2017) observaron un aumento de los polifenoles totales (1.92-7.94%) y de la actividad antioxidante respectivamente, pero la proporción de aumento de antioxidantes disminuyó del 5.94 al 1.94% a medida que aumentaba la proporción de garbanzos (10-30%). Por otro lado, los resultados obtenidos por Rico et al. (2021) demostraron que tanto el contenido de polifenoles como la actividad antioxidante aumentaron tanto con la incorporación de legumbres como con el aumento de la temperatura de extrusión (110-130 °C). Una posible explicación ofrecida para este efecto fue la liberación de componentes bioactivos de la matriz de la pared celular (Wang & Ryu, 2013; Zielinski et al., 2006). Sin embargo, se observó una reducción tanto de los compuestos fenólicos como de la actividad antioxidante cuando se incluyeron frijoles (Félix-Medina et al., 2020). En los resultados

proporcionados por Pastor-Cavada et al. (2011, 2013), la incorporación de vegetales silvestres no significó un aumento ni una disminución en el contenido de polifenoles. Las discrepancias encontradas podrían explicarse de la siguiente manera. Por un lado, se ha observado que existe una liberación de polifenoles debido a la destrucción de las paredes celulares de las materias primas después de aplicar el proceso de extrusión en mezclas legumbres-maíz (Sahoo et al., 2021; Gómez-Favela et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020). También se ha reportado que la presencia de aminoácidos libres, la reducción de azúcares y proteínas, y el uso de altas temperaturas y baja humedad, favorecen las reacciones de Maillard formando melanoidinas, que si bien son productos de degradación de los ácidos fenólicos (Bartel et al., 2015) también presentaron actividad antioxidante (Félix-Medina et al., 2020; Wani & Kumar, 2016a). Además de estos compuestos, también se forman otros compuestos de alto peso molecular que absorben en el mismo rango de longitud de onda, por lo que este contenido de polifenoles podría estar sobreestimado (Félix-Medina et al., 2020; Thanuja et al., 2020). Por otro lado, la reducción reportada de polifenoles totales en botanas de legumbres y maíz se ha atribuido a las altas temperaturas alcanzadas durante la extrusión, que alteran o degradan la estructura molecular de los compuestos fenólicos (Nongmaithem et al., 2024; Neder-Suarez et al., 2024; Wani et al., 2021; Wani & Kumar, 2016a).

En resumen, la mayoría de los estudios avalan que la incorporación de legumbres favorece la actividad antioxidante (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Hegazy et al., 2017; Wani & Kumar, 2016a), y que la extrusión en condiciones de alta humedad, baja velocidad del tornillo y alta temperatura del barril aumenta la actividad antioxidante (Neder-Suarez et al., 2021a; Wani & Kumar, 2019; Ozer et al., 2006; Delgado-Andrade et al., 2005; Cämmerer et al., 2002). En cuanto al contenido en polifenoles, la incorporación de legumbre aumenta su contenido (Neder-Suarez et al., 2024; Nongmaithem et al., 2024; Sahoo et al., 2021; Gómez-Favela et al., 2021; Shevkani et al., 2019; Hegazy et al., 2017) pero en cuanto a la extrusión, existen discrepancias entre si aumenta o disminuye su contenido.

Uno de los parámetros de salud más estudiados, sobre todo a nivel *in vitro*, ha sido el índice glucémico (IG) (Figura 6), que se define como la elevación de las concentraciones de glucosa en sangre tras el consumo de un alimento o una

comida. La glucemia tras el consumo de alimentos (glucemia postprandial) es una respuesta fisiológica normal cuya intensidad y duración dependerá, entre otros factores, de las características de la ingesta de alimentos. El concepto de IG categoriza a los alimentos en función de su efecto propuesto sobre la glucemia postprandial en sangre en comparación con un alimento de referencia, o más recientemente, con la glucosa pura. El IG puede verse influenciado no solo por la naturaleza química y física del alimento o comida consumida, sino también por factores individuales (Venn et al., 2007). Algunos de estos factores incluyen ciertos tipos de fibra dietética, estructuras de almidón, tipos de azúcar, grasa, contenido de proteína, contenido de agua, estructura celular, distribución de partículas y presencia de ácidos orgánicos e inhibidores enzimáticos (Thorsdóttir et al., 2005). Es de interés conocer el IG de los alimentos, ya que se ha asociado al consumo de alimentos con un IG bajo, con un riesgo reducido de diabetes tipo 2 (Hodge, 2004).

Varios artículos han estudiado *in vitro* el IG en botanas que combinan legumbres y maíz (Nongmaithem et al., 2024; Rico et al., 2021; Wani et al., 2021; Hardacre et al., 2006) y muy pocos lo han estudiado *in vivo* (Johnston et al., 2021). Se ha estudiado tanto el efecto de la combinación de estos ingredientes como el efecto de la propia extrusión. En el caso de la incorporación de legumbres, Hardacre et al. (2006) trabajaron con lentejas, demostrando que los productos con mayor proporción de maíz liberaban más glucosa que los que tenían mayor proporción de lentejas. Como curiosidad, la menor liberación de glucosa no se obtuvo en la formulación con 100% lentejas sino en la combinación de 40-60 maíz-lentejas, por lo que la combinación de ambos podría tener un mejor efecto sobre la glucemia. Las mismas conclusiones aportaron Rico et al. (2021) donde la combinación de porción 50-50 maíz-lentejas, mostró una reducción del IG a temperaturas de extrusión de 110-120 °C respecto al producto original (100% maíz). En Wani et al. (2021), se obtuvieron resultados similares con la judía verde (9%), reduciendo el IG de 73 ± 3 a 47 ± 1.2 mmol•min/L de glucosa.

En cuanto a los efectos de los parámetros de extrusión, se estudió el efecto de la temperatura como se mencionó anteriormente (Rico et al., 2021) al combinar maíz-lentejas, obteniendo el IG más bajo a una temperatura de extrusión de 130

°C, en comparación con temperaturas de extrusión más bajas (110-120 °C). La posible explicación ofrecida fue la formación de una costra a altas temperaturas que reduce la gelatinización del almidón, es decir, la formación de almidón resistente que limita el acceso de las enzimas digestivas y la liberación del almidón.

En cuanto a los estudios de IG *in vivo*, los resultados son dispares y existen diferencias sobre el producto original, según de qué legumbre hablemos (Johnston et al., 2021). Se combinó maíz-legumbre en la proporción 60-40, obteniéndose diferencias de IG respecto al control con 100% maíz (142.0 mmol•min/L de glucosa en sangre) en las mezclas con garbanzo (110.0 mmol•min/L de glucosa en sangre) y frijol pinto (102.0 mmol•min/L de glucosa en sangre). Sin embargo, no se apreciaron diferencias significativas entre arveja amarilla entera (148.0 mmol•min/L de glucosa en sangre), y lenteja verde (140.0 mmol•min/L de glucosa en sangre) así como el control. En el mismo estudio también se analizó la insulina postprandial tras el consumo del producto, obteniéndose diferencias únicamente en la mezcla de frijol pinto y maíz. Otro parámetro que se determinó fue la saciedad tras el consumo de las diferentes formulaciones, sin encontrar diferencias significativas.

En resumen, se ha observado que la combinación de legumbre-maíz en estudios *in vitro* reduce la liberación de glucosa (Rico et al., 2021; Wani et al., 2021; Hardacre et al., 2006). La extrusión a altas temperaturas (130 °C) también reduce la IG (Rico et al., 2021). Y en estudios *in vivo*, solo el garbanzo y el frijol pinto han reducido los niveles de glucosa. En conclusión, existen pocos estudios de IG *in vitro*, como *in vivo*. Por lo tanto, es necesario estudiar más a fondo la posibilidad de que se produzcan cambios en la IG por el efecto de la incorporación de legumbres en combinación con maíz en botanas extruidas.

Natabirwa et al. (2020) estudiaron cómo una botana optimizada que contenía 82.03% de frijoles, 10% de maíz y 2.97% de batata de pulpa anaranjada contribuía a la ingesta diaria recomendada de proteínas, fibra y hierro para niños de 4 a 8 años, alcanzando el 42.9, el 19.3 y el 12.1% de la IDR de proteínas, hierro y zinc, respectivamente.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las botanas aun siendo un alimento con un aporte nutricional deficiente y un aporte calórico elevado, sigue siendo uno de los productos cuyo consumo sigue creciendo en los últimos años (Sales & Associates. Creative Solutions. Trusted Advice., 2021). En general las botanas son ricas en grasas, hidratos de carbono y sal (Jensen & Schwartz, 2021). Además, son pobres en vitaminas, minerales y fibra.

En la actualidad la obesidad, las enfermedades cardiovasculares (ECV) y la diabetes son las principales patologías más extendidas a nivel nacional y mundial. Las botanas tradicionales no ayudan a reducir estas patologías al ser densos energéticamente y desequilibrados nutricionalmente (Fardet, 2016). Por lo que la preocupación en la población mexicana, por la alimentación saludable y reducción de los factores de riesgos que desencadenan en las patologías anteriormente descritas está en auge.

Por lo que resulta necesario el desarrollo de nuevas botanas que tengan un impacto menos desfavorable hacia la salud, modificando su composición. Es relevante diseñar nuevas formulaciones de botanas, combinando harinas de diferentes leguminosas y cereales, para conseguir botanas con un mayor aporte proteico, un mejor perfil de aminoácidos y el aumento del aporte de fibra dietética (aportados por las legumbres), que tengan un efecto sobre el índice glucémico (IG) y la bioaccesibilidad de aminoácidos. Por un lado, el aporte de alimentos con un IG bajo tiene un efecto positivo sobre la diabetes, desarrollo de obesidad y ECV. Y por otro lado el consumo de alimentos ricos en proteína de alto valor biológico es deficitario (carne y huevos) según ENSANUT (2024), por lo que sería positivo incrementar la cantidad y calidad de proteínas en las botanas al ser un producto asequible para todos los niveles socioeconómicos mexicanos.

Por lo que es pertinente evaluar el efecto de la adición de compuestos de origen vegetal en botanas, mediante análisis fisicoquímicos, sensoriales y pruebas *in vitro*, para obtener botanas con mejores propiedades nutricionales a las botanas comerciales y un efecto benéfico en la salud.

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Evaluar el efecto de la incorporación de garbanzo y adición de arroz en botanas extruidas y expandidas “tipo puff”, en las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas, sensoriales y pruebas de digestibilidad *in vitro* (índice glucémico estimado, digestibilidad proteica y bioaccesibilidad de minerales), para obtener botanas comerciales con mejores propiedades nutricionales.

Objetivos específicos

- Caracterizar las materias primas (harina de garbanzo, arroz, maíz y chícharo) mediante análisis fisicoquímicos y evaluación de propiedades tecnológicas.
- Evaluar el efecto de la incorporación de garbanzo, adición de arroz y proteína de chícharo en matrices extruidas de maíz, mediante análisis de las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y sensoriales de las formulaciones desarrolladas para seleccionar la formulación con mayor interés comercial y nutricional.
- Evaluar el efecto de la incorporación de garbanzo y adición de arroz en extruidos de maíz “tipo puff”, sobre las propiedades nutricionales (índice glucémico estimado, digestibilidad proteica y bioaccesibilidad de minerales) mediante pruebas de digestión *in vitro*, que permitan obtener una botana comercial con propiedades nutricionales mejoradas en comparación con una botana control de maíz.

1.5. REFERENCIAS

- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H. & Gupta, K. (2016). Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(3), 445-473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Algarni, E. H., Hussien, H. A. & Salem, E. M. (2019). Development of nutritious extruded snacks. *Life Science Journal* 16(9), 23-31. [10.7537/marslsj160919.03](https://doi.org/10.7537/marslsj160919.03)
- Ali, S., Singh, B. & Sharma, S. (2017). Development of high-quality weaning food based on maize and chickpea by twin-screw extrusion process for low-income populations. *Journal of Food Process Engineering* 40(3), e12500. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12500>
- Almoraie, N. M., Saqaan, R., Alharthi, R., Alamoudi, A., Badh, L. & Shatwan, I. M. (2021). Snacking patterns throughout the life span: potential implications on health. *Nutrition Research* 91, 81-94.
- Alonso, R., Aguirre, A. & Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68(2), 159-165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7)
- Alonso, R., Rubio, L. A., Muzquiz, M. & Marzo, F. (2001). The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Animal Feed Science and Technology* 94(1-2), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00302-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00302-9)
- Altan, A., McCarthy, K. L. & Maskan, M. (2009). Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and β -glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products. *International Journal of Food Science and Technology* 44(6), 1263-1271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01956.x>
- Ambigaipalan, P., Hoover, R., Donner, E., Liu, Q., Jaiswal, S., Chibbar, R., Nantanga, K.K.M. & Seetharaman, K. (2011). Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International* 44(9), 2962-2974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.006>
- Anton, A. A., Fulcher, R. G. & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry* 113(4), 989-996. <https://doi.org/10.3390/foods9111593>
- Arora, M., Singhal, S., Rasane, P., Singh, J., Kaur, S., Kumar, V., Kumar, A. & Mishra, A. (2020). Snacks and Snacking: Impact on Health of the Consumers and Opportunities for its Improvement. *Current Nutrition & Food Science* 16(7), 1028-1043. <https://doi.org/10.2174/1573401316666200130110357>
- Azima, F., Anggraini, T., Syukri, D. & Septia, R. A. (2017). Research Article Effects of Sodium Bisulfite Soaking on the Quality of Durian Seed Flour and its Application to Dakak-dakak Production (West Sumatra's Traditional Snack). *Pakistan Journal of Nutrition* 6 (3): 175-178. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.175.178>
- Bamdad, F., Dokhani, S. & Keramat, J. (2009). Functional assessment and subunit constitution of Lentil (*lens culinaris*) proteins during Germination. *International Journal of Agriculture and Biology* 11(6), 690-694.
- Bartel, C., Mesías, M. & Morales, F. J. (2015). Investigation on the extractability of melanoidins in portioned espresso coffee. *Food Research International* 67, 356-365. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.053>

- Bashir, S., Sharif, M. K., Butt, M. S. & Shahid, M. (2016). Functional properties and amino acid profile of *Spirulina platensis* protein isolates. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 59(1), 12-19. <http://dx.doi.org/10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.59.1.2016.12.19>
- Bhatnagar, S. & Hanna, M. A. (1994). Extrusion processing conditions for amylose-lipid complexing. *Cereal Chemistry* 35, 340-347.
- Bhattacharya, S. (2022). *Snack foods: Processing and technology*. Academic press.
- Bisharat, G. I., Eleni, P. N., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K. & Maroulis, Z. B. (2014). Thermal, textural, and physicochemical analysis of corn extrudates enriched with broccoli or olive paste. *International Journal of Food Properties* 17(9), 2100-2116. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.785560>
- Boschin, G. & Arnoldi, A. (2011). Legumes are valuable sources of tocopherols. *Food Chemistry* 127(3), 1199-1203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.124>
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International* 43(2), 414-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K. & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology* 48(5), 893-902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Cai, R., McCurdy, A. & Baik, B. K. (2002). Textural property of 6 legume curds in relation to their protein constituents. *Journal of Food Science* 67(5), 1725-1730. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08713.x>
- Calabrò, S., Cutrignelli, M. I., Lo Presti, V., Tudisco, R., Chiofalo, V., Grossi, M., Infascelli, F. & Chiofalo, B. (2015). Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(15), 3127-3136. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7049>
- Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Rocha-Guzmán, N. E., Navarro-Cortez, R. O., Jacobo-Valenzuela, N. & Gómez-Aldapa, C. A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CyTA-Journal of Food*, 12(4), 320-330. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.861517>
- Cämmerer, B., Jalyshko, W. & Kroh, L. W. (2002). Intact carbohydrate structures as part of the melanoidin skeleton. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(7), 2083-2087. <https://doi.org/10.1021/jf011106w>
- Caprioli, G., Giusti, F., Ballini, R., Sagratini, G., Vila-Donat, P., Vittori, S. & Fiorini, D. (2016). Lipid nutritional value of pulses: Evaluation of different extraction methods and determination of fatty acid composition. *Food Chemistry* 192, 965-971. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.102>
- Carlsson, N. G., Karlsson, H. & Sandberg, A. S. (1992). Determination of oligosaccharides in foods, diets, and intestinal contents by high-temperature gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40(12), 2404-2412. <https://doi.org/10.1021/jf00024a015>
- Castro-Montoya, Y. A., Jacobo-Valenzuela, N., Delgado-Nieblas, C. I., Ruiz-Armenta, X. A., Heredia, J. B., Delgado-Murillo, S. A., Calderón-Castro, J.J. & Zazueta-Morales, J. J. (2024). Effect of the extrusion process on phytochemical, antioxidant, and cooking properties of gluten-free pasta made from broken rice and nopal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 23(1), Alim24149. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim24149>

- Chaudhary, A., Marinangeli, C. P., Tremorin, D. & Mathys, A. (2018). Nutritional combined greenhouse gas life cycle analysis for incorporating canadian yellow pea into cereal-based food products. *Nutrients* 10(4), 490. <https://doi.org/10.3390/nu10040490>
- Chauhan, G. S. & Bains, G. S. (1988). Effect of some extruder variables on physico-chemical properties of extruded rice-Legume blends. *Food Chemistry* 27(3), 213-224. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(88\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(88)90064-7)
- Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry* 20(4), 263-283. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90096-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90096-8)
- Chen, B., Yu, C., Liu, J., Yang, Y., Shen, X., Liu, S. & Tang, X. (2017). Physical properties and chemical forces of extruded corn starch fortified with soy protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology* 52(12), 2604-2613. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13547>
- Chen, P. X., Bozzo, G. G., Freixas-Coutin, J. A., Marcone, M. F., Pauls, P. K., Tang, Y., Zhang, B., Liu, R. & Tsao, R. (2015). Free and conjugated phenolic compounds and their antioxidant activities in regular and non-darkening cranberry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats. *Journal of Functional Foods* 18, 1047-1056. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.032>
- Chilomer, K., Zaleska, K., Ciesiolka, D., Gulewicz, P., Frankiewicz, A., & Gulewicz, K. (2010). Changes in the alkaloid, alpha-galactoside and protein fractions content during germination of different lupin species. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 79(1), 11-20. <http://dx.doi.org/10.5586/asbp.2010.002>
- Chung, H. (2019). Here's what the \$605 billion global snack market looks like. *Yahoo! Finance*. <https://finance.yahoo.com/news/citi-global-snack-market-110553461.html>
- Ciudad-Mulero, M., Barros, L., Fernandes, Â., Berrios, J. D. J., Cámara, M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V. & Ferreira, I. C. (2018). Bioactive compounds and antioxidant capacity of extruded snack-type products developed from novel formulations of lentil and nutritional yeast flours. *Food & Function* 9(2), 819-829. <https://doi.org/10.1039/C7FO01730H>
- Conti-Silva, A. C., Bastos, D. H. & Arêas, J. A. (2012). The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. *International Journal of Food Science & Technology* 47(9), 1896-1902. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03047.x>
- Costa, C., Tsatsakis, A., Mamoulakis, C., Teodoro, M., Briguglio, G., Caruso, E., ... & Fenga, C. (2017). Current evidence on the effect of dietary polyphenols intake on chronic diseases. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 286-299. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.023>
- Cueto, M., Perez Burillo, S., Rufián-Henares, J. Á., Farroni, A. E. & Buera, M. D. P. (2017). Toasting time and cooking formulation affect browning reaction products development in corn flakes. *Cereal Chemistry* 94(3), 380-384. <https://doi.org/10.1094/CCEM-03-16-0053-R>
- da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., de Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y. & Berrios, J. D. J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT-Food Science and Technology* 58(2), 620-626. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.031>
- Dahl, W. J., Foster, L. M. & Tyler, R. T. (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition* 108(S1), S3-S10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
- Dalgetty, D. D. & Baik, B. K. (2003). Isolation and characterization of cotyledon fibers from

- peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry* 80(3), 310-315. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.3.310>
- Das, A. K. & Singh, V. (2016). Antioxidative free and bound phenolic constituents in botanical fractions of Indian specialty maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Food Chemistry* 201, 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.099>
- de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M. & de Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94(3), 327-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
- de Moraes, R. M. & Angelucci, E. (1971). Chemical composition and amino acid contents of Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science* 36(3), 493-494 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1971.tb06396.x>
- Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A. K., & Brennan, C. S. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry* 123(4), 1117-1122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.071>
- Delgado, E., Rodríguez, J. H., Rocha-Guzman, N., Rodríguez-Vidal, A., Herrera-Gonzalez, S. M., Medrano-Roldan, H., Solis-Soto, A. & Ibarra-Perez, F. (2012). Inhibition of the growth of rats by extruded snacks from beans (*Phaseolus vulgaris*) and corn (*Zea mays*). *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24(3), 255-263.
- Delgado-Andrade, C., Rufián-Henares, J. A. & Morales, F. J. (2005). Assessing the antioxidant activity of melanoidins from coffee brews by different antioxidant methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(20), 7832-7836. <https://doi.org/10.1021/jf0512353>
- Delgado-Nieblas, C. I., Zazueta-Morales, J. J., Aguilar-Palazuelos, E., Jacobo-Valenzuela, N., Aguirre-Tostado, F. S., Carrillo-López, A., Ruiz-Armenta, X.A. & Telis-Romero, J. (2018). Physical, microstructural and sensory characteristics of extruded and microwave-expanded snacks added with dehydrated squash. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 17 (3) 805-821 [10.24275/uam/izt/dcibi/revmexingquim/2018v17n3/Delgadoissn-e:2395-8472](https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcibi/revmexingquim/2018v17n3/Delgadoissn-e:2395-8472)
- Dhawan, K., Malhotra, S., Dahiya, B. S. & Singh, D. (1991). Seed protein fractions and amino acid composition in gram (*Cicer arietinum*). *Plant Foods for Human Nutrition* 41, 225-232. <https://doi.org/10.1007/BF02196390>
- Draganovic, V., van der Goot, A. J., Boom, R. & Jonkers, J. (2011). Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. *Animal Feed Science and Technology* 165(3-4), 238-250. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.004>
- Drago, S. R., Velasco-González, O. H., Torres, R. L., González, R. J. & Valencia, M. E. (2007). Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean flour. *Plant Foods for Human Nutrition* 62, 43-48. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0033-5>
- Dunford, E. K., Popkin, B. M. & Ng, S. W. (2020). Recent trends in junk food intake in US children and adolescents, 2003–2016. *American Journal of Preventive Medicine* 59(1), 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2020.01.023>
- Edwards, C. A., Havlik, J., Cong, W., Mullen, W., Preston, T., Morrison, D. J., & Combet, E. (2017). Polyphenols and health: Interactions between fibre, plant polyphenols and the gut microbiota. <https://doi.org/10.1111/nbu.12296>
- El-Adawy, T. A. (2002). Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods for*

- Ene-Obong, H. N. & Carnovale, E. (1992). A comparison of the proximate, mineral and amino acid composition of some known and lesser known legumes in Nigeria. *Food Chemistry* 43(3), 169-175. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90169-3](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90169-3)
- Erbaş, M., Certel, M. & Uslu, M. K. (2005). Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). *Food Chemistry* 89(3), 341-345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.040>
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Figueroa-Cárdenas, J. D., López-Cervantes, J., Barrón-Hoyos, J. M. & Morales-Rosas, I. (2013). Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA-Journal of Food* 11:sup1, 29-37. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.764929>
- Espinoza-Moreno, R. J., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O. & Gutiérrez-Dorado, R. (2016). Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean. *Plant Foods for Human Nutrition* 71, 218-224. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0551-8>
- Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A. M., Napolitano, A., Vitale, D. & Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International* 38(10), 1167-1173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.002>
- Estrada-Girón, Y., Martínez-Preciado, A. H., Michel, C. R. & Soltero, J. F. A. (2015). Characterization of extruded blends of corn and beans (*Phaseolus vulgaris*) cultivars: Peruano and Black-Queretaro under different extrusion conditions. *International Journal of Food Properties* 18(12), 2638-2651. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.999862>
- Fan, G. & Beta, T. (2016). Proximate composition, phenolic profiles and antioxidant capacity of three common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology* 2(3), 147-152. <http://dx.doi.org/10.17756/jfcn.2016-023>
- Fan, P. H., Zang, M. T. & Xing, J. (2015). Oligosaccharides composition in eight food legumes species as detected by high-resolution mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(11), 2228-2236. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6940>
- Fardet, A. (2016). *Minimally processed foods are more satiating and less hyperglycemic than ultra-processed foods: a preliminary study with 98 ready-to-eat foods.* <https://doi.org/10.1039/c6fo00107f>
- Félix-Medina, J. V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J. A., López-Ángulo, G., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K. & Montes-Ávila, J. (2021). Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 142, 111053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E. & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT – Food Science and Technology* 124, 109172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Flores-Silva, P., Martínez-Yañez, R. C., Rodríguez-Huezo, M. E. & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Nutritional protein quality and digestibility changes during food processing. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 21(1), Alim2748. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2917>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Selling street and snack foods*. FAO. <https://www.fao.org/4/i2474e/i2474e00.pdf>
- Fordham, J. R., Wells, C. E. & Chen, L. H. (1975). Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts. *Journal of Food Science* 40(3), 552-556. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb12526.x>
- Fouad, A. A. & Rehab, F. M. (2015). Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 14(3), 233-246. <https://doi.org/10.17306/j.afs.2015.3.25>
- Freire, V. (2014). La nueva situación epidemiológica de Ecuador. *Revista Informativa-Ops/Oms Representacion Ecuador* 32, 1-100.
- Frias, J., Doblado, R. & Vidal-Valverde, C. (2003). Kinetics of soluble carbohydrates by action of endo/exo α -galactosidase enzyme in lentils and peas. *European Food Research and Technology* 216, 199-203. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0638-3>
- Frimpong, A., Sinha, A., Tar'an, B., Warkentin, T. D., Gossen, B. D. & Chibbar, R. N. (2009). Genotype and growing environment influence chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(12), 2052-2063. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3690>
- Gabr, A. M., Mahgoub, S. A. & Shehata, W. M. (2013). Production of high nutritional value snack foods for children from grains and legumes. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 4(9), 455-464. <https://dx.doi.org/10.21608/jfds.2013.72085>
- Garcia, O. E., Infante, R. B. & Rivera, C. J. (1997). Determination of total, soluble and insoluble dietary fibre in two new varieties of *Phaseolus vulgaris* L. using chemical and enzymatic gravimetric methods. *Food Chemistry* 59(1), 171-174. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(95\)00231-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(95)00231-6)
- García-Segovia, P., Igual, M., Noguerol, A. T., & Martínez-Monzó, J. (2020). Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European Food Research and Technology* 246(4), 703-712. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03441-y>
- Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M., Jafari, S. M. & Faraji, K. (2012). Proximate composition, mineral content, and fatty acids profile of two varieties of lentil seeds cultivated in Iran. *Chemistry of Natural Compounds* 47, 976-978. <https://doi.org/10.1007/s10600-012-0119-2>
- Ghumman, A., Kaur, A. & Singh, N. (2016). Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. *LWT - Food Science and Technology* 65, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.075>
- Giannini, A. N., Krokida, M. K. & Bisharat, G. I. (2013). Structural properties of corn-based extrudates enriched with plant fibers. *International Journal of Food Properties* 16(3), 667-683. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.565536>
- Gilani, G. S., Xiao, C. W. & Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition* 108(S2), S315-S332. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002371>
- Gomes, K. S., Berwian, G. F., Tiepo, C. B. V. & Colla, L. M. (2023). Development and evaluation of extruded protein snacks added. *Food Science and Technology* 43. <https://doi.org/10.5327/fst.1123>

- Gomez, M. H. & Aguilera, J. M. (1984). A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science* 49(1), 40-43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13664.x>
- Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Partida-Preciado, R. A., Espinoza-Moreno, R. J., Preciado-Ortiz, R. & Gutiérrez-Dorado, R. (2021). Gluten-free healthy snack with high nutritional and nutraceutical value elaborated from a mixture of extruded underutilized grains (quality protein maize/tepari bean). *Acta universitaria* 31. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3024>
- Gopala Krishna, A. G., Prabhakar, J. V. & Aitzetmüller, K. (1997). Tocopherol and fatty acid composition of some Indian pulses. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 74(12), 1603-1606. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0084-2>
- Gopirajah, R. & Muthukumarappan, K. (2018). Effect of extrusion process conditions on the physical properties of tef-oat healthy snack extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation* 42(3), e13559. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13559>
- Graybosch, R. A. (2004). Grain crops, overview. *Encyclopedia of Grain Science* 2, 46-55.
- Gujska, E. & Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science* 56(2), 431-435. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05297.x>
- Gulewicz, P., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Ciesiolka, D., Gulewicz, K. & Vidal-Valverde, C. (2008). Effect of germination on the protein fraction composition of different lupin seeds. *Food Chemistry* 107(2), 830-844 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.087>
- Gupta, P., Singh, R., Malhotra, S., Boora, K. S. & Singal, H. R. (2010). Characterization of seed storage proteins in high protein genotypes of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 16, 53-58. <https://doi.org/10.1007/s12298-010-0007-9>
- Hall, C., Hillen, C. & Garden Robinson, J. (2017). Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry* 94(1), 11-31. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0069-FI>
- Hardacre, A. K., Clark, S. M., Riviere, S., Monro, J. A. & Hawkins, A. J. (2006). Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture studies* 37(1), 94-111. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2006.00041.x>
- Hegazy, H. S., El-Bedawey, A. E. A., Rahma, E. H. & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion processes on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 4(1), 59-66.
- Hervert-Hernández, D., García, O. P., Rosado, J. L., & Goñi, I. (2011). The contribution of fruits and vegetables to dietary intake of polyphenols and antioxidant capacity in a Mexican rural diet: Importance of fruit and vegetable variety. *Food Research International*, 44(5), 1182–1189. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.021> *Int J Food Sci Nutr* 47(1): 5–13.
- Hess, J. M., Jonnalagadda, S. S. & Slavin, J. L. (2016). What is a snack, why do we snack, and how can we choose better snacks? A review of the definitions of snacking, motivations to snack, contributions to dietary intake, and recommendations for improvement. *Advances in Nutrition* 7(3), 466-475. <https://doi.org/10.3945/an.115.009571>
- Hodge, A. M., English, D. R., O'Dea, K. & Giles, G. G. (2004). Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 27(11), 2701-2706. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.11.2701>

- Hoover, R. & Ratnayake, W. S. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry* 78(4), 489-498. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00163-2)
- Hoover, R. & Sosulski, F. J. S. S. (1985). Studies on the functional characteristics and digestibility of starches from *Phaseolus vulgaris* biotypes. *Starch-Stärke* 37(6), 181-191. <https://doi.org/10.1002/star.19850370602>
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J. & Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International* 43(2), 399-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>
- Huber, G. R. (2001). Snack Foods from Cooking Extruders. In: *Snack Foods Processing*. E.W. (Lucas and L.W. Rooney, eds), pp. 107-138, CRC Press, United States of America
- Hussein, E. H. (2000). Chemical and nutritional evaluation of high protein extrudates. Doctoral dissertation, Doctor of Philosophy Thesis, Faculty Home Economic, Minufiya University, Egypt.
- Ilo, S. & Berghofer, E. (1999). Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering* 39(1), 73-80. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00148-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00148-4)
- Ilo, S. & Berghofer, E. (2003). Kinetics of lysine and other amino acids loss during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Science* 68(2), 496-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05701.x>
- Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N. & Khan, M. S. (2006). Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry* 97(2), 331-335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
- Izzo, M. T. & Ho, C. T. (1989). Protein-lipid interaction during single-screw extrusion of zein and corn oil. *Cereal Chemistry* 66(1), 47-51.
- Jensen, M. L. & Schwartz, M. B. (2021). Junk food consumption trends point to the need for retail policies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 114(3), 837-838. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab189>
- Johnston, A. J., Mollard, R. C., Dandeneau, D., MacKay, D. S., Ames, N., Curran, J., Bouchard, D.R. & Jones, P. J. (2021). Acute effects of extruded pulse snacks on glycemic response, insulin, appetite, and food intake in healthy young adults in a double blind, randomized, crossover trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 46(7), 704-710. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0572>
- Kahlon, T. S., & Woodruff, C. L. (2002). *In vitro* binding of bile acids by soy protein, pinto beans, black beans and wheat gluten. *Food Chemistry* 79(4), 425-429. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00192-9)
- Kaneko, H., Itoh, H., Kiriya, H., Kamon, T., Fujiu, K., Morita, K., Yasunaga, H. & Komuro, I. (2021). Possible association between eating behaviors and cardiovascular disease in the general population: Analysis of a nationwide epidemiological database. *Atherosclerosis* 320, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2021.01.022>
- Karaca, A. C., Low, N. & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International* 44(9), 2742-2750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>
- Kaur, M., Singh, N. & Sodhi, N. S. (2005). Physicochemical, cooking, textural and roasting characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Engineering* 69(4), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.002>

- Kocherla, P., Aparna, K. & Lakshmi, D. N. (2012). Development and evaluation of RTE (Ready to Eat) extruded snack using egg albumin powder and cheese powder. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 14(4), 179-187.
- Koehler, H. H., Chang, C. I. H., Scheier, G. & Burke, D. W. (1987). Nutrient composition, protein quality, and sensory properties of thirty-six cultivars of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science* 52(5), 1335-1340. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14076.x>
- Koinov, K., & Radkov, P. (1981). Chemical composition and technological quality of regional and prospective kidney bean cultivars. *Rastenievudni Nauki* 18, 17-23
- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D. & Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology* 53, 561-570. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>
- Kothakota, A., Jindal, N. & Thimmaiah, B. (2013). A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products. *African Journal of Food Science* 7(12), 485-497. <https://doi.org/10.5897/AJFS2013.1065>
- Krupa-Kozak, U. & Soral-Śmietana, M. (2010). Bean seed proteins digestibility affected by pressure and microwave cooking. *Acta alimentaria* 39(2), 234-238. <https://doi.org/10.1556/aalim.39.2010.2.14>
- Kutoš, T., Golob, T., Kač, M. & Plestenjak, A. (2003). Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry* 80(2), 231-235. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00258-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00258-3)
- Lai, L. S. & Kokini, J. L. (1991). Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnology Progress* 7(3), 251-266. <https://doi.org/10.1021/bp00009a009>
- Lam, C. D. & Flores, R. A. (2003). Effect of particle size and moisture content on viscosity of fish feed. *Cereal Chemistry* 80(1), 20-24 <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.1.20>
- Larousse Cocina. (s.f). Botana. En *Diccionario enciclopédico de la Gastronomía Mexicana*. Recuperado el: 30 de enero, 2025, de <https://laroussecocina.mx/palabra/botana/>
- Lazou, A. & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food research international* 43(2), 609-616 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.017>
- Lazou, A. E., Michailidis, P. A., Thymi, S., Krokida, M. K. & Bisharat, G. I. (2007). Structural properties of corn-legume based extrudates as a function of processing conditions and raw material characteristics. *International Journal of Food Properties* 10(4), 721-738. <https://doi.org/10.1080/10942910601154305>
- Limón-Valenzuela, V., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. D. J. & Martínez-Bustos, F. (2017). Paste and microstructural properties of extruded starch pellets enriched with qpm and milk protein concentrate. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 16(1), 193-205.
- Limón-Valenzuela, V., Martínez-Bustos, F., Aguilar-Palazuelos, E., Caro-Corrales, J. J. & Zazueta-Morales, J. J. (2010). Physicochemical evaluation and optimization of enriched expanded pellets with milk protein concentrate. *Cereal Chemistry* 87(6), 612-618. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-02-10-0030>
- Limsangouan, N., Takenaka, M., Sotome, I., Nanayama, K., Charunuch, C. & Isobe, S. (2010). Functional properties of cereal and legume based extruded snack foods fortified with by-products from herbs and vegetables. *Agriculture and Natural Resources* 44(2), 271-279
- Lue, S., Hsieh, F. & Huff, H. E. (1991). Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber:

effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. *Cereal Chemistry* 68(3), 227-234.

- Luker, K. (2012). Single-screw extrusion: Principle. In D. Douroumis (Ed.), *Hot-melt extrusion: Pharmaceutical application* (1st ed., pp. 1–21). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470711415.ch1>
- Mallillin, A. C., Trinidad, T. P., Raterta, R., Dagbay, K. & Loyola, A. S. (2008). Dietary fibre and fermentability characteristics of root crops and legumes. *British Journal of Nutrition* 100(3), 485-488. <https://doi.org/10.1017/S000711450891151X>
- Manosalvas, A., Taimal, R. & Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. *Revista Bases de la Ciencia* 4(3), 67-80. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911
- Marquez, U. L. & Lajolo, F. M. (1981). Composition and digestibility of albumin, globulins, and glutelins from *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 29(5), 1068-1074. <https://doi.org/10.1021/jf00107a043>
- Martin, A., Schmidt, V., Osen, R., Bez, J., Ortner, E. & Mittermaier, S. (2022). Texture, sensory properties and functionality of extruded snacks from pulses and pseudocereal proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 102(12), 5011-5021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11041>
- Martín-Cabrejas, M. A., Ariza, N., Esteban, R., Mollá, E., Waldron, K. & López-Andréu, F. J. (2003). Effect of germination on the carbohydrate composition of the dietary fiber of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(5), 1254-1259. <https://doi.org/10.1021/jf0207631>
- Martín-Cabrejas, M. A., Díaz, M. F., Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E. & Esteban, R. M. (2008). Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chemistry* 107(3), 1045-1052. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.020>
- Martínez-Villaluenga, C., Frías, J. & Vidal-Valverde, C. (2006). Functional lupin seeds (*Lupinus albus* L. and *Lupinus luteus* L.) after extraction of α -galactosides. *Food Chemistry* 98(2), 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.074>
- Masood, T., Shah, H. U. & Zeb, A. (2014). Effect of sprouting time on proximate composition and ascorbic acid level of mung bean (*Vigna radiate* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 24(3).
- Meiners, C. R., Derise, N. L., Lau, H. C., Ritchey, S. J. & Murphy, E. W. (1976). Proximate composition and yield of raw and cooked mature dry legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24(6), 1122-1126. <https://doi.org/10.1021/jf60208a035>
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M. & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International* 43(2), 650-658. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016>
- Mercier, S., Moresoli, C., Mondor, M., Villeneuve, S. & Marcos, B. (2016). A meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta?. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15(4), 685-704. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12207>
- Mitchell, J. R. & Areas, J. A. G. (1991). Structural changes in biopolymers during extrusion. In: *Food extrusion: Science and Technology*. (J. L. Kokini; C.T. Ho and M. V. Karwe, eds.) Pp. 345-360. Marcel Dekker, Boca Raton.

- Moraghan, J. T. & Grafton, K. (2002). Distribution of selected elements between the seed coat and embryo of two black bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 25(1), 169-176. <https://doi.org/10.1081/PLN-100108788>
- Moreira-Araújo, R. S., Araújo, M. A. & Arêas, J. A. (2008). Fortified food made by the extrusion of a mixture of chickpea, corn and bovine lung controls iron-deficiency anaemia in preschool children. *Food Chemistry*, 107(1), 158-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.074>
- Morris, M. A., Hutchinson, J., Gianfrancesco, C., Alwan, N. A., Carter, M. C., Scott, E. M. & Cade, J. E. (2019). Relationship of the frequency, distribution, and content of meals/snacks to glycaemic control in gestational diabetes: the myfood24 GDM pilot study. *Nutrients*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.3390/nu12010003>
- Mosibo, O. K., Ferrentino, G., Alam, M. R., Morozova, K. & Scampicchio, M. (2022). Extrusion cooking of protein-based products: potentials and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62(9), 2526-2547. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1854674>
- Mwangwela, A. M., Waniska, R. D., McDonough, C. & Minnaar, A. (2007). Cowpea cooking characteristics as affected by micronisation temperature: a study of the physicochemical and functional properties of starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(3), 399-410. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2711>
- Naivikul, O. & D'Appolonia, B. L. (1979). Carbohydrates of legume flours compares with wheat flour III: nonstarchy polysaccharides. *Cereal Chemistry* 56(1), 24-28
- Nardocci, M., Leclerc, B. S., Louzada, M. L., Monteiro, C. A., Batal, M., & Moubarac, J. C. (2019). Consumption of ultra-processed foods and obesity in Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 110(1), 4–14. <https://doi.org/10.17269/s41997-018-0130-x>
- Natabirwa, H., Nakimbugwe, D., Lung'aho, M., Tumwesigye, K. S. & Muyonga, J. H. (2020). Bean-based nutrient-enriched puffed snacks: Formulation design, functional evaluation, and optimization. *Food Science & Nutrition* 8(9), 4763-4772. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1727>
- Neder-Suárez, D., Lardizabal-Gutiérrez, D., Zazueta-Morales, J. D. J., Meléndez-Pizarro, C. O., Delgado-Nieblas, C. I., Ramírez Wong, B., Gutiérrez-Méndez, N., Hernández-Ochoa, L.R. & Quintero-Ramos, A. (2021a). Anthocyanins and functional compounds change in a third-generation snacks prepared using extruded blue maize, black bean, and chard: An optimization. *Antioxidants* 10(9), 1368. <https://doi.org/10.3390/antiox10091368>
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F. & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021b). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 146, 111414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111414>
- Neder-Suárez, D., Vázquez-Rodríguez, J. A., González-Martínez, B. E., Meléndez-Pizarro, C. O., Hernández-Ochoa, L. R., Murowaniecki-Otero, D., Rodríguez-Roque, M.J. & Quintero-Ramos, A. (2024). Effect of using alternative flours on the development and characteristics of a third-generation snacks. *Food Chemistry Advances* 4, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100571>
- Nongmaithem, R., Meda, V., Niranjana, T., Shukla, R. M., Hashmi, S. & Dwivedi, M. (2024). Effect of extrusion process on germinated lentil (*Lens culinaris*) based snack foods: Impact on starch digestibility, physio-functional, and antioxidant properties. *Measurement: Food* 13, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100132>

- Nugdallah, G. A. & El Tinay, A. H. (1997). Effect of cooking on cowpea protein fractions. *Plant foods for human nutrition* 51, 277-282. <https://doi.org/10.1023/A:1007920221382>
- Obatolu, V. A. & Cole, A. H. (2000). Functional property of complementary blends of soybean and cowpea with malted or unmalted maize. *Food Chemistry* 70(2), 147-153. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00248-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00248-4)
- Omuetti, O., & Morton, I.D. (1996). Development by extrusion of soyabari snack sticks: A nutritionally improved soya-maize product based on the nigerian snack (kokoro).
- Onwulata, C. I., Konstance, R. P., Smith, P. W. & Holsinger, V. H. (2001). Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *LWT-Food Science and Technology* 34(7), 424-429. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0742>
- Oomah, B. D., Blanchard, C. & Balasubramanian, P. (2008). Phytic acid, phytase, minerals, and antioxidant activity in Canadian dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(23), 11312-11319. <https://doi.org/10.1021/jf801661j>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). Crops Statistics-Concepts, Definitions and Classifications. Recuperado: 21 abril, 2024 de: <https://www.fao.org/3/cb2462en/cb2462en.pdf>
- Ozer, E. A., Herken, E. N., Güzel, S., Ainsworth, P. & İbanoğlu, Ş. (2006). Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. *International Journal of Food Science & Technology* 41(3), 289-293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01062.x>
- Paes, M. C. D. & Maga, J. (2004). Effect of extrusion on essential amino acids profile and color of whole-grain flours of quality protein maize (qpm) and normal maize cultivars. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 3(01). <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v3n01p%25p>
- Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Saalia, F. K., Eitenmiller, R. R. & Phillips, R. D. (2008). Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT-Food Science and Technology* 41(4), 632-641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.010>
- Parada, J., Aguilera, J. M. & Brennan, C. (2011). Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 103(3), 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.001>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., & Vioque, J. (2011). Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry* 128(4), 961-967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.126>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M. & Vioque, J. (2013). Physical and nutritional properties of extruded products based on whole grain with the addition of wild legumes (*Vicia lutea* subsp. *lutea* var. *hirta* and *Vicia sativa* subsp. *sativa*). *International Journal of Food Science & Technology* 48(9), 1949-1955. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12175>
- Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, V. & Singla, S. (2013). Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *International Journal of Engineering Research and Applications* 3(3), 1040-1049.
- Paula, A. M. & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering* 121, 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>

- Pauwels, E. K. (2011). The protective effect of the Mediterranean diet: focus on cancer and cardiovascular risk. *Medical principles and practice*, 20(2), 103-111. <https://doi.org/10.1159/000321197>
- Pérez-Hidalgo, M. A., Guerra-Hernández, E. & García-Villanova, B. (1997). Dietary fiber in three raw legumes and processing effect on chickpeas by an enzymatic-gravimetric method. *Journal of Food Composition and Analysis* 10(1), 66-72. <https://doi.org/10.1006/jfca.1997.0522>
- Pérez-Navarrete, C., Gonzalez, R., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(14), 2477-2484. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2661>
- Pusztai, A., Clarke, E. M., King, T. P. & Stewart, J. C. (1979). Nutritional evaluation of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*): Chemical composition, lectin content and nutritional value of selected cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 30(9), 843-848. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740300902>
- Rahman, L., Rowe, P., Cheyne, A. & Wilson, D. I. (2002). Ram extrusion of potato starch dough through multi-holed dies. *Food and Bioproducts Processing* 80(1), 12-19. <https://doi.org/10.1205/096030802753479061>
- Real Academia Española (s.f). Botana. En *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado el 30 de enero, 2025 <https://dle.rae.es/botana>
- Reyes-Moreno, C., Argüelles-López, O. D., Rochín-Medina, J. J., Milán-Carrillo, J., Rivera-López, J., Valdez-Ortiz, A., López-Valenzuela, J.A. & Gutiérrez-Dorado, R. (2012). High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional Mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition* 67, 450-456 <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0324-y>
- Rico, D., Cano, A. B. & Martín-Diana, A. B. (2021). Pulse-cereal blend extrusion for improving the antioxidant properties of a gluten-free flour. *Molecules* 26(18), 5578. <https://doi.org/10.3390/molecules26185578>
- Rodríguez Vidal, A. (2017). *Efecto de la incorporación de harina de garbanzo en un extruido tipo botana sobre su calidad nutricional y tecnológica* [Tesis de doctorado, Instituto Politécnico Nacional]
- Rodríguez-Miranda, J., Ramírez-Wong, B., Vivar-Vera, M. A., Solís-Soto, A., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Medrano-Roldan, H. & Delgado-Licon, E. (2014). Effect of bean flour concentration (*Phaseolus vulgaris* L.), moisture content and extrusion temperature on the functional properties of aquafeeds. *Revista mexicana de ingeniería química* 13(3), 649-663.
- Ruiz-Armenta, X. A., Zazueta-Morales, J. D. J., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Nieblas, C. I., López-Díaz, A., Camacho-Hernández, I. L., Gutiérrez-Dorado, R. & Martínez-Bustos, F. (2018). Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process. *CyTA-Journal of Food* 16(1), 172-180. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1368717>
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT-Food Science and Technology* 41(10), 1799-1807. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.005>
- Rumiyati, R., James, A. P. & Jayasena, V. (2012). Effect of germination on the nutritional and protein profile of Australian sweet lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Food and Nutrition*

Sciences 3, 621-626. <https://doi.org/doi:10.4236/fns.2012.35085>

- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T. P., Maguire, A. R. & O'Brien, N. M. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition* 62, 85-91. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0046-8>
- Rzedzicki, Z. & Moscicki, L. (1994). The investigations of the texture of extruded plant materials. *International agrophysics* 8(4), 671-680.
- Saha, S., Singh, G., Mahajan, V. & Gupta, H. S. (2009). Variability of nutritional and cooking quality in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a function of genotype. *Plant Foods for Human Nutrition* 64(2), 174-180. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0121-4>
- Sahoo, M. R., Kuna, A., Devi, M. P., Sowmya, M. & Dasgupta, M. (2021). Fortification of ready-to-eat extruded snacks with tree bean powder: nutritional, antioxidant, essential amino acids, and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology* 59 2351-2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05251-w>
- Sales & Associates. Creative Solutions. Trusted Advice (2021). Snacks Industry 2021. Recuperado el 15 de marzo, 2022 de <http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2021/05/Snacks-ENG.pdf>
- Sathe, S. K. & Salunkhe, D. K. (1981). Isolation, partial characterization and modification of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starch. *Journal of Food Science* 46(2), 617-621. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04924.x>
- Sathe, S. K., Deshpande, S. S., Salunkhe, D. K. & Rackis, J. J. (1984). Dry beans of phaseolus. A review. Part 1. Chemical composition: Proteins. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 20(1), 1-46. <https://doi.org/10.1080/10408398409527382>
- Sawant, A. A., Thakor, N. J., Swami, S. B., Divate, A. D. & Vidyapeet, B. S. (2013). Physical and sensory characteristics of ready-to-eat food prepared from finger millet based composite mixer by extrusion. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15(1), 100-105.
- Sebastian, R. S., Cleveland, L. E. & Goldman, J. D. (2008). Effect of snacking frequency on adolescents' dietary intakes and meeting national recommendations. *Journal of Adolescent Health* 42(5), 503-511. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2007.10.002>
- Sebio, L. & Chang, Y. K. (2000). Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. *Food/Nahrung* 44(2), 96-101. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3803\(20000301\)44:2%3C96::AID-FOOD96%3E3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3803(20000301)44:2%3C96::AID-FOOD96%3E3.0.CO;2-9)
- Secretaría de Salud & Secretaría de Economía. (2002). *NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial.* Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003#gsc.tab=0
- Selvaprakash, N., Geetha, P., Manoharan, A. P. & Sudha, K. (2021). Conjoint analysis for optimizing the level of ingredients in millet and pulse based Ready-To-Eat (RTE) Extruded Product. *Madras Agricultural Journal* 108. <https://doi.org/10.29321/MAJ.10.000560>
- Serino, A., & Salazar, G. (2018). Protective role of polyphenols against vascular inflammation, aging and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(1), 53. <https://doi.org/10.3390/nu11010053>
- Serna-Saldivar, S. O. (Ed.). (2022). *Snack Foods: Processing, Innovation, and Nutritional Aspects*. CRC Press.

- Seth, D. & Rajamanickam, G. (2012). Development of extruded snacks using soy, sorghum, millet and rice blend—A response surface methodology approach. *International Journal of Food Science & Technology* 47(7), 1526-1531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03001.x>
- Sgarbieri, V. C., Antunes, P. L. & Almeida, L. D. (1979). Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Journal of Food Science* 44(5), 1306-1308. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb06425.x>
- Shad, M. A., Pervez, H., Zafar, Z. I., Zia-Ul-Haq, M. & Nawaz, H. (2009). Evaluation of biochemical composition and physicochemical parameters of oil from seeds of desi chickpea varieties cultivated in arid zone of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 41(2), 655-662.
- Shah, F. U. H., Sharif, M. K., Butt, M. S. & Shahid, M. (2017). Development of protein, dietary fiber, and micronutrient enriched extruded corn snacks. *Journal of Texture Studies* 48(3), 221-230. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12231>
- Shah, M. A., Mir, S. A., & Dar, B. N. (2021). Advances in extrusion technologies. *Food Formulation: Novel Ingredients and Processing Techniques*, 147-163.
- Shamah-Levy, T., Lazcano-Ponce, E. C., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M., Gaona-Pineda, E. B., Gómez-Acosta, L. M., Mendoza-Alvarado, L. R., & Méndez-Gómez-Humarán, I. (2024). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2023: Resultados nacionales*. Instituto Nacional de Salud Pública. https://insp.mx/resources/images/stories/2025/docs/250108_Ensanut_23.pdf
- Sharma, P., Gujral, H. S. & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry* 131(4), 1406-1413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.009>
- Shevkani, K., Kaur, A., Singh, G., Singh, B. & Singh, N. (2014). Composition, rheological and extrusion behaviour of fractions produced by three successive reduction dry milling of corn. *Food and Bioprocess Technology* 7, 1414-1423. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1194-5>
- Shevkani, K., Singh, N., Rattan, B., Singh, J. P., Kaur, A. & Singh, B. (2019). Effect of chickpea and spinach on extrusion behavior of corn grit. *Journal of Food Science and Technology* 56, 2257-2266. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03712-x>
- Shi, L., Mu, K., Arntfield, S. D., & Nickerson, M. T. (2017). Changes in levels of enzyme inhibitors during soaking and cooking for pulses available in Canada. *Journal of Food Science and Technology* 54, 1014-1022. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2519-6>
- Shimelis, E. A. & Rakshit, S. K. (2007). Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry* 103(1), 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.005>
- Shriver, L. H., Marriage, B. J., Bloch, T. D., Spees, C. K., Ramsay, S. A., Watowicz, R. P. & Taylor, C. A. (2018). Contribution of snacks to dietary intakes of young children in the United States. *Maternal & Child Nutrition* 14(1), e12454. <https://doi.org/10.1111/mcn.12454>
- Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J. B., Dolan, K. D. & Nyombaire, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT-Food Science and Technology* 50(1), 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.024>
- Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J. & Bello-Pérez, L. A. (2010). Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked black bean,

- chickpea, and lentil Mexican varieties Composición química, digestibilidad de carbohidratos, y capacidad antioxidante de variedades mexicanas cocidas de frijol negro, garbanzo, y lenteja. *Cyta-Journal of Food* 8(1), 7-14. <https://doi.org/10.1080/19476330903119218>
- Simons, C. W., Hall III, C., Tulbek, M., Mendis, M., Heck, T. & Ogunyemi, S. (2015). Acceptability and characterization of extruded pinto, navy and black beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(11), 2287-2291. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6948>
- Simons, C., Hall III, C. & Biswas, A. (2017). Characterization of pinto bean high-starch fraction after air classification and extrusion. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(6), e13254. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13254>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food research international*, 101, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>
- Singh, S. K. & Muthukumarappan, K. (2014). Effect of different extrusion processing parameters on physical properties of soy white flakes and high protein distillers dried grains-based extruded aquafeeds. *Journal of Food Research* 3(6) <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n6p107>
- Singh, S. K. & Muthukumarappan, K. (2017a). A viscosity model for soy white flakes-based aquafeed dough in a single screw extruder. *Journal of Food Process Engineering* 40(2), e12357. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12357>
- Singh, S. K. & Muthukumarappan, K. (2017b). Rheological characterization and CFD simulation of soy white flakes based dough in a single screw extruder. *Journal of Food Process Engineering* 40(2), e12368. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12368>
- Singh, U. & Jambunathan, R. (1982). Changes in starch, oligosaccharides and soluble sugars in developing pod wall and seed of chickpea. *Phytochemistry* 21(2), 297-299. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)95254-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)95254-3)
- Singha, P., Muthukumarappan, K. & Krishnan, P. (2018a). Influence of processing conditions on apparent viscosity and system parameters during extrusion of distiller's dried grains-based snacks. *Food Science & Nutrition* 6(1), 101-110. <https://doi.org/10.1002/fsn3.534>
- Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K. & Krishnan, P. (2018b). Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food science & nutrition* 6(7), 1914-1926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.769>
- Soral-Smietana, M. & Krupa, L. (2005). Changes in the macrocomponents and microstructure of white bean seeds upon mild hydrothermal treatment. *Czech Journal of Food sciences* 23(2), 74-83. <http://dx.doi.org/10.17221/3375-CJFS>
- Sosa-Moguel, O., Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., González, R., Drago, S., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2009). Effect of extrusion conditions and lipoxigenase inactivation treatment on the physical and nutritional properties of corn/cowpea (*Vigna unguiculata*) blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60(sup7), 341-354. <https://doi.org/10.1080/09637480903156251>
- Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., Pratapa, V. M. & Singh, V. (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry* 131(2), 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.008>
- Steel, C. J., Leoro, M. G. V., Schmiele, M., Ferreira, R. E. & Chang, Y. K. (2012). Thermoplastic extrusion in food processing. In: *Thermoplastic elastomers*, (A. El-Sonbat, eds Pp. 265-290. InTech, London.

- Su, H. S., Lu, W., & Chang, K. C. (1998). Microstructure and physicochemical characteristics of starches in six bean varieties and their bean paste products. *LWT-Food Science and Technology* 31(3), 265-273. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0350>
- Sujak, A., Kotlarz, A. & Strobel, W. (2006). Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* 98(4), 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.036>
- Sumathi, A., Ushakumari, S. R., & Malleshi, N. G. (2007). Physico-chemical characteristics, nutritional quality and shelf-life of pearl millet based extrusion cooked supplementary foods. *International journal of food sciences and nutrition*, 58(5), 350-362. <https://doi.org/10.1080/09637480701252187>
- Sutivisedsak, N., Moser, B. R., Sharma, B. K., Evangelista, R. L., Cheng, H. N., Lesch, W. C., Tansrud, R.R. & Biswas, A. (2011). Physical properties and fatty acid profiles of oils from black, kidney, great northern, and pinto beans. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 88(2), 193-200. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1669-8>
- Thakur, S. & Saxena, D. C. (2000). Formulation of extruded snack food (gum based cereal–pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 33(5), 354-361. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0668>
- Thanuja, B. & Parimalavalli, R. (2020). Comparison of antioxidant compounds and antioxidant activity of native and dual modified rice flour. *International Journal Pharmaceutical Sciences Research* 11, 1203-1209. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11\(3\).1203-09](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11(3).1203-09)
- Thorsdóttir, I. & Birgisdóttir, B. (2005). Glycemic index from research to nutrition recommendations?. Editorial TemaNor, Denmark.
- Tobias-Espinoza, J. L., Amaya-Guerra, C. A., Quintero-Ramos, A., Pérez-Carrillo, E., Núñez-González, M. A., Martínez-Bustos, F., Meléndez-Pizarro, C.O., Báez-González, J.G. & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2019). Effects of the addition of flaxseed and amaranth on the physicochemical and functional properties of instant-extruded products. *Foods* 8(6), 183. <https://doi.org/10.3390/foods8060183>
- Torres, A., Frias, J. & Vidal-Valverde, C. (2005). Changes in chemical composition of lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) after selective α -galactoside extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(14), 2468-2474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2278>
- 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>
- Tovar-Jimenez, X., Aguilar-Palazuelos, E., Gómez-Aldapa, C. A. & Caro-Corrales, J. J. (2016). Microstructure of a third generation snack manufactured by extrusion from potato starch and orange vesicle flour. *Journal of Food Processing & Technology* 7, 1-6. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000563>
- Trugo, L. C., Donangelo, C. M., Trugo, N. M. F. & Bach Knudsen, K. E. (2000). Effect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(6), 2082-2086. <https://doi.org/10.1021/jf9913920>
- Vadukapuram, N., Hall, C., Tulbek, M. & Niehaus, M. (2014). Physicochemical properties of flaxseed fortified extruded bean snack. *International Journal of Food Science* 2014(8). <https://doi.org/10.1155/2014/478018>
- Van Zuilichem, D. J., Stolp, W., & Janssen, L. P. B. M. (1983). Engineering aspects of single- and twin-screw extrusion-cooking of biopolymers. *Journal of Food Engineering*, 2(3), 157-175.

- Veldhorst, M. A., Westerterp, K. R. & Westerterp-Plantenga, M. S. (2012). Gluconeogenesis and protein-induced satiety. *British Journal of Nutrition*, 107(4), 595-600. <https://doi.org/10.1017/S0007114511003254>
- Venn, B. J. & Green, T. J. (2007). Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet–disease relationships. *European Journal of Clinical Nutrition* 61(1), S122-S131. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602942>
- Wang, D., van der Horst, K., Jacquier, E. F., Afeiche, M. C., & Eldridge, A. L. (2018). Snacking patterns in children: A comparison between Australia, China, Mexico, and the US. *Nutrients*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/nu10020198>
- Wang, N. & Daun, J. K. (2004). Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84(9), 1021-1029. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1742>
- Wang, N. & Daun, J. K. (2006). Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry* 95(3), 493-502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.001>
- Wang, N., Hatcher, D. W., Tyler, R. T., Toews, R. & Gawalko, E. J. (2010). Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International* 43(2), 589-594. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.012>
- Wang, S., Ai, Y., Hood-Niefer, S. & Nickerson, M. T. (2019). Effect of barrel temperature and feed moisture on the physical properties of chickpea, sorghum, and maize extrudates and the functionality of their resultant flours—Part 1. *Cereal Chemistry* 96(4), 609-620. <https://doi.org/10.1002/cche.10149>
- Wang, Y. Y. & Ryu, G. H. (2013). Physical properties of extruded corn grits with corn fibre by CO₂ injection extrusion. *Journal of Food Engineering* 116(1), 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.041>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016a). Influence of different mixtures of ingredients on the physicochemical, nutritional and pasting properties of extruded snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization* 10, 690-700. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9353-9>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016b). Development and parameter optimization of health promising extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food Bioscience* 14, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.02.002>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016c). Effect of incorporation levels of oat and green pea flour on the properties of an extruded product and their optimization. *Acta Alimentaria* 45(1), 28-35. <https://doi.org/10.1556/066.2016.45.1.4>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016d). Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks. *Journal of Food Processing and Preservation* 40(2), 166-173. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12593>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2019). Influence on the antioxidant, structural and pasting properties of snacks with fenugreek, oats and green pea. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(4), 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.01.001>
- Wani, S. A., Ganie, N. A. & Kumar, P. (2021). Quality characteristics, fatty acid profile and glycemic index of extrusion processed snacks enriched with the multicomponent mixture of cereals and legumes. *Legume science* 3(2), e76. <https://doi.org/10.1002/leg3.76>
- Wolever, T. M. (1990). Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 72–75.

- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Kita, S. & Mizushima, Y. (2005). Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology* 107(5), 307-315. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200401078>
- Zhang, B., Deng, Z., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Ramdath, D. D., Liu, Q., Hernandez, M. & Tsao, R. (2014). Effect of domestic cooking on carotenoids, tocopherols, fatty acids, phenolics, and antioxidant activities of lentils (*Lens culinaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(52), 12585-12594. <https://doi.org/10.1021/jf504181r>
- Zhang, X., Liu, J., Ni, Y., Yi, C., Fang, Y., Ning, Q., ... Li, Z. (2024). Global prevalence of overweight and obesity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, 178(8), 800-813. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2024.1576>
- Zia-Ul-Haq, M., Ahmad, M., Iqbal, S., Ahmad, S. & Ali, H. (2007a). Characterization and compositional studies of oil from seeds of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84, 1143-1148. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1136-3>
- Zia-Ul-Haq, M., Ahmad, S., Shad, M. A., Iqbal, S., Qayum, M., Ahmad, A., Luthria, D.L. & Amarowicz, R. (2011). Compositional studies of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars commonly grown in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 43(3), 1563-1567.
- Zia-Ul-Haq, M., Iqbal, S., Ahmad, S., Imran, M., Niaz, A. & Bhanger, M. I. (2007b). Nutritional and compositional study of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chemistry* 105(4), 1357-1363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.004>
- Zielinski, H., Kozłowska, H. & Lewczuk, B. (2001). Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2(3), 159-169. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00040-6)
- Zieliński, H., Michalska, A., Piskula, M. K. & Kozłowska, H. (2006). Antioxidants in thermally treated buckwheat groats. *Molecular Nutrition & Food Research* 50(9), 824-832. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500258>
- Žilić, S., Serpen, A., Akıllıoğlu, G., Gökmen, V. & Vančetović, J. (2012). Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(5), 1224-1231. <https://doi.org/10.1021/jf204367z>



Improvement of corn extruded snacks properties by incorporation of pulses
Mejora de las propiedades de snacks extrudidos de maíz mediante la incorporación de legumbres

A.L. García-Cordero¹, R. Jiménez-Alvarado², M. Bautista³, F. Díaz-Sánchez⁴, I. S. Ibarra¹, I. Sánchez-Ortega¹, E.M. Santos^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Química, Ctra. Pachuca-Tulancingo Km 4.5 s/n, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo 42183, México.

²Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad Km. 1, Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo C.P. 43600, México.

³Área Académica de Farmacia, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ex Hacienda la Concepción s/n, San Agustín Tlaxiaca 42160, Hidalgo, México.

⁴Frios TOTIS SA de CV, C/ Sur 4, 123, Tizayuca 43800, Hidalgo, México.

Received: February 28, 2024; Accepted: May 9, 2024

Abstract

Traditional extruded snacks are mainly made from cereal starch such as corn, rice, and wheat, being corn one of the most used, obtaining products with poor nutritional value. The search for new alternatives to improve the nutritional profile of these snacks involves, among other alternatives, the incorporation of pulses into corn-based extruded product formulations. Pulses provide an important content of protein, dietary fiber, minerals, and vitamins, as well as bioactive compounds such as polyphenols, and tannins, among others. The incorporation of pulses in corn extrudes is not only exempt from changes in its nutritional composition but also entails several changes in its technological and sensory attributes. Moreover, the evaluation of the health impact of these formulations still relies on *in vitro* studies. The objective of this review is to summarize the effect of the incorporation of pulses in corn-based extruded snacks on their physicochemical properties, sensory attributes, and their possible health impact.

Keywords: snack, extrusion, pulses, glycaemic index, protein, dietary fiber.

Resumen

Las botanas extrudidas tradicionales, están elaborados principalmente de almidón de cereales como el maíz, el arroz y el trigo, siendo el maíz el más usado dando lugar a productos con pobre valor nutricional. La búsqueda de nuevas alternativas que mejoren el perfil nutricional de este tipo de productos pasa entre otras alternativas, por la incorporación de legumbres a las formulaciones de productos extrudidos a base de maíz. Las legumbres pueden proveer un contenido importante de proteína, fibra dietética, minerales y vitaminas, además de compuestos bioactivos como son los polifenoles, taninos, entre otros. Esta incorporación junto al maíz no está exenta únicamente de cambios en su composición nutricional, sino que además conlleva una serie de cambios en sus atributos tecnológicos y sensoriales. Además, la evaluación del impacto en la salud aun recae en la aplicación de estudios *in vitro*. El objetivo de esta revisión es resumir el efecto de la incorporación de legumbres en aperitivos extrudidos a base de maíz sobre sus propiedades fisicoquímicas, atributos sensoriales y su posible impacto en la salud.

Palabras clave: botana, extrusión, legumbres, índice glucémico, proteína, fibra dietética.

*Corresponding author. E-mail: emsantos@uaeh.edu.mx;
<https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim24279>
ISSN:1665-2738, issn-e: 2395-8472

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DE UN EXTRUIDO COMERCIAL TIPO “PUFF”, EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS

2.1. INTRODUCCIÓN

Los productos extruidos son tradicionalmente elaborados con cereales como el maíz, el trigo y el arroz (Sharma et al., 2022; Félix-Medina et al. 2021; Limsangouan et al 2010). Estas materias primas son utilizadas principalmente por sus buenas propiedades a la hora de someterlo a extrusión y conseguir un producto tipo “puff” óptimo, consiguiendo una expansión adecuada, haciendo de estas materias primas las idóneas para conseguir un producto voluminoso, pero a la vez ligero. Lo que confiere a estas materias primas las características idóneas para ser utilizadas en este tipo de procesado industrial, es un alto contenido en carbohidratos, específicamente en almidón (Lai & Kokini, 1991). Además, el contenido de almidón de estas materias primas se eleva, debido a la eliminación previo al proceso de extrusión, del pericarpio y del germen, dejando únicamente el endospermo, donde se ubica principalmente el almidón (Robin et al., 2015). Durante la extrusión la mezcla de harinas con agua, el incremento de la temperatura y el daño mecánico facilita la gelatinización del almidón (Johnston et al., 2021; Moscicki, 2011). Con la temperatura los gránulos de almidón se hidratan y se hinchan hasta un volumen máximo, tras este pico, los gránulos se rompen en amilosa y amilopectina y se dispersan, formando un fluido viscoso. Tras salir este gel del extrusor por diferencia de presión, al equilibrarse con la presión atmosférica, las burbujas de aire comprimidas se expanden y la masa se solidifica (Patil et al., 2016; Riaz, 2000). Por lo que altos contenidos de almidón, van a facilitar la expansión de la masa y por lo tanto se obtienen productos voluminosos y ligeros (Robin et al., 2015).

Desde el punto de vista nutricional, el contenido elevado de almidón y bajo en otros nutrientes como son las proteínas, fibra dietética, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos (Korkerd et al., 2016; Freire, 2014), además de tener en cuenta la cobertura de grasa externa que se le aplica a este tipo de productos tras el proceso de extrusión, donde van incluido habitualmente saborizantes, colorantes y sal, hace de este, un producto pobre en nutrientes y con una elevada densidad calórica (Neder-Suarez et al., 2024; Jensen & Schwartz, 2021; Neder-Suarez et al., 2021b; Fardet, 2016).

Por ello la industria alimentaria, principalmente las fabricantes de botanas, buscan nuevas materias primas que mejoren principalmente el perfil nutrimental de estos productos. alguna de estas alternativas es la sustitución de parte de estas materias primas tradicionales, por materias primas con mayor contenido en fibra dietética, proteínas, compuestos bioactivos, etc. (Manosalvas et al., 2019; Brennan et al., 2013; Conti-Silva et al., 2012), con el fin de mejorar el perfil nutrimental, pero sin perder el aspecto esponjado, voluminoso y ligero de este tipo de botanas (Simons et al., 2015; Siddiq et al., 2013). La calidad de los productos extruidos se establece por el grado de expansión (Ainsworth, 2011).

Una de estas alternativas, es la utilización de legumbres, las cuales a la vez de ser más nutritivas que los cereales refinados tradicionales, son considerados sostenibles, debido a su facilidad para el crecimiento, favorecen la fijación de nitrógeno atmosférico, son poco exigentes para su crecimiento, necesitan poca cantidad de agua, además favorecen la rotación de cultivos (Bulgaru et al., 2025; Johnston et al., 2021; Hegazy et al., 2017). Desde el punto de vista nutricional, aportan una cantidad importante de proteínas (15-50%), fibra dietética (menos de un 20%), un contenido modesto de grasa (menos de un 20%), excepto el cacahuete y la soja, además de un aporte importante de minerales y compuestos bioactivos (Arribas et al., 2019b; Becerra-Tomás et al., 2018; Czubinski et al., 2018; Tazart et al., 2019; Hall et al., 2017; Melini et al., 2017). Un aspecto menos beneficioso es el contenido de antinutrientes, como son la vicina, convicina, ácido fítico, saponinas, inhibidores de proteasas, inhibidor de tripsina etc, los cuales reducen la biodisponibilidad de algunos nutrientes (Guan et al., 2023). Algunos de ellos son reducidos al aplicar tratamientos térmicos, como el cocido o la extrusión (Arribas et al., 2019b). Las legumbres en general son un producto asequible y fácil de adquirir (Monge et al., 2019; Drewnowski & Conrad, 2024; McCrory et al., 2010).

El garbanzo es una buena alternativa, debido a su elevado contenido en proteínas (19-27%) y fibra dietética total (4-24%) (Patil et al., 2024; Hall et al., 2017), además de tener algunas variedades cuyo color no es demasiado diferente al de la materia prima tradicional, pudiendo suavizar el aspecto de la botana con la incorporación de nuevas materias primas. En cuanto a la harina de chícharo también es una buena alternativa por su contenido proteico (14-31%) y de fibra dietética total (3-20%) que también son elevados (Hall et al., 2017).

Por lo tanto, el objetivo del presente capítulo fue caracterizar las materias primas de una botana extruida (harinas de garbanzo, arroz, maíz y chícharo) mediante análisis fisicoquímicos y evaluación de sus propiedades tecnológicas.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Materiales

Se utilizó maíz amarillo desgerminado (*Zea mays* L.) harina descascarada de garbanzo (*Cicer arietinum*) y la harina de arroz (*Oryza sativa*) y harina de chícharo (*Pisum sativum*) suministradas por una empresa local fabricante de botanas. Las muestras que no fueron proporcionadas en forma de harina, se molieron en un molino ciclónico (UDY Corporation, modelo 3010-030, EE. UU.) hasta obtener un tamaño de partícula de 0.5 mm. Aquellas proporcionadas en formato harina se tamizaron con un tamiz de 0.5 mm. Las muestras se almacenaron en recipientes de vidrio herméticos y protegidos de la luz.

2.2.2. Propiedades físicas

Para determinación de las propiedades físicas de las materias primas, se analizó la actividad de agua (A_w) y el color, realizando cada análisis por triplicado para cada una de las muestras.

a) Actividad de agua

La actividad de agua se determinó utilizando un equipo Aqualab Series 3 TE (Washington, EE. UU.). Las muestras en formato harina, se colocaron en cápsulas plásticas y se introdujeron en la cámara de medición, la cual se encontraba

herméticamente sellada y a temperatura controlada (25 ± 1 °C). El análisis se realizó por medición directa y por triplicado.

b) Color

Las muestras, previamente molidas, se analizaron por triplicado para determinar los parámetros de color CIEL*a*b* (L*: blancura/oscuridad; a*: rojo/verde; b*: amarillo/azul), utilizando un colorímetro MiniScan EZ 4500L (Hunter Associates Laboratory, VA, USA), bajo condiciones de iluminante estándar D65 y ángulo de observador de 10°. Los valores de saturación (Croma), Tono (Hue) y diferencia total de color (ΔE) se calcularon a partir de las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (2)$$

2.2.3. Propiedades tecnológicas

Para determinar las propiedades físicas de las materias primas, se analizó la densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de sólidos solubles, índice de absorción de aceite, capacidad de hinchamiento, actividad y estabilidad de emulsión, capacidad y estabilidad de espuma, sinéresis y concentración mínima de gelificación. Se analizó por triplicado para cada una de las muestras.

a) Densidad aparente (DA)

La densidad aparente se expresó en g/mL, según el método descrito por Okezie & Bello (1988). Las muestras de harina fueron introducidas en probetas de 10 mL, previamente taradas. La base de la probeta se golpeó suavemente contra una superficie fija repetidamente hasta que el volumen de la muestra no disminuyó de la marca de 10 mL, finalmente se tomó el peso. La densidad aparente se calculó como el peso de la muestra por unidad de volumen, ecuación (3).

$$\text{Densidad aparente (DA)} = \frac{\text{peso de la muestra (g)}}{\text{volumen del extruido (mL)}} \quad (3)$$

b) Índice de absorción de agua (IAA) e índice de sólidos solubles (ISS)

El índice de absorción de agua (IAA) y el índice de sólidos solubles (ISS) se determinó según los métodos descritos por Anderson et al. (1969) y Olguín-Arteaga et al. (2015). Para la determinación de IAA, se pesó 5 gramos de muestra en tubos de centrifuga de 50 mL, a los cuales se adicionaron 30 mL de agua destilada. La mezcla se agitó suavemente y se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm durante 15 min. La fase líquida (sobrenadante) se separó y se reservó para la determinación de ISS, mientras que la fase sólida se pesó y se expresó como el peso (g) de agua retenida por unidad de peso de muestra en base seca (g/g).

Para la determinación de ISS, el sobrenadante obtenido en la etapa de IAA se evaporó a 105 °C durante 6 h. El residuo seco resultante se expresó como porcentaje respecto al peso inicial de la muestra en base seca. Ambos análisis se realizaron por triplicado.

c) Índice de absorción de aceite (IAAC)

El parámetro se determinó según Mokhtar et al. (2018). Se mezcló 1 gramo de muestra con 6 mL de aceite vegetal y se agitó durante 30 segundos. La mezcla se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente. A continuación, se centrifugó a 3000 rpm durante 30 min y se midió el volumen del sobrenadante. La capacidad de absorción de aceite se expresó en mililitros de aceite por gramo de muestra en base seca.

d) Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento se determinó siguiendo el método descrito por Amiri et al. (2009) y Mokhtar et al. (2018). Se colocó una muestra de 3 gramos en una probeta graduada de 50 mL, se golpeó suavemente y se registró su volumen. Después de mezclar con 30 mL de agua destilada y se dejó reposar

durante 60 min, se midió el volumen final. La capacidad de hinchamiento se calculó en múltiplos del volumen inicial.

e) Actividad de emulsión

La actividad de emulsión se determinó según Lopera-Cardona et al. (2016), con algunas modificaciones. En un tubo para centrífuga se preparó 20 mL de una suspensión acuosa de harina (10 % p/v) a 1000 rpm durante 30 segundos en un homogenizador IKA-Ultraturrax T18-S1 (Wilmington, EE. UU.), posteriormente se aceleró hasta los 24000 rpm durante 5 min añadió 20 mL de aceite progresivamente hasta obtener una emulsión homogénea. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 min y a continuación, se centrifugó a 3500 rpm durante 25 min.

La actividad de emulsión se expresó como el porcentaje de altura de la capa emulsionada respecto a la altura total (Chandra et al., 2015).

f) Estabilidad de emulsión (EE)

Para determinar la estabilidad de emulsión, la emulsión obtenida en el punto e), se calentó a 85 ± 3 °C. durante 15 min y se dejó durante 30 min a temperatura ambiente. Se expresó como el porcentaje de AE restante después del calentamiento.

g) Capacidad de espuma (CE) y estabilidad de espuma (EES)

Se determinó la capacidad y estabilidad de espuma según Kaur & Singh (2005) y Lin et al. (1974), con las modificaciones propuestas por Lopera-Cardona et al. (2016). Para ello, tomaron 20 mL de suspensión acuosa al 15% (p/v) y se sometió a una agitación intensa a 18000 rpm durante 3 min, en un homogeneizador IKA-Ultraturrax T18-S1 (Wilmington, EE. UU.). CE se expresó como el porcentaje de incremento de volumen debido al batido.

La EE se determinó como el cambio de volumen de espuma tras 80 min en reposo. Se expresó como el porcentaje de cambio de volumen de la espuma respecto al volumen obtenido en CE.

h) Sinéresis (SYN)

La sinéresis se determinó según Lopera-Cardona et al. (2016). Se prepararon 5 mL de suspensión acuosa a 14% (p/v) a 60 °C y se registró el peso. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se almacenó a 8 °C durante 48 h. Posteriormente se centrifugó a 1650 rpm durante 15 min y se desechó el sobrenadante. El parámetro sinéresis se calculó como el porcentaje de agua liberada tras la retirada del sobrenadante.

i) Concentración mínima de gelificación (CMG)

La concentración mínima de gelificación (CMG) se estimó según el método propuesto por Sathe et al. (1982). Para ello, se prepararon suspensiones de harina en agua destilada a concentraciones crecientes, en múltiplos de dos, desde 2% hasta 20% (p/v). De cada suspensión se tomaron 5 mL, los cuales se calentaron a 95 ± 2 °C durante 1 h en un baño de agua en ebullición. Posteriormente, las muestras se enfriaron rápidamente con agua a temperatura ambiente y se almacenaron durante 2 h a 4 ± 2 °C. La CMG se estimó mediante inspección visual, definiéndose como la menor concentración a partir de la cual la muestra no se deslizó ni se escurre al invertir el tubo de ensayo. Además, los geles formados fueron caracterizados visualmente según su firmeza, clasificándolos como: sin formación de gel (-), gel móvil (+/-), gel firme (+)

2.2.4. Composición química

Para determinar las propiedades químicas de las materias primas, se analizó la humedad, grasa, proteína total, fibra dietética, ceniza, carbohidratos, ácido fítico, contenido de minerales y perfil de aminoácidos, realizando cada análisis por triplicado para cada una de las muestras.

a) Humedad

El contenido de humedad de las harinas se determinó siguiendo el método 925.10 de determinación de humedad de la Association of Analytical Communities (AOAC, 2005). Se pesó una muestra de 2.000 ± 0.001 g y se secó a 105 °C hasta obtener un peso constante.

b) Grasa

El contenido total de grasa de las harinas se determinó extrayendo el contenido de grasa con éter de petróleo durante 6 h en un equipo Soxhlet operado en batería (AOAC, 2005, método 945.16).

c) Proteína total

Se utilizó el método 920.87 (AOAC, 2005) para determinar el contenido de nitrógeno mediante el método Kjeldahl. El contenido de proteína total se cuantificó multiplicando el contenido de nitrógeno por 6.25.

d) Ceniza

El contenido de cenizas se determinó incinerando las muestras en un horno mufla a 550 °C durante 5 h (AOAC, 2005, método 923.03).

e) Fibra dietética (FD)

Los contenidos de fibra dietética total (FDT), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) se determinaron utilizando el kit de análisis dietético TDF-100A (Sigma-Aldrich, St. Louis, EE. UU.), de acuerdo con las instrucciones del fabricante, basadas en los métodos oficiales AOAC 960.52 y 985.29 (AOAC, 1997). La metodología se fundamenta en una digestión enzimática secuencial de la muestra, con el objetivo de eliminar los componentes digeribles y aislar el residuo no digerible, compuesto por fibra, cenizas y proteínas. Posteriormente, se cuantifican las fracciones de ceniza y proteína para estimar el contenido final de FDT y FDI. La FDS se calculó por diferencia entre ambas.

Para el análisis, se pesaron 1.00 ± 0.02 g de muestra seca en vasos de precipitado de 600 mL y se diluyeron en 50 mL de tampón fosfato (pH 6.0). Se adicionaron 0.1 mL de α -amilasa (20,000–60,000 U/mL; A3306, Sigma-Aldrich) y se incubó la mezcla en un baño de agua a 95 °C con agitación durante 15 min. Una vez enfriada a temperatura ambiente, se ajustó el pH a 7.5 ± 0.2 con NaOH 0.275 N, y se agregó 0.1 mL de proteasa (50 mg/mL; P3910, Sigma-Aldrich), incubando a 60 °C durante 30 min con agitación constante.

Después de enfriar nuevamente, se ajustó el pH a 4.0–4.6 con HCl 0.325 M, y se añadió 0.1 mL de amiloglucosidasa (A9913, Sigma-Aldrich), incubando a 60 °C por otros 30 min con agitación. Para la determinación de FDT, se adicionó cuatro volúmenes de etanol al 95% para precipitar la fibra soluble, y se dejó reposar la mezcla a temperatura ambiente durante una noche. Para la determinación de FDI, este paso de precipitación con etanol se omitió.

Posteriormente, se realizó la filtración al vacío utilizando crisoles con filtros integrados, sobre los cuales se aplicó 0.5 g de celita para mejorar la eficiencia del filtrado. Las muestras se lavaron secuencialmente con 20 mL de etanol al 78%, 10 mL de etanol al 95% y 10 mL de acetona. El residuo obtenido se secó en estufa a 105 °C durante una noche y se pesó al día siguiente, obteniéndose el valor denominado "W2" (Residuo + Celita + Crisol).

Para la corrección por ceniza, dos de las réplicas se incineraron en mufla a 525 °C durante 5 h. Posteriormente, se enfrió en un desecador y se pesó para obtener "W3" (Ceniza + Celita + Crisol). La tercera réplica se utilizó para la determinación del contenido de proteína, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado (c).

La fibra dietética insoluble (FDI) y la fibra dietética total (FDT) se calculó utilizando las siguientes ecuaciones (4-8):

$$\text{Peso de residuo} = W_2 - W_1 \quad (4)$$

$$\text{Peso de cenizas} = W_3 - W_1 \quad (5)$$

$$B = R_{\text{Blanco}} - P_{\text{Blanco}} - C_{\text{Blanco}} \quad (6)$$

$$\% \text{ FDT or FDI} = [R_{\text{Muestra}} - P_{\text{muestra}} - C_{\text{muestra}} - B]/M \times 100 \quad (7)$$

$$\% SDF = \% TDF - \% IDF \quad (8)$$

Dónde: W_1 = Celita + Peso recipiente

W_2 = Residuo + Celita + Peso recipiente

W_3 = Ceniza + Celita + Peso recipiente

R = Peso medio del residuo (mg)

P = Peso medio de la proteína (mg)

A = Peso medio de la ceniza (mg)

M = Peso medio de la muestra (mg)

Para la determinación FDS, se hizo por diferencia.

f) Carbohidratos

Se calculó por diferencia.

g) Ácido fítico

El contenido de ácido fítico se determinó siguiendo la metodología descrita por Muñoz-Llades et al. (2023). En tubos de centrífuga de 50 mL, se pesaron 0.5 g de muestra y se adicionaron 10 mL de solución de HCl al 3.5%. La mezcla se sometió a agitación mecánica constante durante 1 h, y posteriormente se centrifugó a 10,000 rpm durante 10 min.

La curva de calibración se preparó utilizando fitato de sodio (1 mg/mL). Para cada muestra y punto de la curva, se tomó 200 μ L del extracto, a los que se añadieron 2.8 mL de agua destilada y 1 mL del reactivo de Wade (preparado con 30 mg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 300 mg de ácido sulfosalicílico y 100 mL de agua destilada). La mezcla se analizó midiendo la absorbancia a 500 nm.

Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de fitato de sodio (SPE) por gramo de muestra.

h) Contenido de minerales

El contenido mineral se determinó de acuerdo con Lorenzo et al. (2015) en el Centro Tecnológico da Carne (Ourense, España) según el procedimiento:

Se pesaron 5.000 ± 0.001 g en crisoles de porcelana, los cuales se sometieron a incineración en horno mufla a 450 °C durante 12 h. Las cenizas se disolvieron en 10 mL de HNO₃ 1 M.

La cuantificación de los elementos minerales (Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Zn y Cu) se realizó mediante espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) utilizando un espectrómetro de emisión de plasma Thermo-Fisher ICAP 6000 (Thermo-Fisher, Cambridge, Reino Unido). El valor final de cada elemento se obtuvo calculando el promedio de tres determinaciones y se expresó como miligramos por cada 100 g de muestra seca.

i) Perfil de aminoácidos

La hidrólisis de proteínas, la derivatización y la identificación del hidrolizado se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito por Lorenzo et al. (2011). La determinación de triptófano no fue posible ya que la hidrólisis ácida lo transforma en amonio (Lorenzo et al., 2011). La hidrólisis se realizó tomando 100 mg de muestra seca y se le añadió 5 mL de ácido clorhídrico (6 N) en una ampolla sellada y se mantuvo a 110 °C durante 24 h. Tras la hidrólisis la solución se diluyó en 200 mL de agua destilada y se sometió a filtrado utilizando un tamaño de poro de 0.45 µm (Walters Corporation, USA). La derivatización de los estándares y de las muestras se inició añadiendo 20 µL del reactivo Reagent Powder, tras 1 min en reposo, se mantuvo a 55 °C durante 10 min. El análisis se realizó mediante HPLC (modelo Alliance 2695, Waters, Milford, MA) con detector de fluorescencia de barrido (modelo 2475, Waters). Las separaciones se realizaron utilizando una columna Waters AccQ-Tag (3.9 × 150 mm, 4 µm de tamaño de partícula), con un caudal de 1.0 mL/min y a una temperatura constante de 37 °C. El perfil de gradiente y la composición de la fase móvil se adaptó de la metodología desarrollada por Van Wandelen & Cohen (1997). La detección se realizó por

fluorescencia con excitación a 250 nm y emisión a 395 nm. Los datos sobre la composición de aminoácidos se expresaron en mg/100 g de proteína en base húmeda.

2.2.5. Propiedades antioxidantes (Aox)

Se realizó mediante pruebas espectrofotométricas para la cuantificación de polifenoles totales, y para la determinación de la actividad antioxidante mediante las pruebas de DPPH, ABTS y FRAP.

a) Extracción de componentes fitoquímicos

Previo a la determinación de polifenoles totales y la actividad antioxidantes, los compuestos fitoquímicos se extrajeron siguiendo la metodología descrita por Rico et al. (2021). Se pesaron 0.5 g de muestra (con un tamaño de partícula ≤ 0.5 mm) y se mezclaron con 10 mL de metanol:agua (1:1, v/v; acidificada a pH 2 con HCl 1 N) en un agitador orbital a 25 °C, 250 rpm durante 1 h. La mezcla se centrifugó a 3500 rpm durante 10 min a 25 °C, se recuperó el sobrenadante y se filtró mediante papel Whatman n.º 1.

El residuo sólido se sometió a una segunda extracción con 10 mL de metanol puro bajo las mismas condiciones de agitación. Las fracciones de metanol se combinan, se filtran nuevamente (papel Whatman n.º 1) y el volumen final del sobrenadante se ajustó a 25 mL con metanol. Las alícuotas del extracto se almacenaron a -18 °C hasta su análisis. Todas las extracciones se realizaron por triplicado

b) Contenido de polifenoles totales (PT)

La determinación de los polifenoles totales (PT) se realizó en los extractos siguiendo el método descrito por Stintzing et al. (2005). El contenido de PT se expresó como miligramos de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 gramos de muestra en base seca.

Se colocaron 200 µL del extracto en un tubo Eppendorf topacio de 1.5 mL, a los que se añadieron 500 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu y 400 µL de Na₂CO₃. La

mezcla se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, fueron transferidos 200 μ L de la mezcla a una microplaca, y se midió la absorbancia a 765 nm.

La curva de calibración se elaboró utilizando ácido gálico (0.3 mg/mL) como estándar, replicando las mismas condiciones en los extractos.

c) Actividad antioxidante (AoxA)

El ensayo de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) se utilizó para la determinación de AoxA en los extractos de las harinas, siguiendo el método descrito por Morales & Jiménez-Pérez et al. (1995), con algunas modificaciones.

El radical DPPH se preparó disolviendo 15 mg del radical en 25 mL de metanol-agua. Una vez preparada la solución madre se diluyó 1:10 obteniendo una concentración 60 mg/mL.

Se añadió 20 μ L de extracto en una microplaca y posteriormente se le adicionó 180 μ L de solución DPPH. Se dejó reposar en oscuridad durante 40 min y se realizó la lectura a 515 nm.

El estándar de Trolox se elaboró pesando 3.13 mg de Trolox y disolviéndolo en 25 mL de metanol-agua (80:20) quedando en una concentración de 500 μ mol Trolox/mL. La curva de calibración se realizó con Trolox (500 μ mol Trolox/mL) en diferentes concentraciones con metanol-agua (80:20), replicando las mismas condiciones que en los extractos.

La AoxA con DPPH se expresa como miligramos de equivalentes de Trolox (ET) en 100 gramos de muestra seca.

Para la determinación de la actividad antioxidante en las harinas aplicó el ensayo 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico ácido (ABTS) siguiendo la metodología descrita por Londoño (2012) con algunas modificaciones.

El radical ABTS se preparó disolviendo 96 mg del radical en 25 mL de agua destilada, y 26 mg de persulfato de potasio en condiciones de oscuridad, dejándolo en agitación durante 2 h. Posteriormente se dejó en reposo durante 16 h y se ajustó a 750 nm con agua destilada, hasta obtener unas absorbancias de 0.7 ± 0.05 nm. Se añadió 20 μ L de extracto en una microplaca y posteriormente se le adicionó 280 μ L de solución ABTS e inmediatamente se leyó en bucle cinético cada 3 min, por 10 ciclos a 750 nm.

El estándar de Trolox se elaboró pesando 3.13 mg de Trolox y disolvió en 25 mL de metanol-agua (80:20) quedando en una concentración de 500 μ mol Trolox/mL. La curva de calibración se elaboró utilizando el Trolox (500 μ mol Trolox/mL) en diferentes concentraciones con metanol-agua (80:20), replicando las mismas condiciones que en los extractos.

Todas las determinaciones de PT y AoxA se realizaron por triplicado.

2.2.6. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) y las correlaciones de Pearson entre las diferentes propiedades de las harinas, se realizaron con Statgraphics Centurion XIX versión 19.6.02 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, EE. UU.). Se utilizó la prueba de Tukey para comparar los valores medios con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Propiedades físicas

a) Actividad de agua (A_w)

En la Tabla 6 se presentan los resultados de las propiedades físicas de las harinas analizadas. La actividad de agua (A_w) osciló entre 0.282 ± 0.001 y 0.471 ± 0.001 , siendo la harina de chícharo la que mostró el valor más alto, mientras que la harina de arroz presentó el valor más bajo. Los alimentos con bajo contenido de humedad (menor al 20%) y una actividad de agua inferior a 0.60 son considerados microbiológicamente estables, siempre que se mantengan en condiciones

adecuadas de almacenamiento (Morita et al., 2005). En este sentido, las cuatro harinas evaluadas presentan valores de A_w y humedad que garantizan su estabilidad frente al crecimiento microbiano, además de reducir la velocidad de reacciones enzimáticas y químicas (Aguilar-Raymundo et al., 2016; Angulo-Bejarano et al., 2008). Los valores obtenidos para la harina de garbanzo fueron ligeramente inferiores a los reportados por otros autores, como Angulo-Bejarano et al. (2008), quienes informaron un rango de 0.42 a 0.46.

Tabla 6. Parámetros físicos de las harinas

PARÁMETROS FÍSICOS	HARINAS			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Actividad de agua, A_w	0.471 ± 0.001^a	0.389 ± 0.009^b	0.379 ± 0.001^c	0.282 ± 0.001^d
L^*	80.48 ± 1.1^c	88.98 ± 0.44^b	88.44 ± 0.07^b	93.97 ± 0.57^a
a^*	-4.90 ± 0.08^d	1.89 ± 0.15^b	2.08 ± 0.06^a	-0.10 ± 0.00^c
b^*	22.49 ± 0.46^a	20.19 ± 0.77^b	22.77 ± 0.05^a	5.44 ± 0.06^c
Chroma	22.65 ± 23.02^a	20.28 ± 0.78^b	22.86 ± 0.04^a	5.44 ± 0.06^c
ΔE	10.61 ± 0.85^b	2.68 ± 0.65^c	-	18.32 ± 0.13^a

Valores medios (n=3) $\pm$ desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey.

b) Color

El análisis de los atributos de color en productos vegetales es fundamental en el desarrollo de alimentos, ya que influye tanto en la formulación de productos como en la percepción y aceptación por parte del consumidor (Bulgaru et al., 2025). En este sentido, el color de las materias primas afecta directamente al color final de los productos extruidos, lo cual repercute en la aceptabilidad de botanas. En la Tabla 6, se presentan los resultados del análisis de color basados en el espacio CIE $L^* a^* b^*$, donde L^* es la luminosidad (0-100), a^* es verde-rojo (-128 a 127) y azul-amarillo b^* (-128 a 127) mientras que en la Figura 7 se muestra la apariencia visual de las diferentes harinas. También se determinó saturación Chroma (0-100), y diferencia total de color (ΔE).

Se observó que L^* varió de 80.48 ± 1.1 a 93.97 ± 0.57 , siendo la harina de arroz la que mayor luminosidad presentó y la harina de chícharo la que menos.

En cuanto color rojo-verde (a^*) varió de -4.90 ± 0.08 a 2.08 ± 0.06 , siendo la harina de maíz la que mayor rojez obtuvo y la harina de chícharo fue la que menos a^* obtuvo, incluso teniendo resultados negativos, lo que evidencia tonos verdes.

En lo referente a b^* , los resultados obtenidos variaron de 5.44 ± 0.06 a 22.77 ± 0.05 , siendo la harina de maíz la que mayor tono amarillo obtuvo, y la harina de arroz la que menos.

Para croma (saturación) los resultados variaron de 5.44 ± 0.06 a 22.86 ± 0.04 , siendo la harina de maíz la que mayor saturación presentó y la harina de arroz la que menos.

Los resultados obtenidos en la diferencia de color total (ΔE) de las harinas respecto a la harina de maíz, fue la siguiente, la harina de arroz fue más se diferenció de la harina de maíz ($\Delta E=18.32 \pm 0.13$), seguida de la harina de chícharo ($\Delta E=10.61 \pm 0.85$) y por último la harina de garbanzo fue la que menos diferencias presentó respecto a la harina de maíz ($\Delta E=2.68 \pm 0.65$).



Figura 7. Apariencia visual de las harinas. A: harina de chícharo, B: harina de garbanzo; C: harina de maíz, D: harina de arroz

Los valores de color de la harina de chícharo en este estudio fueron mayores en L^* (75.99-77.09), dentro del rango de a^* (-6.41 a -2.98) e inferiores en b^* (23.94-

27.40) al compararlos con los resultados reportados por Gonzalez et al. (2020). Cacak-Pietrzak et al. (2024) reportaron niveles de L^* (82.33) y b^* (18.28) semejantes a este estudio, siendo menores en a^* (1.56).

Por lo que los resultados obtenidos son comparables entre ellos, teniendo colores menos amarillentos y rojizos comparando los resultados de este estudio con el de otros autores (Cacak-Pietrzak et al. 2024; Gonzalez et al. 2020).

Los valores de color obtenidos para la harina de garbanzo en este estudio se caracterizaron por ser más altos en L^* (60.66–66.76), más bajos en a^* (3.02–5.30) y similares en b^* (21.33–24.18) en comparación con los reportados por Aguilar-Raymundo et al. (2016).

En el trabajo de Bulgaru et al. (2025), se reportó un valor de L^* similar (90.59), un valor de a^* superior (–1.00), y valores similares tanto en b^* (19.64) como en Chroma (19.64).

Por su parte, Kaur & Singh (2005) reportaron valores de L^* ligeramente inferiores (81.64–85.41) a los de este estudio, mientras que los valores de a^* (–1.10 a –0.72) fueron más bajos. Los valores de b^* (14.12–20.75) fueron, en general, similares.

En la investigación de Ma et al. (2011), todos los parámetros de color fueron inferiores a los obtenidos en este trabajo, con valores de L^* entre 59.01 y 62.77, a^* entre –0.72 y –0.50, y b^* entre 11.87 y 13.21.

Finalmente, Ravi & Harte (2009) reportaron valores muy similares a los de este estudio en todos los parámetros evaluados: L^* (86.90–87.43), a^* (0.74–1.23), b^* (17.37–17.96) y Chroma (17.39–17.96), lo que indica una alta concordancia con los resultados de este estudio.

En general los datos en cuanto al color de la harina de garbanzo de este trabajo son similares a los de otros autores. Se observaron similitudes en los parámetros b^* y Chroma, mientras que los valores de L^* y a^* variaron según el estudio. Algunos trabajos reportan valores más altos o más bajos en estos parámetros, pero

en varios casos los resultados son comparables, por lo que respaldan la consistencia de los datos obtenidos en esta investigación.

En relación con los resultados de color de la harina de maíz, los valores obtenidos en este estudio fueron más altos en L^* (63.70) y en a^* (-3.57), mientras que en b^* (27.8) fueron menores en comparación con los reportados por Singh et al. (2009).

Por otro lado, al comparar con el estudio de Moreira et al. (2015), se observó que sus valores de L^* (52.09) y a^* (1.48) fueron inferiores, mientras que el valor de b^* (34.12) fue mayor al obtenido en esta investigación.

En general los resultados obtenidos para la harina de maíz, tuvo mayor luminosidad, mayor color rojo y valores menos amarillos que los reportados por otros autores.

En cuanto a los resultados de color obtenidos de la harina de arroz, fueron semejantes a los reportados por Kraithong & Rawdkuen (2018), siendo L^* (94.98), a^* (-0.02) y b^* (5.15). En Wesley et al. (2021), los resultados también fueron similares siendo L^* (91.13), a^* (-0.10) y b^* (6.16). En Ronie et al. (2022) los resultados fueron muy semejantes a los reportados en este estudio L^* (93.62), a^* (-0.15) y b^* (5.27).

Los resultados de color obtenidos para la harina de arroz en este estudio fueron consistentes con los reportados en la literatura. Estudios previos de Ronie et al. (2022), Wesley et al. (2021) y Kraithong & Rawdkuen (2018) mostraron valores similares en los parámetros L^* , a^* y b^* , lo que indica una alta concordancia en la caracterización del color de este tipo de harina.

En definitiva, la incorporación de distintas harinas en formulaciones de botanas extruidas de maíz genera variaciones en las propiedades de color, independientemente del efecto posterior del proceso de extrusión. La harina de garbanzo presenta valores de luminosidad (L^*) similares a los de la harina de maíz, junto con una menor intensidad en los componentes rojo (a^*) y amarillo (b^*). En el caso de la harina de arroz, se observa un incremento en la luminosidad

(L^*), acompañado de una disminución en el componente rojo (a^*) y de tonalidades amarillas menos intensas (b^*), respecto a la harina de maíz. Por su parte, la harina de chícharo reduce la luminosidad (L^*), disminuye el componente rojo (a^*), aportando una tendencia hacia el color verde, y mantiene valores de amarillo (b^*) semejantes a los del maíz. En cuanto a la diferencia global de color (ΔE), la harina de garbanzo resulta la más semejante a la de maíz, seguida por la de chícharo, mientras que la harina de arroz presenta la mayor divergencia (Tabla 6). En conjunto, estos resultados sugieren que la incorporación de harina de garbanzo no modifica significativamente la luminosidad (L^*), mientras que el efecto de la harina de arroz sobre este parámetro dependería, en mayor medida, de la proporción de harina de chícharo incluida en la formulación.

2.3.2. Propiedades tecnológicas

En la Tabla 7, se presentan los resultados de los parámetros tecnológicos evaluados en las materias primas analizadas.

La densidad aparente de las harinas proporciona una indicación de la densidad de la harina y describe su compacidad, lo cual influye en la sensación en boca y en la textura de los productos alimenticios. Habitualmente las harinas de alta densidad son fáciles de dispensar, debido a que facilitan el envasado, almacenamiento y el transporte, ya que ocupan menos volumen por unidad de masa. Además, pueden ser utilizados como espesantes en productos alimenticios y para facilitar la dispersión en fase acuosa. En cambio, harinas con baja densidad aparente resultan más adecuadas en productos dirigidos a la alimentación infantil, como papillas o alimentos para el destete, ya que, tras la gelatinización del almidón, generan productos con texturas suaves y baja viscosidad, lo que favorece su digestión y aceptabilidad (Achal et al., 2025; Toor et al., 2022; Di Cairano et al., 2020; Summo et al., 2019; Du et al., 2014; Nicole et al., 2010).

En el presente estudio, la harina de maíz mostró el mayor valor de densidad aparente, con 0.80 ± 0.01 g/mL, mientras que la harina de garbanzo presentó el valor más bajo (0.62 ± 0.01 g/mL).

Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado en la literatura. Sin embargo, Angulo-Bejarano et al. (2008) informaron un valor de 0.41 ± 0.01 g/mL para harina de garbanzo, notablemente inferior al obtenido en este estudio. Dhillon et al. (2022) reportaron un valor de 0.63 ± 0.00 g/mL, muy similar al observado en este estudio para la harina de garbanzo. De manera similar, Di Cairano et al. (2020) encontraron valores de 0.73 ± 0.02 g/mL para harina de arroz y 0.55 ± 0.01 g/mL para harina de garbanzo.

Otros estudios muestran cierta variabilidad, posiblemente atribuible a diferencias en las variedades utilizadas, el tamaño de partícula o el tratamiento previo. Jagannadham et al. (2014) reportaron mayores niveles de densidad aparente para la harina de garbanzo (0.78 ± 0.02 g/mL), mientras que Kaur & Singh (2005) estudiaron distintas variedades, con valores de 0.536 y 0.571 g/mL niveles inferiores a los reportados en este trabajo, concluyendo además que las harinas de tipo Kabuli presentan mayor densidad que las del tipo Desi.

En Summo et al. (2019) se reportó una densidad aparente más elevada que en este estudio 0.79 ± 0.0 g/mL, y concluyendo que, a menor tamaño de los garbanzos, mayor es la densidad aparente y viceversa. En el estudio de Du et al. (2014), el valor fue algo más bajo que en este trabajo (0.573 ± 0.00 g/mL). De Angelis et al. (2021) indicaron densidades de 0.70 ± 0.02 g/mL para harina de chícharo y 0.63 ± 0.01 g/mL para harina de garbanzo, siendo este último valor muy similar al obtenido en este trabajo.

Sin embargo, otros autores reportan valores notablemente más elevados. Ettoumi & Chibane (2015) informaron densidades de 1.09 ± 0.00 g/mL para harina de garbanzo y 0.99 ± 0.00 g/mL para harina de chícharo. De manera similar, Wani & Kumar (2014) reportaron un valor de 0.90 ± 0.01 g/mL para harina de garbanzo, y un valor idéntico al de este estudio para chícharo (0.79 ± 0.07 g/mL).

En cuanto a la harina de maíz Tambo Tene et al. (2019), reporta una DA más elevadas que en este estudio, siendo de 0.83 g/mL. En el caso de la harina de arroz, Achalu et al. (2025) reportaron una DA más elevada, siendo de 0.917 ± 0.14 g/mL y Kraithong & Rawdkuen (2018) reportaron niveles más bajos de DA 0.80 ± 0.01

g/mL, además concluyeron que el mayor tamaño de partícula de la harina de arroz favorece valores más altos de densidad aparente.

Tabla 7. Parámetros tecnológicos de las harinas

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS	HARINAS			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Índice de absorción de agua, IAA (g H ₂ O/g de muestra)	0.96 ± 0.01 ^c	5.90 ± 0.05 ^a	1.36 ± 0.02 ^b	1.37 ± 0.09 ^b
Índice de sólidos solubles, ISS (%)	21.72 ± 0.76 ^b	25.66 ± 0.77 ^a	2.49 ± 0.06 ^c	2.38 ± 0.18 ^c
Índice de absorción de aceite, IAAC (mL de aceite/g muestra seca)	1.74 ± 0.05 ^a	1.62 ± 0.05 ^b	1.44 ± 0.05 ^c	1.47 ± 0.06 ^c
Capacidad de hinchamiento, CH (mL/g)	7.41 ± 0.51 ^a	5.22 ± 0.05 ^c	6.94 ± 0.30 ^a	6.37 ± 0.06 ^b
Densidad aparente, DA (g/mL)	0.79 ± 0.00 ^a	0.62 ± 0.01 ^c	0.74 ± 0.00 ^b	0.80 ± 0.01 ^a
Actividad de emulsión, AE (% V)	53.53 ± 0.35 ^a	42.97 ± 1.61 ^b	6.72 ± 0.68 ^c	2.01 ± 0.69 ^d
Estabilidad de emulsión, EE (% V)	86.75 ± 3.03 ^c	97.20 ± 2.78 ^c	150 ± 10 ^b	183.33 ± 28.87 ^a
Capacidad de espuma, CE (% V)	21.90 ± 3.07 ^a	27.57 ± 6.49 ^a	4.10 ± 2.02 ^b	9.15 ± 1.13 ^b
Estabilidad de espuma, EES (% V)	69.53 ± 26.61	77.51 ± 13.11	55.56 ± 50.92	21.67 ± 2.89
Sinéresis, SYN (% H ₂ O)	68.03 ± 0.47 ^b	70.48 ± 0.43 ^a	64.59 ± 0.42 ^c	64.17 ± 0.49 ^c
Concentraci n mínima de gelificación CMG (% p/v)	Gel móvil	6 ^a	6 ^a	4 ^b
	Gel estable	14 ^a	8 ^c	6 ^d

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey.

En cuanto a la harina de maíz, Tambo Tene et al. (2019) reportaron una densidad aparente de 0.83 g/mL, superior a la obtenida en este estudio. Para la harina de arroz, Achalu et al. (2025) registraron un valor aún más alto (0.917 ± 0.14 g/mL), mientras que Kraithong & Rawdkuen (2018) informaron un valor similar al de este trabajo (0.80 ± 0.01 g/mL), destacando que un mayor tamaño de partícula puede contribuir a una densidad aparente más alta en la harina de arroz (Ye et al., 2016).

Las diferencias obtenidas con otros autores, pueden deberse a la granulometría, las condiciones de molienda y la presencia de lípidos, que pueden afectar a la aglomeración de las partículas de las harinas, influyendo en su densidad aparente (Di Cairano et al., 2020; Adebiyi et al., 2017; Kaur et al. 2015). En este estudio se reporta correlación negativa entre DA y el contenido graso de las muestras ($r = -0.8441$, $p < 0.01$) (Tabla 8).

Los resultados obtenidos no denotan grandes diferencias entre las harinas, además de requerir menos espacio de almacenamiento las harinas con mayor densidad aparente, en el caso de las harinas con bajas densidades aparentes, presentan mayor porosidad y área superficial específica que mejora la interacción con las moléculas de agua (Pismag et al., 2024)

El índice de absorción de agua (IAA) mide el volumen que ocupa el almidón tras su hinchamiento en presencia de agua. Este parámetro proporciona una indicación de la integridad del almidón en dispersiones acuosas y, por tanto, se asocia estrechamente con su capacidad de gelificación (Du et al., 2014). IAA no se encuentra únicamente asociado al almidón, sino también con la hidrofilia y la capacidad de gelificación de biomacromoléculas como son las proteínas (Kaur & Singh, 2005). Por ello, en harinas de legumbres, que presentan una mayor diversidad composicional que otros tipos de harinas, pueden generarse distintas interacciones con el agua, lo que implica que el IAA no se explique únicamente por la absorción de agua por parte del almidón (Du et al., 2014).

En el presente estudio, el mayor IAA se observó en la harina de garbanzo (5.90 ± 0.05 g H₂O/g muestra), mientras que la harina de chícharo mostró el valor más bajo (0.96 ± 0.01 g H₂O/g muestra). La variación en este índice puede atribuirse, entre otros factores, a la mayor o menor exposición superficial de residuos de aminoácidos polares presentes en las proteínas, que facilitan la interacción con moléculas de agua (Bulgaru et al., 2025; Dhillon et al., 2022). Asimismo, componentes hidrófilos como polisacáridos y fibra soluble también contribuyen a la capacidad de hidratación (Ettoumi & Chibane, 2015; Kaur et al., 2015), principalmente debido a la ruptura de enlaces de hidrógeno intra e

intermoleculares, que conduce a estructuras menos ordenadas y a la liberación de grupos hidroxilo con alta capacidad de retención de agua (Carcelli et al., 2020)

Otro factor importante es el contenido graso, ya que una menor cantidad de grasa, por ser este un componente hidrófobo, se asocia con un mayor IAA (Kraithong & Rawdkuen, 2018; Jagannadham et al., 2014; Wani & Kumar, 2014), aunque en este estudio no se reportó correlación significativa entre ambos parámetros.

Mayores tamaños de partícula, se traduce en menores niveles de almidón dañado, por lo que podría favorecer mayores IAA y por lo tanto mayor capacidad de gelatinización (Eze et al., 2024; Summo et al., 2019), no siendo un factor que afecte este estudio al tener el mismo tamaño de partículas todas las harinas analizadas. El alto contenido de proteínas y carbohidratos fomentan uniones fuertes de hidrogeno lo que favorece la unión con el agua, incrementado IAA (Patil et al., 2020; Kraithong & Rawdkuen, 2018). Esto último explica los altos niveles de IAA en la harina de garbanzo, pero no los resultados obtenidos en la harina de chícharo. En resumen, el índice de absorción de agua va a depender de la naturaleza, variedad, composición, tratamiento aplicado de la muestra (Tambo Tene et al., 2019).

Varios autores han reportado valores similares o diferentes a los observados en el presente trabajo. Por ejemplo, en harina de legumbres, Aguilar-Raymundo et al. (2016) informaron valores de IAA en harina de garbanzo similares a los de este estudio (5.92–6.16 g H₂O/g muestra), mientras que Angulo-Bejarano et al. (2008) reportaron niveles más bajos (2.20 ± 0.04 g H₂O/g). De igual forma, Kaur & Singh (2005) registraron valores de 2.39 y 2.66 g H₂O/g en diferentes variedades de garbanzo, también inferiores a los aquí obtenidos. Summo et al. (2019) observaron un valor de IAA más bajo, de 4.1 ± 0.3 g H₂O/g, y Du et al. (2014) reportaron un valor ligeramente más alto (6.13 ± 0.02 g H₂O/g), ambos en harina de garbanzo. Por su parte, De Angelis et al. (2021) informaron valores de 3.89 ± 0.12 g H₂O/g para chícharo y 4.44 ± 0.05 g H₂O/g para garbanzo, siendo elevados para la harina de chícharo e inferiores para la harina de garbanzo al compararlos con los registrados en el presente estudio. Tas et al. (2022) señalaron un IAA bajo en

harina de garbanzo (1.65 ± 0.00 g H₂O/g) y más elevado en harina de chícharo (3.20 ± 0.00 g H₂O/g).

En relación con la harina de maíz, Mejía-Terán et al. (2024) informaron valores de 1.91 y 2.44 g H₂O/g para harina de maíz, y Patil et al. (2021) de 2.45 g H₂O/g, ambos superiores a los encontrados en este trabajo.

En harina de arroz, Kraithong & Rawdkuen (2018) reportaron un IAA de 7.06 ± 0.12 g H₂O/g, mientras que Lapčíková et al. (2021) registraron entre 2.30 y 2.76 g H₂O/g muestra, ambos también por encima de los valores obtenidos en el presente estudio.

Relativo al índice de sólidos solubles (ISS), este parámetro está asociado con la presencia de moléculas solubles en agua (Du et al., 2014; Kaur & Singh (2005), además de considerarse un indicador de la degradación del almidón (Di Cairano et al., 2020). En las harinas de legumbres, el ISS está influenciado principalmente por el contenido de proteínas solubles, aunque también pueden contribuir almidones solubles, fibras y grasas (Tas et al., 2022; Teterycz et al., 2020; Laleg et al., 2016). Entre los factores que afectan al ISS se encuentran el proceso de molienda y las interacciones de la amilosa con el agua (An et al., 2023).

Existe una relación estrecha entre el índice de absorción de agua (IAA) y el ISS, ya que ambos reflejan la presencia y comportamiento de sólidos solubles en la fase acuosa (Summo et al., 2019). Generalmente, se ha observado una correlación inversa entre ambos: a mayor IAA, menor ISS en granos (De Angelis et al., 2021). En este trabajo existe una correlación positiva ($r = 0.6162$, $p < 0.01$) (Tabla 9).

En el presente estudio, las harinas de legumbres presentaron los valores más altos de ISS, destacando la harina de garbanzo con $25.66 \pm 0.77\%$, seguida por la harina de chícharo con $21.72 \pm 0.76\%$. En contraste, las harinas de cereales mostraron valores significativamente menores, siendo la harina de arroz la que presentó el ISS más bajo ($2.49 \pm 0.06\%$). Esta tendencia coincide con lo reportado por Di Cairano et al. (2020).

Comparativamente, Summo et al. (2019) reportaron un ISS de $13.9 \pm 4.6\%$ para harina de garbanzo, inferior al obtenido en este estudio, posiblemente debido al uso de un tamaño de partícula mayor, lo que conlleva un menor contenido de almidón dañado. Du et al. (2014) informaron un valor similar al de este trabajo para la misma harina ($24.08 \pm 0.92\%$).

Tabla 8. Correlaciones de Pearson entre propiedades tecnológicas y propiedades químicas de las harinas

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
IAA	-0.0283	0.6337*	0.9224***	-0.5630	0.2290	0.6092*	0.3637	0.0083	0.7160**
ISS	0.5613	0.9981***	0.8529**	-0.9937***	0.7077**	0.8731**	-0.0891	0.7873**	0.9576***
IAAC	0.7324**	0.8139**	0.4842	-0.8349**	0.6076*	0.6002*	-0.3215	0.9123***	0.7226**
CH	0.0912	-0.3409	-0.7206**	0.2447	0.1817	-0.2378	-0.3907	0.2794	-0.4346
DA	0.2597	-0.5570	-0.8441**	0.5057	-0.3609	-0.6673*	-0.3304	0.0586	-0.6502*
AE	0.6271*	0.9425***	0.6667*	-0.9693***	0.7950**	0.8348**	-0.2571	0.9241***	0.8687**
EE	-0.4050	-0.8698**	-0.6485*	0.9013**	-0.8378**	-0.8538**	0.1663	-0.8033**	-0.8242**
CE	0.5948*	0.9364***	0.8401**	-0.9114***	0.5048	0.7611**	-0.0053	0.6867*	0.8451**
EES	0.2730	0.6449*	0.6009*	-0.6464*	0.5130	0.6136*	0.1390	0.4927	0.7426**
SYN	0.4086	0.9682***	0.9334***	-0.9540***	0.6810*	0.8879***	-0.0227	0.6343*	0.9605***
Gel móvil	-0.1890	0.5424	0.4258	-0.6013*	0.9195***	0.8274**	-0.1423	0.4394	0.5291
Gel estable	0.0170	0.1875	-0.1816	-0.2927	0.7518**	0.4076	-0.4352	0.5602	0.0989

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; AE: actividad de emulsión; EE: estabilidad de emulsión; CE: capacidad de espuma; EES: estabilidad de espuma; SYN: sinéresis. HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fólico

Tabla 9. Correlaciones de Pearson entre propiedades tecnológicas de las harinas

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	AE	EE	CE	EES	SYN	Gel móvil	Gel estable
IAA	-	0.6162*	0.1662	-0.8818***	-0.9486***	0.3561	-0.3861	0.6355*	0.4038	0.7593**	0.2916	-0.4182
ISS		-	0.8201*	-0.3116	-0.5522	0.9524***	-0.8848***	0.9228***	0.6492*	0.9649***	0.5749	0.2286
IAAC			-	0.0530	-0.0779	0.9070***	-0.8580**	0.7796**	0.6171*	0.6871*	0.4266	0.4317
CH				-	0.7788**	-0.0287	0.0231	-0.4461	-0.2004	-0.4812	-0.4812	0.7051
DA					-	-0.3177	0.3953	-0.5220	-0.3891	-0.7064*	-0.4960	0.2275
AE						-	-0.9271	0.8421**	0.6342*	0.8656**	0.6281*	0.4729
EE							-	-0.7494**	-0.6687*	-0.8113**	-0.7551**	-0.5374
CE								-	0.5265	0.8884***	0.3793	0.0322
EES									-	0.6173*	0.4889	0.2449
SYN										-	0.5838*	0.1104
Gel móvil											-	0.7303**
Gel estable												-

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; AE: actividad de emulsión; EE: estabilidad de emulsión; CE: capacidad de espuma; EES: estabilidad de espuma; SYN: sinéresis

Por otro lado, Angulo-Bejarano et al. (2008) reportaron un ISS más elevado para la harina de garbanzo ($28.3 \pm 0.70\%$), mientras que Dhillon et al. (2022) obtuvieron un valor considerablemente menor ($2.26 \pm 0.24\%$). Di Cairano et al., 2020 reportaron un ISS de $26.02 \pm 1.63\%$ para la harina de garbanzo y 12.69 ± 0.19 para la harina de chícharo $12.69 \pm 0.19\%$ y $1.21 \pm 0.00 \%$ para la harina de arroz, obteniendo valores muy semejantes en la harina de garbanzo, superiores en la harina de chícharo y superiores en la harina de arroz al compararlos con este estudio.

Kaur & Singh (2005) registraron valores de ISS en harina de garbanzo entre 20.42% y 22.89%, inferiores a los de este trabajo. De Angelis et al. (2021) reportaron $14.28 \pm 0.55\%$ para garbanzo y $18.58 \pm 0.05\%$ para chícharo, también por debajo de los resultados de este estudio. Tas et al. (2022) presentaron niveles muy por debajo de los reportados en este trabajo siendo de 3.35% para la harina de garbanzo y de 1.9% en la harina de chícharo. Esta diferencia podría explicarse por una posible mayor proporción de almidón dañado en las muestras de este trabajo.

En cuanto a estudios en harina de maíz Mejía-Terán et al. (2024) reportaron 5.65 % y el 12.65 %, niveles superiores a los del presente trabajo. Patil et al. (2021) indicaron 10.46 % en harina de maíz obteniendo valores más elevados a los que los de este estudio. Kraithong & Rawdkuen (2018) informaron de niveles de ISS de $2.97 \pm 0.18\%$ y $3.93 \pm 0.62\%$ en harina de arroz, siendo algo superiores a los reportados en este estudio. Lapčíková et al. (2021) reportaron niveles en harina de arroz entre 1.27 y 2.94% estando los resultados de este trabajo en ese rango. Ronie et al. (2022) también reportaron ISS de harinas de arroz (1.83% a 3.44%), estando también los resultados de este estudio en ese rango.

Finalmente, estos resultados refuerzan la variabilidad de ISS en función de la composición, el tratamiento tecnológico y el origen de las muestras.

El índice de absorción de aceite (IAAC), viene determinado por el tipo de proteínas, el número de cadenas no polares libres de que se unen a las cadenas hidrocarburos grasos, además de la disposición superficial de los aminoácidos

hidrofóbicos en la estructura proteica (Dhillon et al., 2022; Ettoumi & Chibane 2015; Granito et al. 2004). Un valor elevado de IAAC se asocia con una mayor proporción de grupos hidrofóbicos frente a grupos hidrofílicos en la superficie de las moléculas proteicas (Subagio, 2006). Existe una correlación positiva entre el contenido proteico y el IAAC, siendo esta relación más significativa a mayor presencia de aminoácidos hidrofóbicos (Summo et al., 2019). En este trabajo se observó una correlación ($r = 0.8139$, $p \leq 0.01$) (Tabla 8).

No obstante, el IAAC no depende exclusivamente de la interacción hidrofóbica entre proteínas y lípidos; también está influido por el tipo de grasa empleada y por la presencia de almidón en la matriz alimentaria (Aguilar-Raymundo et al., 2016; Sathe et al., 1982). Este índice desempeña un papel fundamental en las propiedades sensoriales de los alimentos, ya que el contenido de grasa que es capaz de captar el producto, afecta a la sensación en boca, a la capacidad de retención de sabor y a la vida útil del producto, al contribuir a la preservación de sus características organolépticas (Ayaz et al., 2022; Di Cairano et al., 2020; Ma et al., 2011; Kinsella & Melachouris, 1976). Sin embargo, valores excesivamente elevados de IAAC pueden potenciar la aparición de rancidez en los productos alimenticios, debido a la mayor retención de lípidos susceptibles a la oxidación (Falade & Christopher, 2015).

Respecto al índice de absorción de aceite (IAAC), los resultados fueron relativamente similares entre las diferentes harinas, aunque ligeramente superiores en las legumbres. La harina de chícharo presentó el mayor valor (1.74 ± 0.05 mL de aceite/g de muestra), mientras que la harina de maíz mostró el menor (1.44 ± 0.05 mL/g de aceite/g de muestra). Esta mayor IAAC en legumbres, se atribuye, posiblemente, a su mayor contenido proteico y menor proporción de almidón. A pesar de tener menos cantidad de prolaminas (muy hidrofóbicas), la presencia en mayor cantidad de proteínas como las albuminas y globulinas de las legumbres, también tienen carácter hidrofóbico, que contribuiría de forma significativa al aumento del IAAC (Stone et al., 2019).

Al comparar los resultados de este estudio con los reportados en la literatura, se observa una amplia variabilidad, siendo una de las posibles causas las diferencias

entre las técnicas utilizadas. Aguilar-Raymundo et al. (2016) reportaron valores considerablemente más altos en harina de garbanzo (7.29 ± 0.48 a 7.41 ± 0.51 mL de aceite/g), mientras que Dhillon et al. (2022) presentaron datos más cercanos a los de este estudio, aunque aún superiores (2.04 ± 0.06 mL/g), también en harina de garbanzo. Di Cairano et al. (2020) también informaron valores levemente más altos para harina de garbanzo (1.71 ± 0.04 mL/g) y harina de arroz (1.65 ± 0.11 mL/g). Por el contrario, Jagannadham et al. (2014) reportaron valores notablemente más bajos para la harina de garbanzo (0.81 ± 0.06 mL/g), al igual que Kaur & Singh (2005), quienes informaron un rango entre 1.05 y 1.24 mL/g en diferentes variedades de garbanzo.

Otros estudios también han reportado valores menores a los obtenidos en este trabajo, Summo et al. (2019) hallaron un IAAC de 1.4 ± 0.2 mL/g para harina de garbanzo, Du et al. (2014) reportaron 1.10 ± 0.02 mL/g, y De Angelis et al. (2021) obtuvieron valores considerablemente más bajos para harina de chícharo (0.35 ± 0.00 mL/g) y de garbanzo (0.38 ± 0.03 mL/g). De igual forma, Eze et al. (2024) informaron valores de IAAC entre 0.61 y 0.72 mL/g para harinas de guisante, observando los mayores valores en muestras con un tamaño de partícula reducido (0.25 mm).

Stone et al. (2019) reportaron niveles muy semejantes a los reportados en este estudio, obteniendo 1.40-1.53 mL de aceite/g en harina de garbanzo y 1.81-1.88 mL de aceite/g en harina de chícharo. Wani & Kumar (2014) informaron un IAAC de 1.19 ± 0.15 mL/g para harina de garbanzo (inferior a los obtenidos en este estudio) y de 1.79 ± 0.63 mL/g para harina de chícharo (ligeramente superior). Por su parte, Achalu et al. (2025) reportaron un IAAC de 3.00 ± 0.02 mL/g en harina de arroz, valor considerablemente más alto que el encontrado en este estudio, mientras que Kraithong & Rawdkuen (2018) informaron un valor levemente inferior (1.34 ± 0.12 mL/g) para la misma harina.

La capacidad de hinchamiento (CH) está determinada principalmente por los componentes hidrofílicos de la harina, como los polisacáridos y las proteínas, los cuales influyen en la afinidad y difusión del agua dentro de la matriz del alimento (Lopera-Cardona et al., 2016). CH refleja la intensidad de las fuerzas asociativas

entre los gránulos de almidón (Toor et al., 2022). Es una propiedad que debe estar presente en harinas para productos horneables (Kusumayanti et al., 2015). En el presente estudio, la harina de chícharo presentó el valor más elevado de CH (7.41 ± 0.51 mL/g), mientras que la harina de garbanzo registró el valor más bajo (5.22 ± 0.05 mL/g).

Se ha asociado una menor CH, a la mayor presencia de fibra, lípidos y proteínas, estas últimas interaccionan con el almidón formando complejos almidón-proteína (Ronie et al., 2022; Chung & Liu, 2012). Por lo que mayores cantidades de almidón favorece CH, siendo una explicación para la harina de garbanzo en este estudio, pero que no justifica en el caso de la harina de chícharo, que tiene un contenido importante de proteínas y es la harina con mayor CH.

Por otro lado, la proporción entre amilosa y amilopectina también desempeña un papel importante en la capacidad de hinchamiento. Una mayor presencia de amilosa suele inhibir la expansión de los gránulos de almidón, lo que disminuye la CH (Tester & Morrison, 1990).

Chung & Liu (2012) reportaron niveles más bajos que en este estudio para harina de chícharo siendo de 5.2 a 4.2 mL/g. Wadchararat et al. (2006) reportaron niveles más bajos de CH siendo de 1.98-2.31 mL/g. En cambio, en Ronie et al. (2022), mostraron niveles mucho más elevados de CH en harina de arroz, siendo de 20.31 a 23.53 mL/g.

La actividad emulsionante (AE) se define como la capacidad de una harina para dispersar y estabilizar aceite en un sistema bifásico (Kaur & Singh, 2005). Esta propiedad se logra mediante la formación de una película proteica alrededor de las gotas de grasa, lo cual reduce la tensión interfacial y actúa como una barrera física que previene la coalescencia (Kinsella, 1979). Diversos factores afectan la AE, incluyendo el contenido y la composición proteica (soluble e insoluble), así como la presencia de otros componentes no proteicos como los carbohidratos, lípidos y la proporción entre amilosa y amilopectina (Ma et al., 2011; Kaur & Singh, 2005; McWatters & Cherry, 1977).

Las interacciones entre las proteínas y el agua ocurren en las regiones polares de los aminoácidos presentes en las moléculas proteicas. La mayoría de las proteínas contiene varias cadenas laterales polares unidas a la cadena principal de péptidos, lo que les confiere características hidrofílicas, favoreciendo su solubilidad y su capacidad para estabilizar emulsiones (James & Norman, 1979).

En el presente estudio, la AE fue considerablemente mayor en las harinas de legumbres en comparación con las harinas de cereales. La harina de chícharo presentó el valor más alto (53.53 ± 0.35 % v/v), mientras que la harina de arroz mostró la menor actividad emulsionante (2.01 ± 0.69 % v/v). Esta diferencia podría atribuirse a la mayor cantidad de proteínas presentes en las harinas de legumbres, lo cual favorece la formación de películas interfaciales estables (Du et al., 2014). Resultados similares fueron reportados por Stone et al. (2019), quienes también observaron mayor AE en harinas de leguminosas respecto a cereales.

Adicionalmente, la mayor AE en harinas de legumbres puede estar relacionada con interacciones proteína-polisacárido más eficientes, que favorecen la formación de una película interfacial homogénea y estable en las gotas de aceite (Lam & Nickerson, 2013).

Comparativamente, Sanjeewa et al. (2010) reportaron valores de AE en harina de garbanzo que oscilaron entre 28 % y 43 %, rango que concuerda con los resultados de este trabajo. Dhillon et al. (2022) reportaron una AE para harina de garbanzo de 39.01 ± 0.44 %, valor ligeramente inferior al observado en este estudio. Kaur & Singh (2005) informaron valores más elevados en distintas variedades de garbanzo: entre 59.6 % y 68.8 % en la variedad desi, y 58.2 % en la variedad kabuli. Asimismo, Du et al. (2014) reportaron una AE de 61.14 ± 0.61 % en harina de garbanzo. En el caso del chícharo, Eze et al. (2024) informaron valores similares a los de este estudio (51 %–53.50 %), sin diferencias significativas ($p > 0.05$) en función del tamaño de partícula. Por su parte, Ettoumi & Chibane (2015) también reportaron resultados comparables, con AE de 47.38 % para harina de garbanzo y 54.65 % para chícharo. En contraste, Stone et al. (2019) informaron valores considerablemente más bajos, entre 20.5 %–20.7 % para harina de garbanzo y 20.1 % para chícharo.

En cuanto a la estabilidad de emulsión (EE), esta propiedad refleja la resistencia de la emulsión a cambios físicos o mecánicos a lo largo del tiempo, y está directamente relacionada con la integridad de la película en la interfase (Pearce & Kinsella, 1978). Una mayor EE no solo depende de la presencia de proteínas, sino también de componentes estructurales como el almidón y la fibra, que pueden actuar como una barrera física voluminosa entre las gotas de aceite, previniendo o ralentizando su coalescencia (Dhillon et al., 2022; Aluko et al., 2009).

En este estudio, las harinas de cereales mostraron los mayores valores de EE tras 30 min de reposo. La harina de arroz alcanzó un valor de $183.33 \pm 28.87 \%$, y la de maíz $150.00 \pm 10.00 \%$. En contraste, la harina de chícharo presentó la menor estabilidad ($86.75 \pm 3.03 \%$). Estos resultados indican que, aunque las legumbres poseen mayor capacidad para formar emulsiones, los cereales pueden ofrecer mayor resistencia a su desestabilización bajo ciertas condiciones.

Comparando con la literatura, Dhillon et al. (2022) reportaron un valor de EE significativamente menor para la harina de garbanzo ($25.61 \pm 0.12 \%$), mientras que Kaur & Singh (2005) informaron valores entre 76.6% y 82.1% , algo inferiores a los obtenidos en el presente trabajo. Sanjeewa et al. (2010) reportaron rangos aún más bajos (15.95% – 28.55%). En cambio, Du et al. (2014) observaron valores similares a los obtenidos en este estudio, con una EE de $94.19 \pm 1.64 \%$ para harina de garbanzo. Por su parte, Eze et al. (2024) reportaron EE para harina de chícharo entre 28.64% y 45% , valores sustancialmente inferiores a los observados en este trabajo; además, observaron que un menor tamaño de partícula favoreció una mayor EE. Finalmente, Stone et al. (2019) informaron valores comparables a los de este estudio, entre 90.3% y 96% en harina de garbanzo, y valores incluso más altos para el chícharo (96.4%).

La capacidad de formación de espuma (CE) se refiere a la habilidad de las proteínas y otros componentes presentes en la harina para formar una película cohesiva y resistente alrededor de las burbujas de aire, impidiendo la difusión del gas y estabilizando la estructura de la espuma (Ma et al., 2011). Esta propiedad se atribuye a la carga superficial de las moléculas proteicas, la cual favorece su

interacción con el agua y facilita su rápida adsorción en la interfase aire-agua, encapsulando eficientemente el aire (Ghavidel & Prakash, 2006).

Las espumas formadas por proteínas dependen de sus propiedades moleculares intrínsecas, como la secuencia y disposición de aminoácidos, tamaño, forma, conformación tridimensional, flexibilidad, polaridad superficial, carga neta e hidrofobicidad, etc. (Kinsella, 1981). En general, las proteínas con estructuras flexibles exhiben mayor capacidad espumante, mientras que las de naturaleza globular y altamente ordenadas presentan menor capacidad de formación de espuma (Graham & Philips, 1976). No obstante, las proteínas globulares como las albúminas y globulinas presentes en las legumbres poseen buenas propiedades interfaciales, lo que favorece la estabilidad de las espumas (Wani & Kumar, 2014).

Además, la formación de espuma también está influenciada por otros componentes como los carbohidratos (Sreerama et al., 2012; Ma et al., 2011). A concentraciones más altas de harina en disolución, se ha observado un aumento en la CE en harinas de legumbres, atribuido a una mayor interacción proteína-proteína, que incrementa la viscosidad y permite la formación de una película multicapa más gruesa y resistente en la interfase, reduciendo la coalescencia de las burbujas (Seena & Sridhar, 2005; Adebawale & Lawal, 2003). La presencia de lípidos puede facilitar la formación de complejos proteína-lípido, lo que mejora las propiedades espumantes hasta cierto límite (Du et al., 2014).

Las harinas con buena capacidad y estabilidad de espuma son de interés para el desarrollo de productos de panadería, bebidas espumosas, mousses, merengues y coberturas batidas (Boye et al., 2010; Akubor et al., 2000).

En el presente estudio, la CE fue significativamente mayor en las harinas de legumbres en comparación con las de cereales. La harina de garbanzo presentó el valor más alto ($27.57 \pm 6.49\%$), mientras que la harina de maíz registró la menor capacidad espumante ($4.10 \pm 2.02\%$). Jagannadham et al. (2014) reportaron una tendencia similar, con mayores valores de CE en harinas de legumbres que en harinas de cereales, lo cual puede explicarse por el mayor contenido de proteínas

totales y la abundancia de albúminas y globulinas, más solubles y con mayor difusión en la interfase (Stone et al., 2019). Aunque la harina de garbanzo ha sido descrita como densa y con bajo volumen de espuma, y con cierta variabilidad en su estabilidad, sigue siendo una buena alternativa viable para aplicaciones alimentarias (Du et al., 2014; Kaur & Singh, 2005).

Dhillon et al. (2022) reportaron una CE para la harina de garbanzo superior a la observada en este estudio ($35.74 \pm 0.10\%$), mientras que Jagannadham et al. (2014) informaron un valor de $29.27 \pm 6.35\%$, algo superiores a los obtenidos en este trabajo. Eze et al. (2024) registraron niveles de CE en harina de chícharo ligeramente inferiores a los de este trabajo ($14.02\text{-}18.07\%$), observando una disminución en CE al reducir el tamaño de partícula, posiblemente por un aumento relativo en la concentración de proteínas frente al almidón. Ettoumi y Chibane (2015) reportaron valores de CE superiores tanto en harina de garbanzo (32.42%) como en harina de chícharo (50.95%). Por su parte, Wani & Kumar (2014) informaron una CE de 36% para harina de garbanzo y 39% para chícharo, valores también superiores a los de este trabajo.

La estabilidad de la espuma (EES) hace referencia a la capacidad de la espuma para mantener su estructura y consistencia a lo largo del tiempo, lo que la convierte en un parámetro relevante al evaluar la funcionalidad de los agentes espumantes. Su utilidad en aplicaciones alimentarias depende de la habilidad para conservar la integridad del batido durante el mayor tiempo posible (Kaur, et al., 2013; Kaur & Singh, 2005).

En este estudio, la harina de garbanzo presentó la mayor estabilidad de espuma, con un valor de $77.51 \pm 13.11\%$, seguida por la harina de chícharo ($69.53 \pm 26.61\%$). En contraste, la harina de arroz mostró la menor estabilidad, con un valor significativamente inferior de $21.67 \pm 2.89\%$.

Dhillon et al. (2022) reportaron una estabilidad de espuma (EES) en harina de garbanzo inferior a la observada en este estudio, con un valor de $44.83 \pm 0.26\%$. En contraste, Jagannadham et al. (2014) informaron una mayor estabilidad de espuma para la misma harina, alcanzando $96.91 \pm 1.35\%$, y confirmaron que las

harinas de legumbres presentaron mejor desempeño en este parámetro en comparación con las harinas de cereales.

Por su parte, Ettoumi & Chibane (2015), a pesar de haber reportado valores de capacidad de espuma (CE) más elevados que los obtenidos en este estudio, registraron niveles inferiores de EES: 46.10% para la harina de garbanzo y 41.31% para la de chícharo. Estos resultados coinciden con los de este trabajo, en que la espuma generada por la harina de garbanzo es más estable que la formada por la harina de chícharo. Wani & Kumar (2014) informaron valores de EES notablemente superiores a los obtenidos en el presente estudio, reportando $90 \pm 0.05\%$ para la harina de garbanzo y $84 \pm 0.01\%$ para la de chícharo.

La sinéresis se refiere al fenómeno de expulsión de agua de una matriz gelificada durante el almacenamiento. Se trata de un indicador de la estabilidad del gel, siendo una propiedad no deseable en alimentos (Naiker et al., 2019; Zheng & Sosulski, 1998). Esta agua expulsada son los lixiviados obtenidos tras la reorganización de las moléculas de amilosa y amilopectina, como fruto de la retrogradación del almidón tras fluctuaciones de temperatura (sobre todo refrigeración o congelación) durante el almacenamiento (Freschi et al., 2014; Copeland et al., 2009; Zheng & Sosulski, 1998). Aunque la bibliografía es limitada en cereales y legumbres en cuanto a la sinéresis, esta depende del contenido de amilosa/amilopectina, siendo la amilosa un factor que favorece la retrogradación y por lo tanto la sinéresis (Kaur & Singh, et al., 2006). La presencia de fibra dietética soluble, también reduce la liberación de agua, debido a que mejora su retención (Figuerola & Genovese, et al., 2018).

En relación con la sinéresis (SYN) observada en las muestras analizadas, se registraron valores más elevados en las harinas de legumbres en comparación con las de cereales, aunque las diferencias entre tipos de harina fueron relativamente estrechas. La harina de garbanzo presentó el mayor porcentaje de sinéresis ($70.48 \pm 0.43\% \text{ H}_2\text{O}$), mientras que las harinas de arroz ($64.17 \pm 0.49\% \text{ H}_2\text{O}$) y maíz ($64.59 \pm 0.42\% \text{ H}_2\text{O}$) mostraron los valores más bajos.

Los valores obtenidos en este estudio fueron considerablemente más altos en comparación con los reportados por Lopera-Cardona et al. (2016), quienes informaron una capacidad de hinchamiento de 13.18 ± 1.1 % para la harina de garbanzo, 20.73 ± 1.4 % para la harina de chícharo, 14.16 ± 0.9 % para la harina de maíz y 9.45 ± 0.8 % para la harina de arroz. No existiendo diferencias por grupos entre las harinas de legumbre y cereales.

La gelificación es un proceso en el que las moléculas desnaturalizadas se reestructuran formando redes estables a través de diferentes enlaces, como son interacciones electrostáticas, enlaces de hidrogeno, hidrófobos y/o disulfuro (Ma et al., 2011).

La concentración mínima de gelificación (CMG) se utiliza como un indicador de la capacidad de gelificación (Boye et al., 2010). Un CMG más baja indica una mayor capacidad de gelificación (Sridaran et al., 2012). La gelificación se va a ver afectada por las relaciones entre proteínas, lípidos y carbohidratos (Aguilar-Raymundo et al., 2016). Y no solamente por la concentración de proteínas y almidón, sino que también por otros componentes como son los minerales y la fibra (Tchiegane et al., 2006). Además, factores fisicoquímicos como el pH, la fuerza iónica y las condiciones de procesamiento a las que ha sido sometida la harina influyen significativamente en su comportamiento gelificante (Sridaran et al., 2012; Farooq & Boye, 2011). La capacidad de gelificación de las harinas se ve influenciada por la competencia física por el agua entre la gelificación del almidón y la gelificación de las proteínas (Singh, 2001).

La capacidad de gelificación es relevante desde el punto de vista tecnológico, ya que interviene en la elaboración de productos como salsas, pudines y otros alimentos que requieren formación de estructuras semisólidas (Ma et al., 2011).

En este estudio, la formación de gel móvil se logró con una concentración del 6% p/v en todas las harinas evaluadas, excepto en la harina de arroz, que requirió solo un 4% p/v. En cuanto al gel firme, la harina de chícharo mostró la mayor concentración necesaria (14% p/v), mientras que nuevamente la harina de arroz presentó el valor más bajo (6% p/v).

Diversos autores han reportado valores de CMG en distintas matrices, mostrando una alta variabilidad entre estudios. Por ejemplo, Aguilar-Raymundo et al. (2016) reportaron valores superiores al 12% para la formación de gel móvil y hasta un 20% para la formación de gel firme en harina de garbanzo, siendo estos valores notablemente más altos que los encontrados en este estudio. Kaur & Singh (2005) también reportaron, para diferentes variedades de garbanzo, una CMG de 10% para gel móvil y de 12% para gel firme. Ma et al. (2011), por su parte, encontraron que en harina de garbanzo el gel móvil se formaba a partir del 10%, y el gel firme a partir del 15%.

Sanjeewa et al. (2010) indicaron valores de CMG para harinas de garbanzo de distintas variedades que oscilaron entre el 6% y el 12%, intervalo que incluye los resultados obtenidos en este trabajo. En harina de chícharo, Eze et al. (2024) observaron formación de gel móvil desde un 10% y gel firme desde un 12%, siendo ligeramente superiores e inferiores, respectivamente, a los valores encontrados en este estudio.

Ettoumi & Chibane (2015) reportaron una CMG de 8% para harina de garbanzo coincidiendo con este estudio, y de 12% para harina de chícharo, un valor algo inferior al de este trabajo. Por su parte, Lopera-Cardona et al. (2016) informaron una CMG para gel móvil de 6% en harinas de chícharo, maíz y arroz, y de 10% para garbanzo. En el caso de gel firme, reportaron un 8% para las harinas de chícharo y arroz, un 10% para maíz y un 16% para garbanzo. Estos valores son, en general, más elevados que los obtenidos en este estudio, con excepción de la harina de maíz.

2.3.3. Composición química

La composición química de las harinas no solo depende de la variedad de la materia prima, sino que también puede verse influenciada por diversos factores como el clima, el tipo de suelo, la temporada de cultivo, las prácticas agrícolas, el uso de fertilizantes, la presencia de contaminantes, la variabilidad genética, así como por condiciones tecnológicas como el tipo y la severidad de la molienda o

el almacenamiento (Yaqoob et al., 2019; Budi et al., 2015; Chung et al., 2010; Maninder et al., 2007).

Los resultados obtenidos para los parámetros de composición química se presentan en la Tabla 10. Se observa que los cereales muestran un menor contenido de cenizas, fibra dietética y grasa, y un mayor contenido de carbohidratos en comparación con las harinas de legumbres. Esta diferencia podría atribuirse al proceso de pulido y desgerminación al que suelen ser sometidos los cereales, mediante el cual se elimina una gran parte del salvado y del germen, así como de los minerales y lípidos, lo que resulta en un aumento relativo del contenido de almidón (Wesley et al., 2021; Oppong et al., 2021; Kraithong & Rawdkuen, 2018; Varastegani et al., 2015).

Tabla 10. Parámetros químicos de las harinas

PARÁMETROS QUÍMICOS	HARINAS			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Humedad (% H ₂ O)	10.23 ± 0.07 ^a	9.19 ± 0.06 ^c	7.71 ± 0.02 ^d	9.44 ± 0.09 ^b
Grasa, G (%)	1.70 ± 0.19 ^b	4.07 ± 0.29 ^a	0.66 ± 0.19 ^c	0.79 ± 0.07 ^c
Proteína, PROT (%)	21.62 ± 0.12 ^b	25.07 ± 0.01 ^a	7.08 ± 0.02 ^d	7.86 ± 0.05 ^c
Ceniza (%)	5.96 ± 0.38 ^a	2.65 ± 0.03 ^b	0.05 ± 0.00 ^c	0.52 ± 0.03 ^b
Fibra dietética total, FDT (%)	7.86 ± 0.43 ^a	8.70 ± 0.89 ^a	6.00 ± 0.36 ^b	2.62 ± 0.69 ^c
Fibra dietética soluble, FDS (%)	0.93 ± 0.73	2.08 ± 0.73	1.68 ± 1.13	1.82 ± 0.59
Fibra dietética insoluble, FDI (%)	6.94 ± 0.39 ^a	6.23 ± 0.18 ^b	4.32 ± 1.50 ^c	0.80 ± 0.17 ^d
Carbohidratos, HC (%)	53.04 ± 1.35 ^c	50.53 ± 1.06 ^d	78.23 ± 0.71 ^b	79.48 ± 0.71 ^a
Ácido fítico (mgEFS*/g de muestra)	12.48 ± 0.32 ^b	14.21 ± 0.94 ^a	9.30 ± 0.80 ^c	9.34 ± 0.30 ^c

Base húmeda; Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre sí ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. * Equivalente de fitato de sodio (EFS)

a) Humedad

El contenido de humedad en las harinas evaluadas (Tabla 10) varió entre 7.71 ± 0.02% y 10.23 ± 0.07%, siendo la harina de chícharo la que presentó el mayor

valor, seguida por la de garbanzo ($9.19 \pm 0.06\%$) y, finalmente, la de maíz, que mostró el valor más bajo ($7.71 \pm 0.02\%$).

Todas las harinas se encuentran por debajo del límite máximo recomendado por la FAO (1992), establecido entre 12–14%. Este bajo contenido de humedad favorece la estabilidad microbiológica, reduce el riesgo de infestación por insectos y contribuye a prolongar la vida útil del producto (Tas et al., 2022; Verma & Srivastav., 2017; Carvalho et al., 2012b).

b) Grasa

En general, el contenido de grasa en los cereales es bajo, debido al proceso de pulido y desgerminado al que son sometidos, con el fin de prolongar su vida útil en anaquel al reducir su susceptibilidad a la rancidez (Ronie et al., 2022). En el caso de las legumbres, aunque su contenido graso también es moderado, existen excepciones como la soja y el cacahuete, que presentan niveles significativamente más altos. En cuanto al perfil de ácidos grasos, predominan los ácidos linoleico y linolénico (Hall et al., 2017; Sharma et al., 2022).

En este estudio, el contenido graso de las harinas analizadas (Tabla 10) osciló entre $0.66 \pm 0.19\%$ y $4.07 \pm 0.29\%$, siendo la harina de garbanzo la que presentó el valor más alto, seguida por la harina de chícharo ($1.70 \pm 0.19\%$), mientras que la harina de maíz mostró el menor contenido ($0.66 \pm 0.19\%$).

Los valores obtenidos en harina de garbanzo en este estudio, fueron superiores a los reportados por Aguilar-Raymundo et al. (2016) (1.13–1.19%) y Kaur & Singh (2005) (0.53–1.21%). Resultaron similares a los hallados por Dhillon et al. (2022) (4.23%), Ma et al. (2011) (4.67–5.75%), Tosh et al. (2013) (4.97%), Ravi & Harte (2009) (4.32–5.31%) y Summo et al. (2019) (4.1%). Asimismo, otros estudios reportaron niveles aún más elevados como son Bulgaru et al. (2025) (5.25%), Jagannadham et al. (2014) (5.81%) y Du et al. (2014) (6.63%).

Al comparar los resultados de la harina de chícharo con otros autores como Tosh et al. (2013) donde reportaron un valor inferior (0.60%), mientras que Millar et al. (2019) informaron un valor comparable al de este estudio (1.28%).

En cuanto a la harina de maíz, los valores obtenidos son similares a los reportados por Budi et al. (2015) (1.19%) y Tahmasebi et al. (2016) (0.89%). Algunos autores encontraron valores más altos: Chung et al. (2010) (1.6–2.1%), Dehghan et al. (2012) (2.18%), Dongmo et al. (2024) (5.3%), Gómez-Aldapa et al. (1999) (6.25%), Leoro et al. (2010) (2.61%), Patil et al. (2021) (4.95%), Pineda-Gómez et al. (2012) (1.2–5.1%), Tambo Tene et al. (2019) (3.41–7.52%) y Yaqoob et al. (2019) (3.92–4.2%).

Para la harina de arroz, los valores obtenidos fueron similares a los reportados por Baek & Lee (2014) (1.8%), y ligeramente superiores a los encontrados por Bhattacharya (2012) (0.36%), Carvalho et al. (2012ab) (0.4%), Guha & Ali (2011) (0.7%), Kraithong & Rawdkuen (2018) y Rodríguez-Marín et al. (2013) (1.13%), Mir et al. (2024) (1.1%) y Wadchararat et al. (2006) (0.52–0.92%). En contraste, Pineda-Gómez et al. (2012) (4.3%) y Achalu et al. (2025) (4.65%) reportaron niveles significativamente más altos.

c) Proteína

Los mayores contenidos de proteína (Tabla 10) se observaron en las legumbres, siendo la harina de garbanzo la que presentó el valor más alto ($25.07 \pm 0.01\%$), seguida por la harina de chícharo ($21.62 \pm 0.12\%$). En contraste, las harinas de cereales como el arroz y el maíz mostraron los niveles más bajos ($7.86 \pm 0.05\%$ y $7.08 \pm 0.02\%$, respectivamente), significativamente inferiores a los de las legumbres.

El elevado contenido proteico de las legumbres frente a otras semillas las convierte en una alternativa potencial a las proteínas de origen animal, especialmente en dietas orientadas a personas con enfermedades cardiovasculares o arteriosclerosis, debido también a su bajo contenido de grasa (Ettoumi & Chibane, 2015). Estas semillas aportan proteínas como albúminas y globulinas (Hall et al., 2017), siendo

estas últimas fuentes de péptidos bioactivos con funciones beneficiosas para la salud, incluyendo efectos vasodilatadores, inmunomoduladores, antibacterianos e insulinotrópicos, que pueden favorecer la secreción de insulina (Pfeuffer et al., 2020ab; Camps et al., 2018; Sozer et al., 2017). Además, existen evidencias que sugieren que pequeños aumentos en la ingesta de proteínas pueden reducir el riesgo de desarrollar síntomas del síndrome metabólico (Barton, 2014).

Los niveles reportados en este estudio para harina de garbanzo, superan a los descritos por Aguilar-Raymundo et al. (2016) (16.08–18.16%), Ma et al. (2011) en garbanzo kabuli (19.66%), Summo et al. (2019) (20.5%) y Tosh et al. (2013) (18.3%). Otros autores reportan valores similares: Bulgaru et al. (2025) (22.05%), Dhillon et al. (2022) (24.33%), Kaur & Singh (2005) para diferentes variedades (20.6–26.7%), Ma et al. (2011) en garbanzo desi (24.47%), Ravi & Harte (2009) (22.6–24.9%) y Du et al. (2014) (22.37%).

En la harina de chícharo, Millar et al. (2019) (21.5%) y Tosh et al. (2013) (21.3%) reportaron niveles similares a los observados en este estudio. Sin embargo, Chung et al. (2010) indicaron valores considerablemente más bajos (6.9–7.4%).

En la harina de maíz, Dehghan et al. (2012) reportaron niveles algo más bajos (6%) que, en los resultados de este trabajo, al igual que Tahmasebi et al. (2016) (6.32%). Afifah & Ratnawati (2017) reportaron niveles semejantes a los de este estudio (7.07%), al igual que Budi et al. (2015) (7.91%), Ramírez-Jiménez et al. (2019) (7.98), Sabanis & Tzia, (2009) (7.5%) y Tambo Tene et al. (2019) (6.43-7.66%). Leoro et al. (2010) reportaron niveles superiores (8.55%), al igual que Patil et al. (2021) (11.06%), Pineda-Gómez et al. (2012) (7.6-8.3%), Yaqoob et al. (2019) (9.94-9.78%) y Mir et al. (2024) (10.45%).

En cuanto a la harina de arroz, los niveles reportados por Bhattacharya (2012) (6.0%), Guha & Ali (2011) (6.7%) y Kraithong & Rawdkuen (2018) (6.51%) son ligeramente inferiores a los de este estudio. Otros estudios presentaron valores comparables, como Sabanis & Tzia (2009) (7.0%) y Carvalho et al. (2012ab) junto con Rodríguez-Marín et al. (2013) (7.5%). Afifah & Ratnawati (2017) (10.07%),

Achalu et al. (2025) (9.52%) y Mir et al. (2024) (10.12%) reportan niveles más elevados.

Estas diferencias en el contenido proteico pueden atribuirse a factores como la variedad genética de la semilla, las condiciones de cultivo, la época de cosecha y los tratamientos postcosecha (Guan et al., 2023; Aguilar-Raymundo et al., 2016). En este sentido, el contenido proteico de las materias primas evaluadas se encuentra dentro de los rangos reportados en la literatura, siendo mayor en legumbres y menor en cereales. Estos resultados respaldan la incorporación de legumbres como estrategia para incrementar el contenido proteico en extruidos de cereales.

d) Ceniza

La ceniza es un indicador directo del contenido de minerales de los alimentos (Tambo Tene et al., 2019). Los resultados para ceniza (Tabla 10) variaron de $0.05 \pm 0.00\%$ a $5.96 \pm 0.38\%$, siendo la harina de chícharo la que presentó los niveles más altos, seguidos de la harina de garbanzo ($2.65 \pm 0.03\%$), los niveles más bajos se encontraron en la harina de maíz.

Para harina de garbanzo, los niveles de ceniza obtenidos en este estudio son similares con los reportados por diversos autores: Bulgaru et al. (2025) (2.99%), Dhillon et al. (2022) (2.02%), Jagannadham et al. (2014) (3.46%), Kaur & Singh (2005) (2.72–2.91%), Ma et al. (2011) (2.72–3.10%), Ravi & Harte (2009) (2.23–3.51%), Summo et al. (2019) (3.40%), Du et al. (2014) (3.16%), Aguilar-Raymundo et al. (2016) (3.21–3.22%) y Tosh et al. (2013) (2.79%).

En la harina de chícharo, Millar et al. (2019) y Tosh et al. (2013) reportaron valores más bajos que los obtenidos en este trabajo, con 2.76% y 2.74%, respectivamente.

Los resultados obtenidos para la harina de maíz en este estudio, fueron comparables a los de Afifah & Ratnawati (2017) (0.48%), Budi et al. (2015) (0.67%), Dehghan et al. (2012) (0.61%), Gómez-Aldapa et al. (1999) (1.18%), Leoro et al. (2010) (0.52%), Patil et al. (2021) (1.35%), Ramírez-Jiménez et al.

(2019) (1.13%), Sabanis & Tzia (2009) (1.20%), Mir et al. (2024) (1.09%) y Tahmasebi et al. (2016) (0.34%). Pineda-Gómez et al. (2012) reportaron un rango algo más amplio (0.5–1.7%), mientras que Tambo Tene et al. (2019) (1.8–2.2%) y Yaqoob et al. (2019) (1.96–2.11%) informaron niveles superiores a los de este estudio.

El contenido de cenizas en harina de arroz fue similar al reportado por Afifah & Ratnawati (2017) (0.27%), Sabanis & Tzia (2009) (0.48%), Bhattacharya (2012) (0.80%), Carvalho et al. (2012a,b) (0.24%), Guha & Ali (2011) (0.40%), Kraithong & Rawdkuen (2018) (0.47%), Mir et al. (2024) (0.83%) y Rodríguez-Marín et al. (2013) (0.40%). Valores más elevados fueron reportados por Achalu et al. (2025) (1.45%) y Baek & Lee (2014) (2.46%).

Las diferencias en el contenido de cenizas entre estudios pueden deberse a factores agrícolas como el tipo de suelo, las fuentes de riego (Verma & Srivastav, 2017), así como a aspectos tecnológicos como el grado de pulido del grano y la severidad del proceso de molienda (Ronie et al., 2022; Czaja et al., 2020).

e) Fibra dietética

La fibra dietética tiene múltiples efectos beneficiosos para la salud y se compone de dos tipos: fibra dietética soluble (FDS) e insoluble (FDI). La FDS ralentiza el vaciamiento gástrico y reduce la absorción de glucosa y triglicéridos a nivel intestinal (Yoshimoto et al., 2020; Kaczmarczyk et al., 2012). Por su parte, la FDI está implicada en el control del peso corporal, al incrementar el volumen fecal y disminuir el tiempo de tránsito intestinal (Lattimer & Haub, 2010). Además, la FDI puede mejorar la sensibilidad a la insulina, lo que contribuye a la prevención de la diabetes tipo 2 (Kaczmarczyk et al., 2012).

En general, un mayor consumo de fibra dietética puede reducir el riesgo de ciertos tipos de cáncer, especialmente si se combina con una dieta baja en grasas (FDA, 2008). Aunque otros autores atribuyen este efecto preventivo se ha atribuido a mecanismos como el aumento en la excreción de sales biliares, la producción de ácidos grasos de cadena corta, la adsorción de compuestos carcinógenos, así como

al contenido elevado de antioxidantes, vitaminas y minerales presente en alimentos ricos en fibra (Lattimer & Haub, 2010).

El contenido de fibra dietética total (FDT) en las harinas analizadas (Tabla 10) varió entre $2.62 \pm 0.69\%$ y $8.70 \pm 0.89\%$, siendo la harina de garbanzo la que presentó los niveles más altos, seguida por la harina de chícharo ($7.86 \pm 0.43\%$). La harina de arroz mostró el contenido más bajo. En la mayoría de las harinas, la fibra dietética insoluble (FDI) fue la fracción predominante, con excepción del arroz, en el cual la FDS fue superior a la FDI.

Los valores de FDI oscilaron entre $0.80 \pm 0.17\%$ y $6.94 \pm 0.39\%$, siendo la harina de chícharo la más rica en esta fracción, seguida de la harina de garbanzo ($6.23 \pm 0.18\%$), mientras que la harina de arroz presentó el menor contenido. Por otro lado, los niveles de FDS no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las diferentes harinas evaluadas.

El contenido de fibra dietética total de la harina de garbanzo se encuentra dentro del rango reportado por Ma et al. (2011) (3.78–12.16%). Otros autores reportan valores más bajos, como Aguilar-Raymundo et al. (2016) (2.87–3.94%), Bulgaru et al. (2025) (1.96%), Dhillon et al. (2022) (2.2%), Jagannadham et al. (2014) (3.46%), Kaur & Singh (2005) (1.1–2.1%) y Ravi & Harte (2009) (1.4–2.7%). Sin embargo, también se han reportado niveles superiores: Summo et al. (2019) (11.0%) y Tosh et al. (2013) (26.2%).

En harina de chícharo, Millar et al. (2019) reportaron un contenido total más elevado (15.58%), siendo mayoritaria la FDI (10.88%), coincidiendo con los resultados de este estudio. Tosh et al. (2013) observaron un valor aún más alto (27.1%).

Los resultados en la harina de maíz de este trabajo, para FDT fueron mayores a los reportados por Gómez-Aldapa et al. (1999) (4.14%), Tahmasebi et al. (2016) (1.4%), Tambo Tene et al. (2019) (0–1.02%), Yaqoob et al. (2019) (3.11–3.28%), Pineda-Gómez et al. (2012) (0.4–1.3%), Patil et al. (2021) (1.35%) y Leoro et al. (2010) (3.68%). En todos estos casos, la FDI fue también la fracción dominante.

Budi et al. (2015) presentaron niveles muy cercanos a los obtenidos en este estudio (5.93%), mientras que valores superiores fueron reportados por Ramírez-Jiménez et al. (2019) (18.04%, FDI: 16.84%) y Mir et al. (2024) (10.45%).

En la harina de arroz, los niveles de FDT obtenidos fueron mayores a los reportados por Achalu et al. (2025) (1.00%), Mir et al. (2024) (2.03%), Kraithong & Rawdkuen (2018) (0.81%) y Carvalho et al. (2012a,b) (1.1%). Bhattacharya (2012) indicó un valor similar (3.5%), mientras que Rodríguez-Marín et al. (2013) encontraron un contenido superior (8.2%).

Los valores elevados de fibra dietética total (FDT) y de sus subunidades son beneficiosos desde el punto de vista nutricional para la elaboración de productos extruidos, aunque no necesariamente desde el punto de vista tecnológico. En el caso de la harina de garbanzo, el contenido de FDT se encuentra dentro del rango reportado por otros autores. La harina de chícharo, por su parte, presenta un contenido de FDT por debajo de lo reportado en la literatura, lo que representa un aspecto a mejorar. Finalmente, la harina de arroz muestra un contenido de FDT dentro del rango reportado e incluso ligeramente superior, lo cual constituye un aspecto positivo desde el punto de vista nutricional.

f) Carbohidratos (HC)

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de carbohidratos (Tabla 10), denotan un mayor contenido en los cereales (78.23 ± 0.71 y $79.48 \pm 0.71\%$) respecto a las legumbres (50.53 ± 1.06 y $53.04 \pm 1.35\%$). Esta diferencia se debe al mayor contenido en las legumbres del resto de macronutrientes, que hacen reducir el contenido de carbohidratos, en comparación con las harinas de cereales. La harina de arroz presentó el mayor contenido de carbohidratos, mientras que la harina de garbanzo mostró los niveles más bajos.

En cuanto a los resultados en la harina de garbanzo, los valores obtenidos en este estudio fueron inferiores a los reportados por otros autores. Aguilar-Raymundo et al. (2016) encontraron contenidos entre 70.88–72.61%, Dhillon et al. (2022) 60.55%, Jagannadham et al. (2014) 59.66%, Kaur & Singh (2005) 60.2–66.3%,

Ma et al. (2011) 65.95–68.33%, Ravi & Harte (2009) 55.1–57.8%, y Summo et al. (2019) 61%.

Para la harina de maíz, los valores obtenidos en este estudio, son superiores a los reportados por Patil et al. (2021) (72.07%), Tahmasebi et al. (2016) (65.04%), y Yaqoob et al. (2019) (69.92–71.11%). Otros autores como Afifah & Ratnawati (2017) (80.2–80.8%), Gómez-Aldapa et al. (1999) (82.2%), Leoro et al. (2010) (78.77%) y Pineda-Gómez et al. (2012) (76.0–81.1%) reportan niveles similares. Valores superiores fueron indicados por Ramírez-Jiménez et al. (2019) (86.4%) y Tahmasebi et al. (2016) (82.83–87.13%).

Los resultados en harina de arroz de este trabajo fueron superiores a los reportados por Achalu et al. (2025) (73.78%). Bhattacharya (2012) (81.5%), Carvalho et al. (2012a,b) (80.2%) y Guha & Ali (2011) (80.5%) presentaron valores similares. Por su parte, Kraithong & Rawdkuen (2018) informó un contenido ligeramente más alto (85.58%).

El menor contenido de carbohidratos (HC) en las materias primas puede considerarse favorable desde el punto de vista nutricional, aunque puede tener un efecto negativo desde el punto de vista tecnológico, al influir en la densidad aparente (DA) y la expansión relativa (ER) de los productos extruidos. En la harina de garbanzo analizada, el contenido de HC se encuentra por debajo de los valores reportados por otros autores, lo que representa un aspecto positivo desde el punto de vista nutricional. Por su parte, los contenidos de HC en la harina de maíz y de arroz se ubican dentro de los rangos reportados en la literatura

g) Ácido fítico

El ácido fítico se encuentra de forma natural en alimentos de origen vegetal, principalmente en legumbres y cereales (Idate et al., 2021; Millar et al., 2019).

Este compuesto, en cantidades moderadas, puede ejercer efectos beneficiosos sobre la salud, contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Campos-Vega et al., 2010; Martínez-

Domínguez et al., 2002; Shahidi, 1997). Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones elevadas, se considera un antinutriente debido a su alta capacidad para quelar minerales esenciales como calcio, zinc, cobre, hierro, magnesio y potasio (Tambo Tene et al., 2019; Rimbach et al., 1994).

En la matriz alimentaria, los fitatos se unen a cationes divalentes nutricionalmente importantes (Fe, Ca, Zn, Mg), formando complejos insolubles que disminuyen su biodisponibilidad y reducen su absorción intestinal (Dhillon et al., 2022; Amarakoon et al., 2012; Wang & Daun, 2004). Un consumo elevado de ácido fítico puede, por tanto, resultar perjudicial, ya que se asocia con deficiencias de minerales, lo que a su vez puede provocar anemia, alteraciones óseas, osteoporosis y trastornos de malabsorción, especialmente en poblaciones que consumen legumbres de forma habitual (Tiwari & Singh, 2012). Además, el ácido fítico puede formar complejos con proteínas y almidón, afectando su digestibilidad (Oatway et al., 2001).

En este estudio, el contenido de ácido fítico (Tabla 10) en las harinas analizadas osciló entre 9.30 ± 0.80 mg/g y 14.21 ± 0.94 mg equivalentes de fitato de sodio/g de muestra y, siendo la harina de garbanzo la que presentó el contenido más elevado, seguida por la harina de chícharo (12.48 ± 0.32 mg/g). Las harinas de arroz y maíz mostraron los niveles más bajos.

De Angelis et al. (2021) reportaron en harina de garbanzo (6.78 mg /g), además de Dhillon et al. (2022) (7.61 y 3.57 mg /g), Martín-Cabrejas et al. (2009) (6.0-7.9 mg/g), siendo valores inferiores a lo reportado en este estudio.

En harina de chícharo, los valores reportados por De Angelis et al. (2021) (8.7 mg/g) y Millar et al. (2019) (5.43 mg/g) también fueron más bajos.

En la harina de arroz Carvalho et al. (2012ab) reportaron 0.34 mg/g, siendo inferior a lo indicado en este trabajo.

Las diferencias en el contenido de ácido fítico con otros autores pueden atribuirse a diferentes prácticas agrícolas y condiciones ambientales (De Angelis et al.,

2021). El ácido fítico y sus derivados (fitatos) constituyen la principal reserva de fósforo en legumbres y se encuentran fuertemente asociados a las proteínas de los cotiledones (Coulibaly et al., 2011). Además, se ha observado una correlación positiva entre el contenido de fitatos totales y el contenido proteico (De Angelis et al., 2021), lo cual podría explicar parcialmente los niveles elevados observados en las harinas de legumbres analizadas. Por lo que desde el punto de vista nutricional las harinas analizadas en este estudio, tienen un elevado contenido de AF al compararlo con otros autores, siendo un aspecto negativo al ser un antinutriente, quelante de minerales.

h) Composición mineral

El aporte de minerales en los alimentos y bebidas, es fundamental y necesarias para que el cuerpo humano realice numerosas funciones vitales (Guan et al., 2023; Dhillon et al., 2022). Alguno de estos ejemplos es el sodio, que mantiene el equilibrio electrolítico, el calcio y el manganeso ayudan en la coagulación sanguínea, el fosforo ayuda a la comunicación celular y el hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre, que transporta oxígeno a través del riego sanguíneo (Gharibzahedi & Jafari, 2017).

Los minerales se clasifican según la cantidad necesaria en el organismo, siendo macrominerales el calcio, fosforo, sodio, potasio, magnesio y macrominerales el hierro, zinc, cobre, manganeso (De Angelis et al., 2021).

En los resultados de composición mineral presentes en la Tabla 11, se puede observar que las harinas de legumbres con las que contienen los mayores niveles de minerales, salvo en el manganeso y cobre. En el caso del manganeso, la harina de arroz (1.26 ± 0.19 mg/100g muestra húmeda), obteniendo unos niveles más elevados que la harina de chícharo (1.01 ± 0.10 mg/100g muestra húmeda). En el caso del cobre la harina de maíz contiene mayor cantidad de cobre (0.60 ± 0.02 mg/100g muestra húmeda), respecto a la harina de chícharo (0.41 ± 0.02 mg/100g muestra húmeda). Por lo tanto, como se observa en la Tabla 11, también los aportes a las recomendaciones diarias en población mexicana también son cubiertas en mayor medida por las harinas de legumbre que por la de cereales,

llegando a niveles de cercanos o incluso superiores al 50% del valor nutricional diario de referencia para el fósforo, magnesio y hierro. Este mayor contenido de minerales en legumbres que en cereales concuerdan con Millar et al. (2019), quienes establecen que la harina de legumbres son ingredientes de gran valor para el desarrollo de productos alimenticios que ayuden a cubrir los requerimientos de minerales en la dieta de la población.

El contenido de minerales en harina de garbanzo, Bulgaru et al. (2025) reportaron niveles muy bajos de sodio (3.28 mg/100 g) y magnesio (2.50 mg/100 g), en contraste con los valores más elevados encontrados en este estudio. En cuanto a otros minerales, los contenidos fueron similares en potasio (1208.52 mg/100 g), magnesio (140.59 mg/100 g) y calcio (125.43 mg/100 g), y superiores en hierro (5.50 mg/100 g). Dhillon et al. (2022) también reportaron para harina de garbanzo valores más bajos en sodio (187.40 mg/100 g) y fósforo (243.61 mg/100 g), pero considerablemente más altos en calcio (456.20 mg/100 g), manganeso (56.41 mg/100 g), zinc (8.39 mg/100 g), cobre (1.82 mg/100 g) y hierro (18.89 mg/100 g). Por otro lado, De Angelis et al. (2021) informaron niveles algo inferiores de calcio (92 mg/100 g), valores similares de fósforo (358 mg/100 g) y levemente superiores de potasio (1193 mg/100 g).

Tabla 11. Composición mineral de las harinas

COMPOSICIÓN MINERAL (mg/100g muestra húmeda)	HARINAS			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Ca	41.61 ± 1.15 ^b (4.62 % VNR*)	154.64 ± 2.19 ^a (17.18 % VNR*)	7.00 ± 0.05 ^d (0.78 % VNR*)	13.00 ± 0.63 ^c (1.44 % VNR*)
Fe	3.51 ± 0.17 ^a (20.65 % VNR*)	8.30 ± 0.16 ^b (48.80 % VNR*)	1.76 ± 0.13 ^c (10.38 % VNR*)	1.68 ± 0.16 ^c (9.85 % VNR*)
K	889.55 ± 10.99 ^a	1201.85 ± 26.78 ^b	131.29 ± 16.25 ^c	140.08 ± 6.42 ^c
Mg	97.54 ± 3.90 ^b (39.33 % VNR*)	128.76 ± 4.46 ^a (51.92 % VNR*)	29.88 ± 0.41 ^d (12.05 % VNR*)	37.85 ± 0.13 ^c (15.26 % VNR*)
Mn	1.01 ± 0.10 ^c	2.14 ± 0.09 ^a	0.34 ± 0.01 ^d	1.26 ± 0.19 ^b
Na	119.15 ± 2.81 ^b	217.32 ± 5.06 ^a	49.56 ± 4.24 ^c	43.29 ± 0.01 ^c
P	334.24 ± 5.27 ^b (50.34 % VNR*)	373.20 ± 12.39 ^a (56.20 % VNR*)	92.99 ± 5.66 ^d (14.01 % VNR*)	125.71 ± 1.31 ^c (18.93 % VNR*)
Zn	2.52 ± 0.04 ^b (25.21 % VNR*)	3.72 ± 0.29 ^a (37.23 % VNR*)	0.87 ± 0.03 ^d (8.71% VNR*)	1.68 ± 0.28 ^c (16.80 % VNR*)
Cu	0.41 ± 0.02 ^c (63.07 % VNR*)	0.67 ± 0.04 ^a (103.39 % VNR*)	0.60 ± 0.02 ^b (92.28 % VNR*)	0.38 ± 0.01 ^c (57.69 % VNR*)

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. *VNR: Valor nutricional diario de referencia en la población Mexicana establecida en modificación de NOM-0510-SCF1/SSA1-2010 por 100 g. de producto.

En el caso de la harina de chícharo comparando los resultados de este trabajo con el de otros autores como De Angelis et al. (2021) donde reportaron valores casi el doble en fósforo (601 mg/100 g) y niveles más elevados de potasio (1567 mg/100 g) y calcio (64 mg/100 g). Millar et al. (2019) encontraron valores similares de magnesio (103.2 mg/100 g) e hierro (3.31 mg/100 g), pero niveles más altos de zinc (3.88 mg/100 g), calcio (113.53 mg/100 g) y potasio (1043.91 mg/100 g).

En relación con la harina de maíz, los resultados obtenidos en este estudio muestran que el contenido de calcio se encuentra dentro del rango reportado por Pineda-Gómez et al. (2012), que oscila entre 3.37 y 11.33 mg/100 g. En cuanto al magnesio, los valores fueron inferiores al rango reportado por los mismos autores (33.3–74.57 mg/100 g). El contenido de potasio, zinc (0.6–1.5 mg/100 g) y fósforo (92.3–165.93 mg/100 g) también se encontraban dentro de los rangos. No obstante, el contenido de sodio fue notablemente superior que oscila entre 4.13 y

10 mg/100 g. Por su parte, los datos de Raya et al. (2022) indican niveles de sodio considerablemente más bajos que los encontrados en el presente estudio (4.0 mg/100 g). El contenido de calcio fue similar (8.1 mg/100 g), mientras que los niveles de fósforo (226 mg/100 g) y potasio (310 mg/100 g) fueron más del doble que los observados en este análisis. Asimismo, se reportaron valores más altos de hierro (2.25 mg/100 g) y zinc (1.68 mg/100 g). En cuanto a los resultados de Tambo Tene et al. (2019), el contenido de magnesio (1.21–17.11 mg/100 g) fue inferior al registrado en este estudio. Sin embargo, los valores de este trabajo se situaron dentro de los rangos reportados para sodio (19.15–53.4 mg/100 g), calcio (3–31 mg/100 g) y potasio (124.95–349.45 mg/100 g). Por el contrario, los niveles de hierro (7.3–9.45 mg/100 g), fósforo (96.1–245.6 mg/100 g) y cobre (1.74–7.24 mg/100 g) informados por estos autores fueron superiores a los obtenidos en el presente trabajo.

El contenido mineral de las diferentes harinas, no solo depende del tipo de planta, si no de las técnicas de cultivo, de la composición química de los diferentes terrenos, ambiente de cultivo, variación genética, métodos de fabricación, etc. (Bulgaru et al., 2025; Tambo Tene et al., 2019; Yaqoob et al., 2019; Chung et al., 2010). Además de estos factores, el proceso de eliminación de la capa superficial (pericarpio) en los cereales en el proceso de pulido, reduce en gran medida el contenido de minerales, los cuales se encuentran presente principalmente en esta capa superficial, además de en el endospermo (Pineda-Gómez et al., 2012).

De manera general, el mayor contenido de minerales en legumbres en comparación con cereales constituye un aspecto positivo desde el punto de vista nutricional. Sin embargo, algunos minerales, como el sodio, presentan niveles algo elevados en las harinas de garbanzo y maíz analizadas en este estudio. Por otro lado, contenidos de minerales como zinc e hierro podrían mejorarse en las harinas de garbanzo y chícharo, en comparación con los valores reportados en la literatura por otros autores.

i) Perfil de aminoácidos

Los aminoácidos constituyen las unidades estructurales de las proteínas, y algunos de ellos son esenciales en la dieta humana, ya que el organismo no puede sintetizarlos por sí mismo. Entre estos se encuentran la treonina, valina, metionina, isoleucina, leucina, fenilalanina, lisina, histidina y triptófano (Millar et al., 2019). Además, aminoácidos como la cisteína y la tirosina pueden considerarse esenciales bajo ciertas condiciones fisiológicas o patológicas. En particular, los aminoácidos que contienen azufre, como la metionina y la cisteína, desempeñan funciones clave en la actividad antioxidante y en diversos procesos metabólicos (Bulgaru et al., 2025).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 12), el contenido de aminoácidos fue sistemáticamente mayor en las harinas de legumbres que en las de cereales. Este comportamiento concuerda con lo observado previamente en la sección c), donde se reportó un mayor contenido de proteínas totales en las harinas de legumbres. Como era de esperarse, se evidenció una correlación positiva entre el contenido proteico y el perfil de aminoácidos.

Tabla 12. Perfil de aminoácidos de las harinas

PERFIL DE AMINOÁCIDOS (mg/100 g muestra húmeda)	HARINAS			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Asp	1858.02 ± 38.09 ^b	2602.76 ± 90.00 ^a	402.82 ± 0.88 ^c	321.64 ± 87.98 ^c
Ser	831.24 ± 2.30 ^b	1322.83 ± 42.98 ^a	334.88 ± 0.59 ^c	252.86 ± 9.56 ^d
Glu	2875.50 ± 81.88 ^b	3549.41 ± 208.63 ^a	1337.93 ± 22.04 ^c	756.30 ± 172.56 ^d
Gly	682.96 ± 17.03 ^b	1222.60 ± 39.98 ^a	212.11 ± 5.35 ^d	380.63 ± 15.40 ^c
His*	464.65 ± 37.91 ^b	796.87 ± 51.55 ^a	189.13 ± 11.44 ^d	270.74 ± 9.63 ^c
Tau	nd	nd	nd	nd
Arg	1308.53 ± 85.76 ^b	2330.33 ± 55.43 ^a	283.13 ± 4.91 ^d	503.50 ± 7.99 ^c
Thr*	669.69 ± 27.75 ^b	976.37 ± 35.60 ^a	237.89 ± 12.54 ^c	226.94 ± 6.56 ^c
Ala	677.19 ± 4.29 ^b	1068.54 ± 44.62 ^a	486.15 ± 15.15 ^c	275.44 ± 48.99 ^d
Pro*	742.90 ± 7.10 ^b	1182.78 ± 52.08 ^a	618.05 ± 20.91 ^c	242.71 ± 24.80 ^d
Tyr**	419.62 ± 6.26 ^a	369.61 ± 18.00 ^b	85.12 ± 3.33 ^d	196.70 ± 17.42 ^c
Cys**	439.55 ± 9.95 ^a	170.47 ± 12.90 ^b	145.63 ± 5.91 ^c	73.14 ± 9.17 ^d
Val*	770.48 ± 6.74 ^b	1144.89 ± 33.50 ^a	323.84 ± 22.06 ^c	348.31 ± 28.71 ^c
Met*	95.99 ± 1.65 ^c	300.92 ± 11.28 ^a	52.50 ± 1.12 ^d	136.07 ± 1.32 ^b
Lys*	1142.90 ± 42.36 ^b	1441.07 ± 83.64 ^a	170.04 ± 3.67 ^c	160.18 ± 36.54 ^c
Ile*	736.65 ± 35.54 ^b	1190.81 ± 34.52 ^a	256.06 ± 16.88 ^c	276.25 ± 27.26 ^c
Leu*	1222.14 ± 12.79 ^b	1550.82 ± 52.32 ^a	958.65 ± 18.86 ^c	436.72 ± 46.12 ^d
Phe*	824.43 ± 2.06 ^b	1374.61 ± 0.33 ^a	357.95 ± 14.00 ^d	384.24 ± 2.80 ^c

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. nd: no detectado. *aminoácidos esenciales ** aminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina.

En el caso de la harina de garbanzo, diversos autores han reportado valores variables en los contenidos individuales de aminoácidos. Por ejemplo, Aguilar-Raymundo et al. (2016) encontraron niveles inferiores a los del presente estudio en histidina (243 mg/100 g), isoleucina (319 mg/100 g), leucina (714 mg/100 g), lisina (639 mg/100 g), treonina (346 mg/100 g) y valina (354 mg/100 g). Bulgaru et al. (2025) también reportaron concentraciones más bajas para ácido aspártico (2013 mg/100 g), treonina (791 mg/100 g), serina (1233 mg/100 g), ácido

glutámico (2572 mg/100 g), glicina (756 mg/100 g), alanina (879 mg/100 g), valina (835 mg/100 g), fenilalanina (1129 mg/100 g) y arginina (1654 mg/100 g). En cambio, se observaron cantidades similares en prolina (1062 mg/100 g), metionina (304 mg/100 g), leucina (1508 mg/100 g) e histidina (805 mg/100 g), así como valores más elevados de cisteína (184 mg/100 g), isoleucina (1483 mg/100 g), tirosina (477 mg/100 g) y lisina (1702 mg/100 g).

Dhillon et al. (2022), por su parte, reportaron en harina de garbanzo niveles de lisina inferiores (890 mg/100 g), similares de isoleucina (1230 mg/100 g), y valores superiores para valina (1390 mg/100 g), leucina (2590 mg/100 g), treonina (1200 mg/100 g), metionina (2330 mg/100 g), fenilalanina (2890 mg/100 g) e histidina (960 mg/100 g).

Respecto a la harina de chícharo, Millar et al. (2019) informaron valores significativamente más altos en todos los aminoácidos analizados: histidina (3200 mg/100 g), isoleucina (3500 mg/100 g), leucina (7000 mg/100 g), lisina (6300 mg/100 g), metionina (1100 mg/100 g), fenilalanina (3800 mg/100 g), treonina (3700 mg/100 g), valina (3900 mg/100 g), alanina (4100 mg/100 g), arginina (7400 mg/100 g), ácido aspártico (10900 mg/100 g), cisteína (1200 mg/100 g), ácido glutámico (14700 mg/100 g), glicina (3700 mg/100 g), serina (4300 mg/100 g) y tirosina (2100 mg/100 g).

En cuanto a la harina de arroz, Carvalho et al. (2012b) reportaron concentraciones considerablemente superiores en todos los aminoácidos comparados con este estudio. Por ejemplo, los valores de treonina fueron de 2870 mg/100 g, lisina de 2750 mg/100 g y metionina de 2270 mg/100 g.

Estas discrepancias podrían atribuirse, en gran medida, a las diferencias en el contenido total de proteínas entre las muestras analizadas en este estudio y aquellas utilizadas por los distintos autores. Además, factores como el origen de la materia prima, las condiciones agroclimáticas, la variedad genética y los métodos de procesamiento pueden influir considerablemente en la composición proteica y el perfil de aminoácidos.

En general, un mayor aporte de aminoácidos constituye un aspecto positivo, especialmente en el caso de los aminoácidos esenciales. En las muestras analizadas, los niveles de aminoácidos, en la harina de garbanzo son elevados en comparación con lo reportado por otros autores, mientras que en las harinas de chícharo y arroz los contenidos son inferiores a los valores publicados en la literatura.

2.3.4. Propiedades antioxidantes (Aox)

Los polifenoles totales se determinaron mediante el reactivo Folin-Ciocalteu, que reacciona con diversos compuestos fenólicos presentes en los alimentos, incluyendo flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, entre otros. Por su parte, los ensayos de DPPH y ABTS se emplean como pruebas *in vitro* para evaluar la capacidad antioxidante de las muestras, a través de la inhibición del radical libre DPPH y del catión ABTS, respectivamente (Bulgaru et al., 2025). El radical DPPH es neutralizado por los polifenoles mediante mecanismos de transferencia de electrones, protones y átomos de hidrógeno (Muzolf et al., 2008).

El contenido de compuestos fenólicos en los alimentos puede verse influenciado por diversos factores como el genotipo, el grado de madurez y las condiciones ambientales de cultivo (Marathe et al., 2011; Oomah et al., 2011). Dentro de estos compuestos, los flavonoides destacan como los más importantes en matrices vegetales, no solo por su potencial antioxidante, sino también por sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, antialérgicas y gastroprotectoras (Sreerama et al., 2012; Kanatt et al., 2011).

En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de polifenoles totales (PT) y la actividad antioxidante. La harina con mayor contenido de PT fue la de maíz (748.8 ± 24.31 mg equivalentes de ácido gálico (AG)/100 g, base seca), seguida por la harina de arroz (22.35 ± 2.18 mg AG/100 g, base seca). No se detectaron polifenoles en las harinas de chícharo y garbanzo en las condiciones del presente estudio.

Tabla 13. Propiedades antioxidantes de las harinas

PROPIEDADES ANTIOXIDANTES	HARINA			
	Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)	Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
PT (mg AG equivalentes 100 g ⁻¹ base seca)	0 ^b	0 ^b	748.8 ± 24.31 ^a	22.35 ± 2.18 ^b
DPPH (mg Trolox equivalentes 100 g ⁻¹ base seca)	258.33 ± 54.04	249.37 ± 41.21	256.95 ± 10.45	219.33 ± 14.99
ABTS (μmol Trolox equivalentes g ⁻¹ base seca)	19666 ± 1730	12118 ± 7651	1490 ± 121	1318 ± 191

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. PT: polifenoles totales, AG: ácido gálico.

En relación con los ensayos de DPPH y ABTS, no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las muestras.

Por otro lado, los niveles elevados de actividad antioxidante en la prueba con ABTS, puede ser debido a la desnaturalización e hidrólisis de proteínas durante la digestión, lo que hace liberar aminoácidos como la tirosina, triptófano, cisteína, histidina, arginina y cistina, que decoloran el ABTS (Kut et al., 2023). Asimismo, se ha demostrado que la hidrólisis de carbohidratos durante la digestión libera oligosacáridos y monosacáridos reductores, los cuales también presentan actividad antioxidante (Bulgaru et al., 2025).

En harina de garbanzo, Dhillon et al. (2022) reportaron un contenido de 1.49 mg GAE/g y una inhibición del 19 % del radical DPPH, atribuyendo esta actividad a la capacidad donadora de electrones de los compuestos fenólicos (Xiao et al., 2015). En contraste, no se detectó presencia de polifenoles en nuestras muestras de garbanzo.

Otros estudios han reportado niveles variables de compuestos fenólicos en diferentes matrices. Di Cairano et al. (2020) encontraron los valores más bajos de PT en harina de arroz, mientras que detectaron cantidades relevantes en las harinas de chícharo y especialmente en garbanzo. Summo et al. (2019) informaron un

contenido de PT en garbanzo equivalente a 2.5 μmol de trolox/g de materia seca, frente a la ausencia de PT en este análisis.

Millar et al. (2019) reportaron un contenido de 121.93 mg GAE/100 g en harina de chícharo, además de una actividad antioxidante medida mediante DPPH de 57.66 mg equivalentes de ácido ascórbico/100 g, estableciendo una correlación positiva entre el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante.

Cacak-Pietrzak et al. (2024) observaron niveles de 85 mg GAE/100 g en harina de garbanzo y 236 mg GAE/100 g en harina de chícharo. Por su parte, Ettoumi & Chibane (2015) reportaron valores de 150.2 mg AG/100 g en garbanzo y 292.4 mg AG/100 g en chícharo, junto con actividades antioxidantes frente al radical DPPH de 56.1 mg y 255.1 mg equivalentes de trolox/100 g, respectivamente. Para el radical ABTS, reportaron 232.6 mg y 352 mg equivalentes de trolox/100 g, respectivamente, siendo similares los valores obtenidos para chícharo y menores en el caso del garbanzo, comparados con los resultados de este estudio.

Finalmente, Ramírez-Jiménez et al. (2019) identificaron en harina de maíz compuestos fenólicos como ácido gálico y rutósido entre los fenoles libres, y ácido ferúlico y ácido cumárico entre los compuestos fenólicos conjugados.

2.4. CONCLUSIÓN

Las harinas de garbanzo y chícharo mostraron un perfil nutrimental más favorable que las de cereales, al contener más proteínas, fibra, minerales y aminoácidos esenciales, junto con menor proporción de hidratos de carbono. Aunque presentaron niveles ligeramente superiores de ácido fítico, estas diferencias no resultan limitantes y refuerzan su potencial para mejorar el valor nutricional de botanas expandidas. En cuanto a las características sensoriales, el análisis de color evidenció que la harina de garbanzo, presentó una coloración similar a la del maíz, puede ser adecuada para mantener la apariencia de las botanas tradicionales, mientras que la harina de arroz ofrece la posibilidad de atenuar el oscurecimiento aportado por otras materias primas.

Desde el punto de vista tecnológico, las legumbres destacaron por su elevada capacidad de absorción de agua, lo que favorece la gelificación, y por un mayor contenido de sólidos solubles en comparación con los cereales, mientras que la absorción de aceite fue semejante en todas las harinas evaluadas. En definitiva, las harinas de garbanzo y chícharo, son opciones prometedoras para incorporarlas como materias primas a las botanas extruidas, debido a mejor perfil nutricional, buenas propiedades tecnológicas y adecuadas características sensoriales.

2.5. REFERENCIAS

- Achalu, B. I., Tessema, H. A., & Ayele, A. T. (2025). Development and Characterization of Gluten-Free Bread Enriched with Whey Protein from Sorghum-Rice Composite Flours. *Applied Food Research*, 101133. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101133>
- Adebisi, J. A., Obadina, A. O., Adebo, O. A., & Kayitesi, E. (2017). Comparison of nutritional quality and sensory acceptability of biscuits obtained from native, fermented, and malted pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour. *Food chemistry*, 232, 210-217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.020>
- Adebowale, K. O., & Lawal, O. S. (2003). Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. *Food chemistry*, 83(2), 237-246. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00086-4)
- Afifah, N., & Ratnawati, L. (2017). Quality assessment of dry noodles made from blend of mocaf flour, rice flour and corn flour. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 101, No. 1, p. 012021). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012021>
- Aguilar-Raymundo, V. G., & Vélez-Ruiz, J. F. (2016). Characterization of two chickpea varieties and the effect of cooking on their physico-chemical and functional properties of flours. <https://doi.org/10.5539/jfr.v5n5p67>
- Ainsworth, P. (2011). Extrusion. *Food processing handbook*, 429-453. <https://doi.org/10.1002/9783527634361.ch13>
- Akubor, P. I., Isokoku, P. C., Ugbane, O., & Onimawo, I. A. (2000). Proximate composition and functional properties of African breadfruit kernel and flour blends. *Food Research International*, 33(8), 707-712. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00116-2)
- Aluko, R. E., Mofolasayo, O. A., & Watts, B. M. (2009). Emulsifying and foaming properties of commercial yellow pea (*Pisum sativum* L.) seed flours. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(20), 9793-9800. <https://doi.org/10.1021/jf902199x>
- Amarakoon, D., McPhee, K., & Thavarajah, P. (2012). Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.007>
- Amiri, M. J., Ebrahimzadeh, A., Amiri, S., Radi, M., & Niakousari, M. (2009). Comparative evaluation of physicochemical properties of corn flours through different water qualities and irrigation methods. *Journal of Applied Sciences*, 9(5), 938-943.
- An, N. N., Li, D., Wang, L. J., & Wang, Y. (2023). Microwave irradiation of corn kernels: Effects on structural, thermal, functional and rheological properties of corn flour. *Food Hydrocolloids*, 143, 108939. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108939>
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14, 4-12.
- Angulo-Bejarano, P. I., Verdugo-Montoya, N. M., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán-Carrillo, J., Mora-Escobedo, R., Lopez-Valenzuela, J. A., ... & Reyes-Moreno, C. (2008). Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L.) nutritional and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 106(1), 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.049>
- AOAC (1997). Method 985.29, 960.52. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th Edition, Volume I and II, Section 45.4.07 and 12.1.07; AOAC; Arlington, VA, USA.
- AOAC (2005). Methods 990.03, 2003.05, 985.29 & 923.03. *Official Methods of Analysis of*

AOAC International, 18th ed.; AOAC: Gaithersburg, MD, USA

- AOAC International. (1995). *Official methods of analysis of AOAC International* (Official Method 920.87, Protein (Total) in Flour). AOAC International.
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 925.10). AOAC International.
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 945.16). AOAC International.
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., & Pedrosa, M. M. (2019b). The effect of extrusion on the bioactive compounds and antioxidant capacity of novel gluten-free expanded products based on carob fruit, pea and rice blends. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.003>
- Ayaz, Q., Naik, H. R., Wani, S. M., Hussain, Z., Amin, T., & Jan, N. (2022). Influence of rice flour on wheat flour based low-gluten flat bread: functional and bread parameters characterization. *Pharma Innov*, 11, 595-599.
- Baek, J. J., & Lee, S. (2014). Functional characterization of brown rice flour in an extruded noodle system. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57(4), 435-440. <https://doi.org/10.1007/s13765-014-4102-4>
- Barton, C. (2014). Opportunities in Plant-Based Proteins. *An Analysis of Soy, Pea and Rice Proteins, and the Future Outlook for Emerging Ingredients*. Datamonitor Consumer.
- Becerra-Tomás, N., Díaz-López, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D., ... & Alba, M. B. (2018). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 37(3), 906-913. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.03.015>
- Bhattacharya, S. (2012). Rheological characterization and modeling of rice flour dough: Effect of parboiling time, moisture content and gum arabic. *Journal of Texture Studies*, 43(5), 400-412 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00350.x>
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K. & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology* 48(5), 893-902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Budi, F. S., Hariyadi, P., Budijanto, S., & Syah, D. (2015). Effect of extrusion temperature and moisture content of corn flour on crystallinity and hardness of rice analogues. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1699, No. 1, p. 030001). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4938286>
- Bulgaru, V., Mazur, M., Netreba, N., Paiu, S., Dragancea, V., Gurev, A., ... & Ghendov-Mosanu, A. (2025). Characterization of Plant-Based Raw Materials Used in Meat Analog Manufacture. *Foods*, 14(3), 483. <https://doi.org/10.3390/foods14030483>
- Cacak-Pietrzak, G., Sujka, K., Książak, J., Bojarszczuk, J., Ziarno, M., Studnicki, M., ... & Dziki,

- D. (2024). Assessment of physicochemical properties and quality of the breads made from organically grown wheat and legumes. *Foods*, 13(8), 1244. <https://doi.org/10.3390/foods13081244>
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food research international*, 43(2), 461-482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>
- Camps, S. G., Lim, J., Ishikado, A., Inaba, Y., Suwa, M., Matsumoto, M., & Henry, C. J. (2018). Co-ingestion of rice bran soymilk or plain soymilk with white bread: effects on the glycemic and insulinemic response. *Nutrients*, 10(4), 449. <https://doi.org/10.3390/nu10040449>
- Carcelli, A., Masuelli, E., Diantom, A., Vittadini, E., & Carini, E. (2020). Probing the functionality of physically modified corn flour as clean label thickening agent with a multiscale characterization. *Foods*, 9(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/foods9081105>
- Carvalho, A. V., Bassinello, P. Z., Mattietto, R. D. A., Carvalho, R. N., Rios, A. D. O., & Seccadio, L. L. (2012b). Processing and characterization of an extruded snack made from broken rice flour and broken common bean flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15, 72-83. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012000100008>
- Carvalho, A. V., Mattietto, R. D. A., Bassinello, P. Z., Koakuzu, S. N., Rios, A. D. O., Maciel, R. D. A., & Carvalho, R. N. (2012a). Processing and characterization of extruded breakfast meal formulated with broken rice and bean flour. *Food Science and Technology*, 32, 515-524. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000073>
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of food science and technology*, 52(6), 3681-3688. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>
- Chung, H. J., & Liu, Q. (2012). Physicochemical properties and in vitro digestibility of flour and starch from pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(1), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.10.004>
- Chung, S. Y., Han, S. H., Lee, S. W., & Rhee, C. (2010). Physicochemical and bread-making properties of air flow pulverized wheat and corn flours. *Food Science and Biotechnology*, 19(6), 1529-1535. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0217-5>
- Conti-Silva, A. C., Bastos, D. H. & Arêas, J. A. (2012). The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. *International Journal of Food Science & Technology* 47(9), 1896-1902. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03047.x>
- Copeland L, Blazek J, Salman H, Tang MC (2009) Form and functionality of starch. *Food Hydrocoll* 23:1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>
- Coulibaly, A., Kouakou, B., & Chen Jie, C. J. (2011). Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality. <https://doi.org/10.3923/ajpnft.2011.1.22>
- Czaja, T., Sobota, A., & Szostak, R. (2020). Quantification of ash and moisture in wheat flour by Raman spectroscopy. *Foods*, 9(3), 280. <https://doi.org/10.3390/foods9030280>
- Czubinski, J., Wroblewska, K., Czyżniewski, M., Górnaś, P., Kachlicki, P., & Siger, A. (2019). Bioaccessibility of defatted lupin seed phenolic compounds in a standardized static in vitro digestion system. *Food Research International*, 116, 1126-1134. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.057>
- De Angelis, D., Pasqualone, A., Allegratta, I., Porfido, C., Terzano, R., Squeo, G., & Summo, C.

- (2021). Antinutritional factors, mineral composition and functional properties of dry fractionated flours as influenced by the type of pulse. *Heliyon*, 7(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06177>
- Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee Yazdi, F., & Haddad Khodaparast, M. H. (2012). Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1238-1245. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0423-4>
- Dhillon, N. K., Toor, B. S., Kaur, A., & Kaur, J. (2022). Characterization and evaluation of yellow pea flour for use in 'MissiRoti'a traditional Indian flat bread in comparison with Desi chickpea flour. *Pharma Innov*, 11, 58-64.
- Di Cairano, M., Condelli, N., Caruso, M. C., Marti, A., Cela, N., & Galgano, F. (2020). Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *Lwt*, 133, 109860. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109860>
- Dongmo, T. D., Mananga, M. J., Tene, S. T., Mangatchaoussou, N., Fogang, A. R. M., Dongmo, H., ... & Kana, M. M. S. (2024). Physicochemical and functional characterization of an infant flour based on yellow corn, soya, carrot and date. *Applied Food Research*, 4(2), 100637. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100637>
- Drewnowski, A., & Conrad, Z. (2024). Pulse crops: nutrient density, affordability, and environmental impact. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1438369. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1438369>
- Du, S. K., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J. L. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>
- Ettoumi, L. Y., & Chibane, M. (2015). Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*, 22(3), 987.
- Eze, C., Ekaette, I., & Ngadi, M. (2024). Impact of ultracentrifugal milling on the thermo-rheological, functional, and physicochemical properties of yellow and green pea flour. *LWT*, 198, 115959. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115959>
- Falade, K. O., & Christopher, A. S. (2015). Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 44, 478-490. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.005>
- Fardet, A. (2016). *Minimally processed foods are more satiating and less hyperglycemic than ultra-processed foods: a preliminary study with 98 ready-to-eat foods*. <https://doi.org/10.1039/c6fo00107f>
- Félix-Medina, J. V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J. A., López-Ángulo, G., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K. & Montes-Ávila, J. (2021). Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 142, 111053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Figuerola, L. E., & Genovese, D. B. (2018). Pectin gels enriched with dietary fibre for the development of healthy confectionery jams. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), 441-453. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5641>
- Freire, V. (2014). La nueva situación epidemiológica de Ecuador. *Revista Informativa-Ops/Oms Representacion Ecuador* 32, 1-100.
- Freschi, J., Doran, L., Malumba, P., & Blecker, C. (2014). Impact of freezing and thawing processes on wheat and potato starch gel syneresis. *Starch-Stärke*, 66(1-2), 208-215.

<https://doi.org/10.1002/star.201200294>

- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Ghavidel, R. A., & Prakash, J. (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1189-1195. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2460>
- Gómez-Aldapa, C., Martínez-Bustos, F., Figueroa, C. J. D., & Ordorica, F. C. A. (1999). A comparison of the quality of whole corn tortillas made from instant corn flours by traditional or extrusion processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 34(4), 391-399. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00287.x>
- Gonzalez, M., Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J., Reyes, I., & Alvarez-Poblano, L. (2020). Effect of the drying temperature on color, antioxidant activity and in vitro digestibility of green pea (*Pisum sativum* L.) flour. *Starch-Stärke*, 72(9-10), 1900228. <https://doi.org/10.1002/star.201900228>
- Graham, D. E., & Phillips, M. C. (1976). The conformation of proteins at the air-water interface and their role in stabilizing foams. *Foams*, 237-255.
- Granito, M., Guerra, M., Torres, A., & Guinand, J. (2004). Effect of processing on the functional properties of *Vigna sinensis*.
- Guan, C., Long, X., Long, Z., Lin, Q., & Liu, C. (2023). Legumes flour: a review of the nutritional properties, physiological functions and application in extruded rice products. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 300-314. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16005>
- Guha, M., & Ali, S. Z. (2011). Changes in rheological properties of rice flour during extrusion cooking. *Journal of texture studies*, 42(6), 451-458 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00306.x>
- Hall, C., Hillen, C. & Garden Robinson, J. (2017). Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry* 94(1), 11-31. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0069-FI>
- Hegazy, H. S., El-Bedawey, A. E. A., Rahma, E. H. & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion processes on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 4(1), 59-66.
- Idate, A., Shah, R., Gaikwad, V., Kumathekar, S., & Temgire, S. (2021). A comprehensive review on antinutritional factors of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pharma Innov*, 10(5), 816-23. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5k.6306>
- Jagannadham, K., Parimalavalli, R., Babu, A. S., & Rao, J. S. (2014). A study on comparison between cereal (wheat) and non cereal (chickpea) flour characteristics. *International Journal Current Trend Research*, 3(2), 70-76.
- James, C. O., & Norman, N. P. (1979). Physico-chemical and functional properties of cowpea powders processed to reduce beany flavor. *J. Food Sci*, 44, 1235-1240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb03488.x>
- Jensen, M. L. & Schwartz, M. B. (2021). Junk food consumption trends point to the need for retail policies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 114(3), 837-838. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab189>

- Johnston, A. J., Mollard, R. C., Dandeneau, D., MacKay, D. S., Ames, N., Curran, J., Bouchard, D.R. & Jones, P. J. (2021). Acute effects of extruded pulse snacks on glycemic response, insulin, appetite, and food intake in healthy young adults in a double blind, randomized, crossover trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 46(7), 704-710. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0572>
- Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., & Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, 61(8), 1058-1066. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.01.017>
- Kanatt, S. R., Arjun, K., & Sharma, A. (2011). Antioxidant and antimicrobial activity of legume hulls. *Food Research International*, 44(10), 3182-3187. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.022>
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 91(3), 403-411. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.015>
- Kaur, M., Kaushal, P., & Sandhu, K. S. (2013). Studies on physicochemical and pasting properties of Taro (*Colocasia esculenta* L.) flour in comparison with a cereal, tuber and legume flour. *Journal of food science and technology*, 50(1), 94-100. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0227-6>
- Kaur, M., Sandhu, K. S., Arora, A., & Sharma, A. (2015). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 628-632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.039>
- Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil chemists' society*, 56(3), 242-258. <https://doi.org/10.1007/BF02671468>
- Kinsella, J. E. (1981). Functional properties of proteins: possible relationships between structure and function in foams. *Food chemistry*, 7(4), 273-288. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(81\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0308-8146(81)90033-9)
- Kinsella, J. E., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280. <https://doi.org/10.1080/10408397609527208>
- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D. & Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology* 53, 561-570. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>
- Kraithong, S., Lee, S., & Rawdkuen, S. (2018). Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.015>
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling power and water solubility of cassava and sweet potatoes flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 164-167. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>
- Kut, K., Bartosz, G., & Sadowska-Bartos, I. (2023). Denaturation and digestion increase the antioxidant capacity of proteins. *Processes*, 11(5), 1362. <https://doi.org/10.3390/pr11051362>
- Lai, L. S., & Kokini, J. L. (1991). Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnology progress*, 7(3), 251-266. <https://doi.org/10.1021/bp00009a009>

- Lai, L. S., & Kokini, J. L. (1990). The effect of extrusion operating conditions on the on-line apparent viscosity of 98% amylopectin (Amioca) and 70% amylose (Hylon 7) corn starches during extrusion. *Journal of rheology*, 34(8), 1245-1266. <https://doi.org/10.1122/1.550085>
- Laleg, K., Cassan, D., Barron, C., Prabhasankar, P., & Micard, V. (2016). Structural, culinary, nutritional and anti-nutritional properties of high protein, gluten free, 100% legume pasta. *PLoS One*, 11(9), e0160721. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160721>
- Lam, R. S., & Nickerson, M. T. (2013). Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure–function approach. *Food chemistry*, 141(2), 975-984. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.038>
- Lapčíková, B., Lapčík, L., Valenta, T., Majar, P., & Ondroušková, K. (2021). Effect of the rice flour particle size and variety type on water holding capacity and water diffusivity in aqueous dispersions. *LWT*, 142, 111082. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111082>
- Lattimer, J. M., & Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266-1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
- Leoro, M. G. V., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2010). Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber-rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. *Food science and technology*, 30, 964-968. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400019>
- Limsangouan, N., Takenaka, M., Sotome, I., Nanayama, K., Charunuch, C. & Isobe, S. (2010). Functional properties of cereal and legume based extruded snack foods fortified with by-products from herbs and vegetables. *Agriculture and Natural Resources* 44(2), 271-279
- Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., & Sosulski, F. W. (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of food science*, 39(2), 368-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x>
- Londoño, L. J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. En *Desarrollo y transversalidad* (Serie Lasallista Investigación y Ciencia, pp. 130–162). Corporación Universitaria Lasallista.
- Lopera-Cardona, S., Gallardo, C., Umaña-Gallego, J., & Gil, L. M. (2016). Comparative study of the physicochemical, compositional and functional properties of eight flours obtained from different plant materials found in Colombia. *Food Science and Technology International*, 22(8), 699-707. <https://doi.org/10.36920/esa-v28n1-9>
- Lorenzo, J. M., Bermúdez, R., Domínguez, R., Guiotto, A., Franco, D., & Purriños, L. (2015). Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Food Control*, 50, 763-769. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.019>
- Lorenzo, J. M., Purriños, L., Temperán, S., Bermúdez, R., Tallón, S., & Franco, D. (2011). Physicochemical and nutritional composition of dry-cured duck breast. *Poultry Science*, 90(4), 931-940. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01001>
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534-2544. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.017>
- Maninder Kaur & Narpinder Singh (2006) Relationships Between Selected Properties of Seeds, Flours, and Starches from Different Chickpea Cultivars, *International Journal of Food Properties*, 9:4, 597-608, <https://doi.org/10.1080/10942910600853774>

- Maninder, K., Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food chemistry*, 104(1), 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.037>
- Manosalvas, A., Taimal, R. & Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. *Revista Bases de la Ciencia* 4(3), 67-80. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911
- Marathe, S. A., Rajalakshmi, V., Jamdar, S. N., & Sharma, A. (2011). Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9), 2005-2012. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.039>
- Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S., & Esteban, R. M. (2009). The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*, 114(3), 1063-1068. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.070>
- Martínez Domínguez, B., Ibáñez Gómez, M., & Rincón León, F. (2002). Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 52(3), 219-231.
- McCorry, M. A., Hamaker, B. R., Lovejoy, J. C., & Eichelsdoerfer, P. E. (2010). Pulse consumption, satiety, and weight management. *Advances in Nutrition*, 1(1), 17-30. <https://doi.org/10.3945/an.110.1006>
- Mcwatters, k. h., & Cherry, J. P. (1977). Emulsification, foaming and protein solubility properties of defatted soybean, peanut, field pea and pecan flours. *Journal of food science*, 42(6), 1444-1447. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb08395.x>
- Mejía-Terán, A., Blanco-Lizarazo, C. M., Mateus, E. L., & Sotelo-Díaz, I. (2024). Techno-functional and physicochemical properties of corn flours as potential food ingredients. *Applied Food Research*, 4(1), 100427. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100427>
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2017). Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: a critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 16(5), 1101-1122. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12279>
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, 103233. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>
- Mir, S. A., Naseem, Z., & Wani, S. M. (2024). Development of composite cereal flour noodles and their technological, antioxidant and sensory characterization during storage. *Food Chemistry Advances*, 4, 100650. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100650>
- Mokhtar, S. M., Swailam, H. M., & Embaby, H. E. S. (2018). Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: Composition of goldenberry juice waste. *Food Chemistry*, 248, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.117>
- Monge, A., Macias, L., Campos, H., Lajous, M., & Mattei, J. (2019). Perceptions and reasons for legume consumption in Mexico. *Nutrition & Food Science*, 49(6), 1232-1242. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2019-0033>
- Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food chemistry*, 72(1), 119-125

[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)

- Moreira, R., Chenlo, F., Arufe, S., & Rubinos, S. N. (2015). Physicochemical characterization of white, yellow and purple maize flours and rheological characterization of their doughs. *Journal of food science and technology*, 52(12), 7954-7963. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1953-6>
- Morita, Â. S., Gois, V. A. D., Praça, E. F., Tavares, J. C., Andrade, J. C. D., Costa, F. B. D., ... & Sousa, A. H. D. (2005). Cristalização de melão pelo processo lento de açucaramento. *Ciência Rural*, 35, 705-708.
- Moscicki, L. (Ed.). (2011). *Extrusion-cooking techniques: applications, theory and sustainability*. John Wiley & Sons.
- Muñoz-Llandes, C. B., Palma-Rodríguez, H. M., González-Olivares, L. G., Bautista-Ávila, M., Román-Gutiérrez, A. D., Gómez-Aldapa, C. A., & Guzmán-Ortiz, F. A. (2023). Lupinus sprouts a new and potential ingredient in extrusion process: Physicochemical, nutritional and structural evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 90, 103515. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103515>
- Muzolf, M., Szymusiak, H., Gliszczyńska-Świgło, A., Rietjens, I. M., & Tyrakowska, B. E. (2008). pH-dependent radical scavenging capacity of green tea catechins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(3), 816-823. <https://doi.org/10.1021/jf0712189>
- Naiker, T. S., Gerrano, A., & Mellem, J. (2019). Physicochemical properties of flour produced from different cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars of Southern African origin. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1541-1550. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03649-1>
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F. & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021b). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT – Food Science and Techonology* 146, 111414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111414>
- Neder-Suárez, D., Vázquez-Rodríguez, J. A., González-Martínez, B. E., Meléndez-Pizarro, C. O., Hernández-Ochoa, L. R., Murowaniecki-Otero, D., Rodríguez-Roque, M.J. & Quintero-Ramos, A. (2024). Effect of using alternative flours on the development and characteristics of a third-generation snacks. *Food Chemistry Advances* 4, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100571>
- Nicole, M., Fei, H. Y., & Claver, I. P. (2010). Characterization of ready-to-eat composite porridge flours made by soy-maize-sorghum-wheat extrusion cooking process. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(2), 171-178. <https://doi.org/10.3923/pjn.2010.171.178>
- Oatway, L., Vasanthan, T., & Helm, J. H. (2001). Phytic acid. *Food Reviews International*, 17(4), 419-431. <https://doi.org/10.1081/FRI-100108531>
- Okezie, B. O., & Bello, A. B. (1988). Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Journal of Food science*, 53(2), 450-454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07728.x>
- Olguín-Arteaga, G. M., Amador-Hernández, M., Quintanar Guzmán, A., Díaz-Sánchez, F., Sánchez-Ortega, I., Castañeda-Ovando, A., ... & Santos-López, E. M. (2015). Correlation between gelatinization enthalpies, water absorption index and water soluble index in grits, corn meals and nixtamalized corn flours. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(2), 303-310.
- Oomah, B. D., Caspar, F., Malcolmson, L. J., & Bellido, A. S. (2011). Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. *Food Research International*, 44(1), 436-441.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.027>

- Oppong, D., Panpipat, W., & Chaijan, M. (2021). Chemical, physical, and functional properties of Thai indigenous brown rice flours. *PLoS One*, 16(8), e0255694. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255694>
- Patil, N. D., Bains, A., Sridhar, K., Rashid, S., Kaur, S., Ali, N., ... & Sharma, M. (2024). Effect of sustainable pretreatments on the nutritional and functionality of chickpea protein: Implication for innovative food product development. *Journal of Food Biochemistry*, 2024(1), 5173736.
- Patil, S., Kaur, C., Puniya, M. K., Mahapatra, A., Lad, J. D., Jalgaonkar, K., & Mahawar, M. (2021). Functional properties of extruded corn flour. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(1), 167-174. <https://doi.org/10.46592/turkager.2021.v02i01.012>
- Patil, S., Sonawane, S. K., Mali, M., Mhaske, S. T., & Arya, S. S. (2020). Pasting, viscoelastic and rheological characterization of gluten free (cereals, legume and underutilized) flours with reference to wheat flour. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2960-2966. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04328-2>
- Patil, S. S., Brennan, M. A., Mason, S. L., & Brennan, C. S. (2016). The effects of fortification of legumes and extrusion on the protein digestibility of wheat based snack. *Foods*, 5(2), 26. <https://doi.org/10.3390/foods5020026>
- Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of agricultural and food chemistry*, 26(3), 716-723.
- Pfeuffer, M., Erbersdobler, H., & Jahreis, G. (2020a). Legumes in human nutrition. Health aspects—Part 1. *Ernahrungs Umschau*, 67(9), <https://doi.org/10.4455/eu.2020.045>
- Pfeuffer, M., Erbersdobler, H., & Jahreis, G. (2020b). Legumes in human nutrition. Health aspects—Part 2. *Ernahr. Umsch*, 67, <https://doi.org/10.4455/eu.2020.049>
- Pineda-Gómez, P., Acosta-Osorio, A. A., Coral, D. F., Rosales-Rivera, A., Sanchez-Echeverri, L. A., Rojas-Molina, I., & Rodríguez-García, M. E. (2012). Physicochemical characterization of traditional and commercial instant corn flours prepared with threshed white corn. *CyTA-Journal of Food*, 10(4), 287-295. <https://doi.org/10.1080/19476337.2011.653694>
- Pismag, R. Y., Rivera, J. D., Hoyos, J. L., Bravo, J. E., & Roa, D. F. (2024). Effect of extrusion cooking on physical and thermal properties of instant flours: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1398908. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1398908>
- Ramírez-Jiménez, A. K., Rangel-Hernández, J., Morales-Sánchez, E., Loarca-Piña, G., & Gaytán-Martínez, M. (2019). Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. *Food Chemistry*, 276, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.166>
- Ravi, R., & Harte, J. B. (2009). Milling and physicochemical properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(2), 258-266. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3435>
- Raya, A., Ghoneem, G. A., & Elhadi, H. A. (2022). Effect of addition corn flour on chemical, physical, rheological and sensory properties of Iraq bread. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 13(6), 95-100. <https://dx.doi.org/10.21608/jfds.2022.145157.1062>
- Riaz, M. N. (2000). *Extruders in food applications* (1st ed., p. 240). CRC Press.
- Rico, D., Cano, A. B. & Martín-Diana, A. B. (2021). Pulse-cereal blend extrusion for improving the antioxidant properties of a gluten-free flour. *Molecules* 26(18), 5578. <https://doi.org/10.3390/molecules26185578>

- Rimbach, G., Ingelmann, H. J., & Pallauf, J. (1994). The role of phytase in the dietary bioavailability of minerals and trace elements.
- Robin, F., Théoduloz, C., & Srichuwong, S. (2015). Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(10), 2152-2159.
- Rodríguez-Marín, M. L., Bello-Pérez, L. A., Yee-Madeira, H., Zhong, Q., & González-Soto, R. A. (2013). Nanocomposites of rice and banana flours blend with montmorillonite: Partial characterization. *Materials Science and Engineering: C*, 33(7), 3903-3908. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.05.027>
- Ronie, M. E., Abdul Aziz, A. H., Mohd Noor, N. Q. I., Yahya, F., & Mamat, H. (2022). Characterisation of Bario rice flour varieties: Nutritional compositions and physicochemical properties. *Applied Sciences*, 12(18), 9064 <https://doi.org/10.3390/app12189064>
- Sabanis, D., & Tzia, C. (2009). Effect of rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 2(1), 68-79. <https://doi.org/10.1007/s11947-007-0037-7>
- Sanjeeva, W. T., Wanasundara, J. P., Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2010). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, 43(2), 617-626. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.024>
- Sathe, S. K., Deshpande, S. S., & Salunkhe, D. K. (1982). Functional properties of winged bean [*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC] proteins. *Journal of Food Science*, 47(2), 503-509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10112.x>
- Seenaa, S., & Sridhar, K. R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. *Food Research International*, 38(7), 803-814. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.007>
- Shahidi, F. (1997). Beneficial health effects and drawbacks of antinutrients and phytochemicals in foods: an overview. <https://doi.org/10.1021/bk-1997-0662.ch001>
- Sharma, R., Sharma, S., Makroo, H. A., & Dar, B. N. (2022). Role of pulses to modulate the nutritive, bioactive and technological functionality of cereal-based extruded snacks: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 3882-3891.
- Shirani, G., & Ganesharanee, R. (2009). Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of food engineering*, 90(1), 44-52.
- Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J. B., Dolan, K. D. & Nyombaire, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT-Food Science and Technology* 50(1), 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.024>
- Simons, C. W., Hall III, C., Tulbek, M., Mendis, M., Heck, T. & Ogunyemi, S. (2015). Acceptability and characterization of extruded pinto, navy and black beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(11), 2287-2291. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6948>
- Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O. J., Moughan, P. J., & Singh, H. (2009). Development and characterization of extruded snacks from New Zealand Taewa (Maori potato) flours. *Food Research International*, 42(5-6), 666-673. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.012>
- Singh, U. (2001). Functional properties of grain legume flours. *Journal of food science and technology (Mysore)*, 38(3), 191-199.

- Sozer, N., Holopainen-Mantila, U., & Poutanen, K. (2017). Traditional and new food uses of pulses. *Cereal Chemistry*, 94(1), 66-73. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-16-0082-FI>
- Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., Pratape, V. M., & Singh, V. (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131(2), 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.008>
- Sridaran, A., Karim, A. A., & Bhat, R. (2012). Pithecellobium jiringa legume flour for potential food applications: Studies on their physico-chemical and functional properties. *Food chemistry*, 130(3), 528-535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.062>
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., ... & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451. <https://doi.org/10.1021/jf048751>
- Stone, A. K., Nosworthy, M. G., Chiremba, C., House, J. D., & Nickerson, M. T. (2019). A comparative study of the functionality and protein quality of a variety of legume and cereal flours. *Cereal Chemistry*, 96(6), 1159-1169. <https://doi.org/10.1002/cche.10226>
- Subagio, A. (2006). Characterization of hyacinth bean (*Lablab purpureus* (L.) sweet) seeds from Indonesia and their protein isolate. *Food chemistry*, 95(1), 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.042>
- Summo, C., De Angelis, D., Ricciardi, L., Caponio, F., Lotti, C., Pavan, S., & Pasqualone, A. (2019). Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103306>
- Tahmasebi, M., Labbafi, M., Emam-Djomeh, Z., & Yarmand, M. S. (2016). Manufacturing the novel sausages with reduced quantity of meat and fat: The product development, formulation optimization, emulsion stability and textural characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.011>
- Tambo Tene, S., Klang, J. M., Ndomou Houketchang, S. C., Teboukeu Boungo, G., & Womeni, H. M. (2019). Characterization of corn, cassava, and commercial flours: Use of amylase-rich flours of germinated corn and sweet potato in the reduction of the consistency of the gruels made from these flours—Influence on the nutritional and energy value. *Food science & nutrition*, 7(4), 1190-1206. <https://doi.org/10.1002/fsn3.902>
- Tas, O., Ertugrul, U., Grunin, L., & Oztop, M. H. (2022). An investigation of functional quality characteristics and water interactions of navy bean, chickpea, pea, and lentil flours. *Legume Science*, 4(1), e136. <https://doi.org/10.1002/leg3.136>
- Tazart, K., Zaidi, F., Salvador, A., & Haros, C. M. (2019). Effect of broad bean (*Vicia faba*) addition on starch properties and texture of dry and fresh pasta. *Food Chemistry*, 278, 476-481. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.036>
- Tchiegang, C., Blandine, L., Kenfack, M., Tenin, D., & Ndjouenkeu, R. (2006). Physicochemical and functional properties of defatted cakes from two Euphorbiaceae from Cameroon: *Ricinodendron heudelotii* (Bail) and *Tetracarpidium conophorum* (Müll. Arg.).
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal chemistry*, 67(6), 551-557.
- Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of food science and technology*, 57(1), 301-309. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5>

- Tiwari, B. K., Gowen, A., & McKenna, B. (Eds.). (2020). *Pulse foods: processing, quality and nutraceutical applications*. Academic Press.
- Tiwari, B., & Singh, N. (2012). Pulse chemistry and technology (p. 331). Cambridge UK: Royal Society of Chemistry
- Toor, B. S., Kaur, A., & Kaur, J. (2022). Fermentation of legumes with *Rhizopus oligosporus*: effect on physicochemical, functional and microstructural properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1763-1772. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15552>
- Tosh, S. M., Farnworth, E. R., Brummer, Y., Duncan, A. M., Wright, A. J., Boye, J. I., ... & Benali, M. (2013). Nutritional profile and carbohydrate characterization of spray-dried lentil, pea and chickpea ingredients. *Foods*, 2(3), 338-349. <https://doi.org/10.3390/foods2030338>
- U.S. Food and Drug Administration. (2008). Health claims: Fiber-containing products, fruits and vegetables, and cancer. En U.S. Department of Health and Human Services (Ed.), *Code of Federal Regulations*. Silver Spring, MD, United States: Author.
- Van Wandelen, C., & Cohen, S. A. (1997). Using quaternary high-performance liquid chromatography eluent systems for separating 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate-derivatized amino acid mixtures. *Journal of Chromatography A*, 763(1-2), 11-22. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(96\)00891-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(96)00891-6)
- Varastegani, B., Zzaman, W., & Yang, T. A. (2015). Investigation on physicochemical and sensory evaluation of cookies substituted with papaya pulp flour. *Journal of Food Quality*, 38(3), 175-183. <https://doi.org/10.1111/jfq.12129>
- Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2017). Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic Indian rice. *Rice Science*, 24(1), 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.05.005>
- Wadchararat, C., Thongngam, M., & Naivikul, O. (2006). Characterization of pregelatinized and heat moisture treated rice flours. *Agriculture and Natural Resources*, 40(6 (Suppl.)), 144-153.
- Wang, N., & Daun, J. K. (2004). Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(9), 1021-1029. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1742>
- Wani, S. A., & Kumar, P. (2014). Comparative study of chickpea and green pea flour based on chemical composition, functional and pasting properties. *Journal of Food Research and Technology*, 2(3), 124-129.
- Wanyo, P., Chamsai, T., Toontom, N., Nghiep, L. K., & Tudpor, K. (2024). Differential effects of in vitro simulated digestion on antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in purple rice bran extracts. *Molecules*, 29(13), 2994. <https://doi.org/10.3390/molecules29132994>
- Wesley, S. D., André, B. H. M., & Clerici, M. T. P. S. (2021). Gluten-free rice & bean biscuit: characterization of a new food product. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05956>
- Xiao, Y., Rui, X., Xing, G., Wu, H., Li, W., Chen, X., ... & Dong, M. (2015). Solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 enhanced antioxidant capacity and DNA damage protective effect of oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Functional Foods*, 16, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.032>
- Yaqoob, S., Cai, D., Liu, M., Zheng, M., Zhao, C. B., & Liu, J. S. (2019). Characterization of microstructure, physicochemical and functional properties of corn varieties using different

analytical techniques. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 572-582.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1596124>

Ye, L., Wang, C., Wang, S., Zhou, S., & Liu, X. (2016). Thermal and rheological properties of brown flour from Indica rice. *Journal of Cereal Science*, 70, 270-274.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.07.007>

Yoshimoto, J., Kato, Y., Ban, M., Kishi, M., Horie, H., Yamada, C., & Nishizaki, Y. (2020). Palatable noodles as a functional staple food made exclusively from yellow peas suppressed rapid postprandial glucose increase. *Nutrients*, 12(6), 1839.
<https://doi.org/10.3390/nu12061839>

Zheng, G. H., & Sosulski, F. W. (1998). Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. *Journal of food science*, 63(1), 134-139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15693.x>

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HARINA DE GARBANZO (*Cicer arietinum*) Y ADICIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa*) EN MATRICES EXTRUIDAS DE MAÍZ (*Zea mays*), MEDIANTE ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS Y SENSORIALES

3.1. INTRODUCCIÓN

El consumo de botanas, especialmente las extruidas, ha aumentado en los últimos años, constituyendo una parte significativa de la dieta diaria de muchos consumidores (Neder-Suarez et al., 2024; Xhabiri et al., 2023). La extrusión es un proceso de cocción termo-mecánica eficiente que combina alta temperatura y presión en tiempos cortos, lo que permite conservar nutrientes, reducir compuestos antinutricionales y extender la vida útil del producto (Félix-Medina et al., 2020; Manosalvas et al., 2019; Singha et al., 2018; Mittal et al., 2012).

Como se ha comentado en capítulos anteriores, tradicionalmente estos productos se elaboran a partir de cereales como el maíz, debido a su alto contenido en almidón y sus buenas propiedades de expansión (Félix-Medina et al., 2020; Pérez-Navarrete et al., 2006). Sin embargo, nutricionalmente, suelen ser calóricos y bajos en micronutrientes esenciales (Neder-Suarez et al., 2024; Jensen & Schwartz, 2021; Brennan et al., 2013).

Para mejorar su perfil nutricional, una estrategia destacada es la incorporación de legumbres en su formulación (Vatanparast et al., 2019; Manosalvas et al., 2019). Las legumbres, como el garbanzo, ofrecen proteínas de alta calidad, fibra, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos, además de bajos niveles de grasa (Gómez-Favela et al., 2021; Wani et al., 2021; Kaur & Prasad, 2021). Combinadas con cereales, mejoran el contenido proteico y el perfil de aminoácidos, compensando deficiencias en lisina y triptófano (Mosibo et al., 2022; Algarni et al., 2019; Wang et al., 2019; Shi et al., 2017). Asimismo, se ha reportado un incremento en la actividad antioxidante y el contenido de polifenoles cuando ambas materias primas se someten a extrusión conjunta (Sahoo et al., 2022; Espinoza-Moreno et al., 2016). Además, los compuestos bioactivos del garbanzo han sido asociados con la reducción del riesgo de obesidad y diabetes tipo 2 (FAO, 2019; Martínez-González et al., 2017).

El aspecto tecnológico y sensorial puede ser el más afectado por la inclusión de legumbres. Pudiendo incrementar la densidad aparente del producto, dureza, reducir la expansión y modificar el color del extruido original (Rico et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Pasqualone et al., 2020; Hegazy et al., 2017; Rodríguez-Miranda et al., 2014).

La utilización de harina de arroz es una buena alternativa para atenuar el oscurecimiento de las botanas con legumbres.

Por tanto, el objetivo del presente capítulo fue evaluar el efecto de la incorporación de garbanzo, adición de arroz y proteína de chícharo en matrices extruidas de maíz, mediante análisis de las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y sensoriales de las formulaciones desarrolladas para seleccionar la formulación con mayor interés comercial y nutricional.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Material

Se utilizó maíz amarillo desgerminado (*Zea mays* L.), harina descascarada de garbanzo (*Cicer arietinum*) y la harina de arroz (*Oryza sativa*) y la proteína de chícharo (*Pisum sativum*), proporcionadas por una empresa regional de botanas. Se diseñaron seis formulaciones con diferentes concentraciones de garbanzo (25-65%) para obtener botanas expandidas “tipo puff” (Tabla 14) mediante extrusión por la empresa Fritos Totis (Tizayuca, Hidalgo, México).

Tabla 14. Composición de ingredientes de cada formulación.

FORMULACIÓN	Garbanzo (%)	Arroz (%)	Maíz (%)	Proteína de chícharo (%)	TOTAL
Formulación Control (FC)	-	-	100	-	100
Formulación 25 (F25)	25	50	20	5	100
Formulación 30 (F30)	30	50	20	-	100
Formulación 50 (F50)	50	25	25		100
Formulación 60 (F60/1)	60	35	5	-	100
Formulación 60 (F60/2)	60	40	-	-	100
Formulación 65 (F65)	65	30	5	-	100

3.2.1.Extrusión

La extrusión de las formulaciones se realizó en una extrusora de doble tornillo (Cletral, modelo Evolum, Francia) en la empresa Fritos Totis S.A de CV (Tizayuca, Hidalgo, México), utilizando los parámetros de la Tabla 15. La humedad de la mezcla inicial es de 10.65-15.6 %, la velocidad de alimentación 200-425 kg/h, la velocidad de tornillo 550-670 rpm, la temperatura del tornillo 154-177 °C, la temperatura del barril (35-140 °C) y 45-58 bar de presión, la tasa de inyección de agua (23-25 L/h), SME (99.51-125.25 W·h/kg) y el diámetro del dado del extrusor 4.6 mm. Los extruidos se almacenaron en bolsas metálicas laminadas de aluminio y las muestras molidas en recipientes de vidrio herméticos y protegidos de la luz.

Tabla 15. Parámetros de extrusión en la elaboración de las diferentes formulaciones

PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN		FORMULACIÓN						
		FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Humedad Pre-extrusión (%)		15.6	11.5	11.33	11.43	10.65	11.34	12.82
Densidad de las harinas (g/mL)		0.0277	0.735	0.745	0.695	0.675	0.706	0.63
Velocidad de alimentación (kg/h)		425	200	200	200	200	200	200
Velocidad de tornillo (rpm)		649	615	550	550	625	575	670
Tasa de inyección de agua (L/h)		23	25	23,99	23	25	25	21
Temperatura de tornillo (C°)		177	169	173	154	175	172	177
Presión tornillo (bar)		60	49	50	58	45	49	49
Temperatura de barril (C°)	Sección 1	28	35	35	35	35	35	35
	Sección 2	66	60	60	60	60	60	60
	Sección 3	106	110	110	110	110	110	110
	Sección 4	128	130	130	130	130	130	130
	Sección 5	145	120	100	110	140	100	130
Humedad Post-extrusión (%)		5.78	4.35	4.25	5.09	3.04	4.2	3.6
Temperatura de secado (°C)		123	127	120	127	127	121	125
Velocidad de cuchilla (rpm)		900	1290	1150	1100	1100	1105	1350
Energía mecánica específica (EME) (W·h/kg)		125.5	113.98	107.12	110.11	99.51	104.9	110.38

FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

3.2.2. Propiedades físicas

Se determinaron las propiedades físicas de los extruidos analizando expansión, la textura, la actividad de agua y color. Para los análisis de expansión y textura se utilizaron extruidos enteros, sin tratamiento previo. En cambio, para la determinación de la actividad de agua, las muestras se trituraron en un procesador de alimentos y para el análisis de color, se molieron en un molino ciclónico (UDY

Corporation, modelo 3010-030, EE. UU.) hasta obtener un tamaño de partícula de 0.5 mm.

a) Expansión

Para determinar la expansión radial (ER), se midió el diámetro transversal de los extruidos utilizando un calibrador Vernier. La relación de expansión se calculó como el cociente entre el diámetro de la sección transversal del extruido y el diámetro del dado del extrusor (Ecuación 9) (Meng et al., 2010). Se analizaron doce muestras por cada formulación de extruido.

$$\text{Expansión radial (ER)} = \frac{\text{Diámetro del extruido (cm)}}{\text{Diámetro del dado (cm)}} \quad (9)$$

La expansión longitudinal (EL) se determinó, midiendo la longitud (cm) del extruido con un calibrador Vernier, tomando seis muestras por formulación.

b) Textura

El análisis de textura de las muestras enteras se realizó según el método Aussanasuwannakul et al. (2022) con algunas modificaciones. Para ello se utilizó una celda de corte Kramer de cinco palas (HDP/KS5), montada en un analizador de textura (modelo TA-XTplus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), equipado con una celda de carga de 50 kg (Stable Micro Systems application study). Se utilizaron 12 unidades por muestra, colocadas como se muestra en la Figura 8. Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA), mediante un ciclo de doble compresión al 50% de deformación, con una velocidad de prueba de 1 mm/s y una velocidad de retorno de 10 mm/s.



Figura 8. Sonda Kramer de 5 palas (HDP/KS5)

Se evaluaron los siguientes parámetros de textura, representados en las Figuras 9 y 10, la dureza (N) se estableció el valor más alto de fuerza registrado, la crujencia se determinó como el número de picos registrado, la crocancia como la distancia recorrida (mm), y fuerza de aplastamiento como el área bajo la curva dividida por la distancia de compresión (N), siguiendo a Do Carmo et al. (2019) y tenacidad ($N \cdot mm$) que se estableció como el área bajo la curva, siguiendo a Aussanasuwannakul et al. (2022).

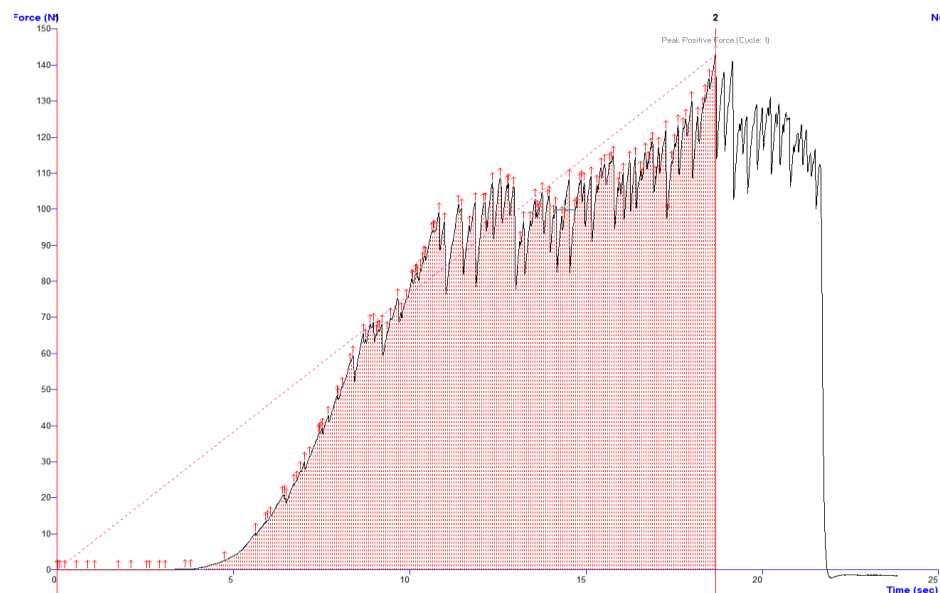


Figura 9. Representación esquemática típica de la curva de deformación para crujencia (nº picos) y tenacidad ($N \cdot s \cdot v = N \cdot mm$)

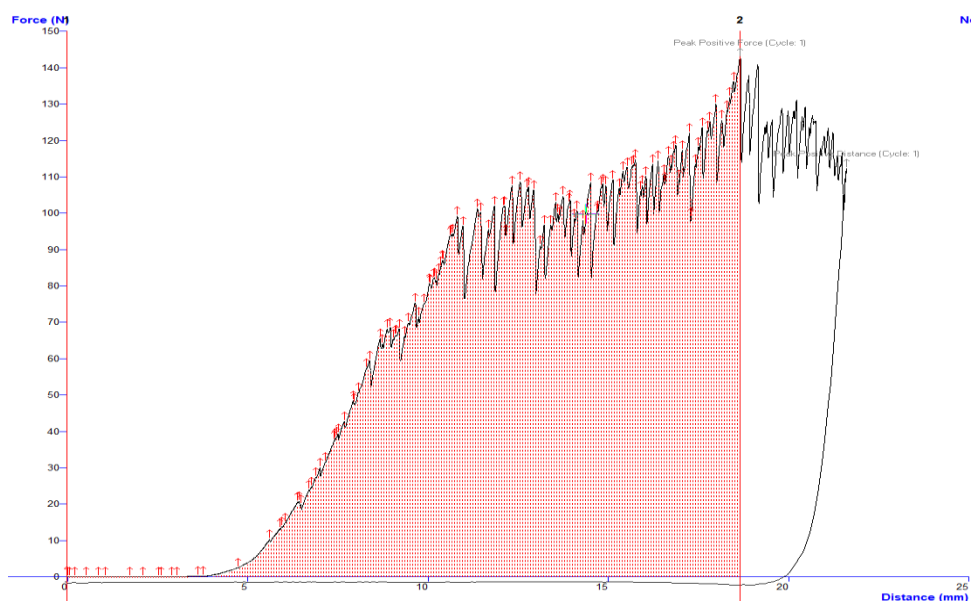


Figura 10. Representación esquemática típica de la curva de deformación para crocancia (mm)

La crujiencia se define como la sensación percibida al masticar un alimento con los dientes, se asocia a alimentos frágiles, de baja densidad, que rompe fácilmente y genera ruidos fuertes y agudos al fracturarse. Mientras que la crocancia se define como el sonido intenso cuando se mastica con los dientes un alimento, son sonidos con frecuencias más bajas que los crujientes y están asociados a alimentos más duros y densos (Jakubczyk et al., 2017; Philipp et al 2017; Lazou & Krokida, 2010).

Se realizaron nueve réplicas por cada formulación. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el software Texture Exponent (versión 6.1.26.0).

c) Actividad de agua

La actividad de agua se determinó según lo descrito en el capítulo 2. Las muestras fueron trituradas previamente.

d) Color

Las muestras fueron molidas previamente. Se analizó por triplicado para determinar los parámetros de color CIEL*a*b* (L^* : blancura/oscuridad; a^* : rojo/verde; b^* : amarillo/azul), utilizando un colorímetro MiniScan EZ 4500L (Hunter Associates Laboratory, VA, USA), bajo condiciones de iluminante

estándar D65 y ángulo de observador de 10°. Los valores de saturación (Croma), Tono (Hue) y diferencia total de color (ΔE) se calcularon a partir de las ecuaciones (10), (11) y (12), respectivamente.

$$Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (10)$$

$$Hue = \tan^{-1}(b/a) \quad (11)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (12)$$

3.2.3. Propiedades tecnológicas

Las muestras de botanas se molieron, salvo para la determinación de la densidad aparente, donde se utilizó piezas enteras. Las propiedades tecnológicas analizadas fueron las siguientes:

a) Densidad aparente (DA)

La densidad aparente se expresó en g/cm³, según el método descrito por Okezie & Bello (1988), con algunas modificaciones. Se pesaron 100 gramos de muestra entera en una jarra de 5 L y se determinó el volumen ocupado. La densidad aparente se calcula utilizando la ecuación (13):

$$Densidad\ aparente\ (DA) = \frac{\text{peso de la muestra (g)}}{\text{volumen del extruido (cm}^3\text{)}} \quad (13)$$

b) Índice de absorción de agua (IAA) e índice de sólidos solubles (ISS)

El índice de absorción de agua (IAA) e índice de sólidos solubles (ISS) se determinó según los métodos establecidos por Anderson et al. (1969) y Olguín-Arteaga et al. (2015), descrito en el capítulo 2.

c) Índice de absorción de aceite (IAAC)

El procedimiento se determinó según Mokhtar et al. (2018) con modificaciones, la metodología se encuentra descrita en el capítulo 2.

d) Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento se determinó siguiendo la metodología de Amiri et al. (2009) y Mokhtar et al. (2018), descrita en el capítulo 2.

3.2.4.Composición química

Se realizaron pruebas para determinar la composición nutrimental de las formulaciones elaboradas, como son humedad, grasa total, fibra dietética total, fibra soluble e insoluble, ceniza, carbohidratos, ácido fítico, contenido de minerales y de aminoácidos. Las muestras previamente fueron molidas en un molino ciclónico (modelo 3010-030, UDY Corporation, EE. UU.) hasta alcanzar un tamaño de partícula de 0.5 mm

a) Humedad

El contenido de humedad de las muestras extruidas se determinó siguiendo el método 925.10 para la determinación de humedad de la Association of Official Analytical Collaboration (AOAC, 2005), cuyos procedimientos se encuentran descritos en el capítulo 2.

b) Grasa total

El contenido total de grasa de los extruidos se determinó según el método 945.16 (AOAC, 2005), descrito en el capítulo 2.

c) Proteína total

Se utilizó el método 920.87 (AOAC, 2005) descrito en el capítulo 2.

d) Fibra dietética (FD)

Los contenidos de fibra dietética total (FDT), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) se determinó utilizando el kit de análisis dietético TDF-100A (Sigma-Aldrich, St. Louis, EE. UU.), de acuerdo con las instrucciones del

fabricante, basadas en los métodos oficiales AOAC 960.52 y 985.29 (AOAC, 1997). La metodología se encuentra descrita en el capítulo 2.

e) Ceniza

El contenido de cenizas se determinó según el método 923.03 (AOAC, 2005), descrito en el capítulo 2.

f) Carbohidratos

Se calcula por diferencia.

g) Ácido fítico

El contenido de ácido fítico se determinó siguiendo la metodología descrita por Muñoz-Llades et al. (2023), presente en el capítulo 2.

h) Contenido de minerales

El contenido mineral se determinó de acuerdo con Lorenzo et al. (2015) en el Centro Tecnológico da Carne (Ourense, España). Según el procedimiento descrito en el capítulo 2.

i) Perfil de aminoácidos y evaluación proteica

La composición de aminoácidos de las formulaciones se determinó de acuerdo a Lorenzo et al. (2011) en el Centro Tecnológico da Carne (Ourense, España). Según el procedimiento descrito en el capítulo 2.

El valor nutritivo de las proteínas se determinó utilizando los requerimientos de aminoácidos esenciales de la FAO (2013), establecidos para niños, adolescentes y adultos a partir de 3 años en adelante. Para ello realizó la conversión de g de aminoácido por 100 g de proteína y se aplicó la siguiente ecuación (14):

$$\text{Puntuación aminoácido (PAA)} = \frac{\text{aminocido esencial}}{\text{Requerimiento de aminoácido esencial (FAO)}} \quad (14)$$

Para determinar la puntuación química de cada una de las formulaciones se tomó los datos del aminoácido limitante, según Sala-Lopez et al. (2018), siguiendo la siguiente ecuación (15):

$$\text{Puntuación química (PQ)} = \frac{\text{aminocido esencial limitante}}{\text{Requerimiento de aminoacido esencial limitante (FAO)}} \times 100 \quad (15)$$

Los resultados son expresados en porcentaje respecto a las recomendaciones de la FAO (2013).

3.2.5. Propiedades antioxidantes

Se utilizó pruebas espectrofotométricas para la cuantificación de polifenoles totales, y para la determinación de la actividad antioxidante mediante las pruebas de DPPH, ABTS y FRAP.

j) Extracción de componentes fitoquímicos

Los compuestos fitoquímicos se extrajeron siguiendo la metodología descrita por Rico et al. (2021), descrito en el capítulo 2.

k) Contenido de polifenoles totales (FT)

La evaluación de los polifenoles totales (FT) se realizó en los extractos de las formulaciones siguiendo el método descrito por Stintzing et al. (2005), presente en el capítulo 2. El contenido de FT se expresó como miligramos de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 gramos de muestra en base seca.

l) Actividad antioxidante (AoxA)

El ensayo de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) se utilizó para la determinación de AoxA en los extractos de las formulaciones según la metodología de Morales y Jiménez-Pérez (2001), descrita en el capítulo 2.

La AoxA se expresó como miligramos de equivalentes de Trolox (TE) en 100 gramos de muestra seca.

El ensayo ABTS se utilizó para la determinación de AoxA en extractos según Londoño (2012), descrito en el capítulo 2.

La AoxA se expresó como mg de equivalentes de ácido ascórbico (AAE)/100 g de muestra (ps).

El ensayo FRAP se utilizó para la determinación de Aoxa en extractos de las formulaciones según la metodología de Thaipong et al. (2006), descrita en el capítulo 2.

La AoxA se expresó como moles de Fe_2 /100 g de muestra.

3.2.6.Evaluación sensorial

Se llevó a cabo una evaluación sensorial mediante una prueba afectiva, con la participación de 30 panelistas consumidores habituales de botanas (hombres y mujeres), con edades comprendidas entre 21 y 54 años, pertenecientes al Área de Química de Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. La prueba se realizó en una sala de cata equipada con cabinas individuales, cumpliendo con los lineamientos establecidos por la norma ISO 11136:2014 (ISO, 2014).

Las muestras se presentaron en platos blancos a temperatura ambiente, bajo iluminación blanca tipo diurna, identificadas con códigos de tres dígitos y dispuestas en orden aleatorio. A cada panelista se le proporcionaron un vaso con agua y se le indicó enjuagarse la boca entre muestras. Para mantener el anonimato, no se solicitó el nombre en el formato de evaluación sensorial y se recogió el consentimiento informado de cada participante, conforme a lo establecido por ASTM (1981).

Se aplicaron dos tipos de pruebas: una prueba de aceptabilidad y una prueba de preferencia. Los atributos evaluados en la prueba de aceptabilidad incluyeron color, sabor, dureza y aceptación general, utilizando una escala hedónica de 7 puntos (1 = "me disgusta mucho" y 7 = "me gusta mucho") según Civile et al. (2024). Para la prueba de preferencia, se utilizó la modalidad de orden por

preferencia, en la cual los panelistas clasificaron las formulaciones desde la de mayor hasta la de menor preferencia.

3.2.7. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) y las correlaciones de Pearson entre las diferentes propiedades de las formulaciones, se realizaron con Statgraphics Centurion XIX versión 19.6.02 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, EE. UU.). Se utilizó la prueba de Tukey para comparar los valores medios con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Propiedades físicas

a) Expansión

La expansión radial es un parámetro importante y deseable en productos extruidos, el cual define la calidad del producto, además este asociado a otros parámetros importantes como son el índice de absorción de agua (IAA), densidad aparente (DA), dureza, crujencia, entre otros parámetros (Neder-Suarez et al 2021b; Shevkani et al 2019; Hegazy et al 2017; Rodríguez-Miranda et al., 2011; Singh, et al., 2007). Los resultados obtenidos en cuanto a expansión (Tabla 16), denotan una reducción en la expansión radial de todas las formulaciones desarrolladas respecto a la FC ($4.00 \pm 0.06\%$), siendo la formulación F50 aquella con menor porcentaje de expansión ($2.98 \pm 0.08\%$) y dentro de las nuevas formulaciones desarrolladas la F65 fue la que mayor expansión tuvo ($3.48 \pm 0.11\%$), existiendo una diferencia de 0.52 con la incorporación de garbanzo en el mejor de los casos respecto a la FC. Estos resultados concuerdan con otros autores (Neder-Suarez et al., 2024; Félix-Medina et al., 2020; Shevkani et al., 2019; Wang et al., 2019; Singha et al., 2018; Hegazy et al., 2017; Shah et al., 2017; da Silva et al., 2014; Gabr et al., 2013; Pastor-Cavada et al., 2011; Pérez-Navarrete et al., 2006). La presencia de harina de legumbres en los extruidos, reduce la expansión al tener un menor contenido de almidón (sustrato idóneo que favorece la expansión) (Gomes et al., 2023; Pérez-Navarrete et al., 2006). Por otro lado, la mayor presencia de proteínas (globulinas) y la fibra dietética también afectan a la

expansión negativamente al tener mayor afinidad que el almidón por el agua (Wani et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020). Otras de las teorías es la interacción de las proteínas y fibra dietética con el almidón, dificultando que esta interactúe con el agua, reduciendo su gelatinización y por lo tanto la expansión (Hegazy et al., 2017, Shah et al., 2017). Shevkani et al. (2019), reportaron que los compuestos diferentes al almidón actúan como un lubricante dentro del extrusor, que limita la gelatinización del almidón, evitando por lo tanto la expansión de las burbujas o alveolos, dando lugar a extruidos más duros. La incorporación de legumbres no es el único factor que afecta a la expansión de los extruidos, las condiciones de extrusión también juegan un papel importante. La reducción del contenido de humedad durante la extrusión favorece la fuerza de fricción en el interior del extrusor, favoreciendo la expansión (Nongmaithem et al., 2024; Neder-Suarez et al., 2021b; Wang et al., 2019; Wani & Kumar et al., 2016b; Singha et al., 2018; da Silva et al 2014). Al igual ocurre con la velocidad de tornillo y la temperatura de barril, los cuales están correlacionados positivamente con la expansión sobre todo a contenidos bajos de harinas de legumbre (Neder-Suarez et al., 2021b; Félix-Medina et al., 2020; Singha et al., 2018; Wani & Kumar et al., 2016b)

En cuanto a la expansión longitudinal (Tabla 16), todas las formulaciones presentaron resultados similares, con valores que oscilaron entre 4.19 ± 0.22 y 4.35 ± 0.05 cm. Las mayores expansiones se observaron en las formulaciones F25 y F60/2, con 4.35 ± 0.05 y 4.32 ± 0.08 cm respectivamente. La única excepción fue la formulación F50, que presentó una expansión de 3.81 ± 0.13 cm. La expansión longitudinal en este estudio, estuvo relacionado positivamente con temperatura de tornillo ($r = 0.6899$, $p \leq 0.01$) (Tabla 17)

Tabla 16. Parámetros físicos de las formulaciones extruidas

PARÁMETROS FÍSICOS	FORMULACIÓN						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Expansión radial, ER	4.00 ± 0.06 ^a	3.32 ± 0.08 ^{bc}	3.29 ± 0.09 ^c	2.98 ± 0.08 ^d	3.06 ± 0.13 ^d	3.29 ± 0.09 ^c	3.48 ± 0.11 ^b
Expansión longitudinal, EL (cm)	4.19 ± 0.22 ^a	4.35 ± 0.05 ^a	4.28 ± 0.13 ^a	3.81 ± 0.13 ^b	4.27 ± 0.19 ^a	4.32 ± 0.08 ^a	4.29 ± 0.18 ^a
Actividad de agua, Aw	0.435 ± 0.011 ^a	0.322 ± 0.00 ^b	0.327 ± 0.000 ^b	0.325 ± 0.002 ^b	0.325 ± 0.001 ^b	0.326 ± 0.001 ^b	0.312 ± 0.002 ^c
<i>L*</i>	85.07 ± 0.37 ^a	82.61 ± 0.23 ^{bc}	82.31 ± 0.12 ^{cd}	79.01 ± 0.61 ^g	81.70 ± 0.33 ^{de}	83.08 ± 0.13 ^b	81.28 ± 0.49 ^e
<i>a*</i>	1.32 ± 0.01 ^f	3.40 ± 0.05 ^c	3.04 ± 0.23 ^d	4.00 ± 0.12 ^a	3.34 ± 0.03 ^c	2.63 ± 0.04 ^e	3.80 ± 0.09 ^b
<i>b*</i>	30.39 ± 0.15 ^d	30.44 ± 2.58 ^d	31.17 ± 0.85 ^c	34.07 ± 0.38 ^a	29.75 ± 0.19 ^d	27.10 ± 0.06 ^e	31.93 ± 0.12 ^b
Chroma	30.25 ± 0.15 ^d	30.77 ± 0.38 ^{cd}	30.33 ± 0.86 ^c	34.45 ± 0.39 ^a	29.83 ± 0.19 ^d	27.26 ± 0.06 ^e	32.26 ± 0.13 ^b
Hue	1.53 ± 0.00 ^a	1.46 ± 0.00 ^c	1.47 ± 0.00 ^b	1.45 ± 0.00 ^c	1.46 ± 0.00 ^c	1.47 ± 0.00 ^b	1.45 ± 0.00 ^c
ΔE	-	3.24 ± 0.10 ^d	3.39 ± 0.40 ^{cd}	7.61 ± 0.65 ^a	4.00 ± 0.60 ^c	4.06 ± 0.21 ^c	4.79 ± 0.28 ^b

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

Tabla 17. Correlaciones de Pearson entre parámetros de extrusión y propiedades físicas de las formulaciones

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE	ER	EL
Humedad Pre-extrusión	0.8727***	0.5972**	-0.7114**	0.0661	0.0431	0.8233***	-0.6534**	0.9103***	-0.0247
Densidad de las harinas	-0.9408***	-0.6080**	0.7766***	0.0191	0.0426	-0.8715***	0.6743**	-0.8325***	0.0699
Velocidad de alimentación	0.9891***	0.6869**	-0.8578***	-0.0626	-0.0883	0.9423***	-0.7485***	0.8399***	-0.0530
Velocidad de tornillo	0.3117	0.3797	-0.2218	-0.0958	-0.0994	0.2465	-0.4600*	0.5671**	0.3429
Tasa de inyección de agua	-0.0099	0.3049	-0.2462	-0.4524*	-0.4538*	0.1180	-0.1615	-0.0628	0.1742
Temperatura de tornillo	0.2855	0.7116**	-0.5065*	-0.5577**	-0.5641**	0.4095	-0.7318**	0.5811**	0.6899**
Presión tornillo	0.7005	0.0955	-0.4103	0.4451	0.4246	0.5864	-0.1331	0.4497*	-0.5655**
Temperatura de barril Sección 1	-0.9891***	-0.6869**	0.8578***	0.0626	0.0883	-0.9423***	0.7485***	-0.8399***	0.0530
Temperatura de barril Sección 2	0.9891***	-0.6869**	-0.8578***	-0.0626	-0.0883	0.9423***	-0.7485***	0.8399***	-0.0530
Temperatura de barril Sección 3	-0.9891***	-0.6869**	0.8578***	0.0626	0.0883	-0.9423***	0.7485***	-0.8399***	0.0530
Temperatura de barril Sección 4	-0.9891***	-0.6869**	0.8578	0.0626	0.0883	-0.9423***	0.7485***	-0.8399*	0.0530
Temperatura de barril Sección 5	0.5251*	0.3137	-0.3115	0.0607	0.0516	0.3879	-0.4650*	0.4669*	0.0744
Humedad Post-extrusión	0.7281**	0.2900	-0.5409	0.2449	0.2234	0.6671**	-0.2914	0.5158	-0.4034
Temperatura de secado	-0.2243	-0.4958*	0.5256	0.4401*	0.4511*	-0.4391*	0.3878	-0.3554	-0.2818
Velocidad de cuchilla	-0.7904***	-0.4263	0.7431	0.1728	0.1938	-0.7699***	0.3878	-0.3522	0.2766
SME	0.7905***	0.5006*	-0.5871	0.2073	0.1857	0.7193	-0.5610**	0.8016***	-0.1051

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; SME: energía mecánica específica; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal

b) Textura:

La textura es uno de los atributos más importantes para determinar la calidad de una botana extruida. La calidad de una botana extruida está asociada a una baja dureza y a una elevada crujencia (Karun et al., 2023).

En este estudio se evaluaron los siguientes parámetros texturales: dureza, crujencia, tenacidad, crocancia y fuerza de aplastamiento, cuyos resultados se presentan en la Tabla 18.

Los valores de dureza oscilaron entre 143.79 ± 1.36 y 208.95 ± 12.80 N, siendo las formulaciones F25, F60/2 (207.23 ± 3.49 N) y F30 (204.84 ± 11.63 N) las que presentaron los valores más elevados, mientras que la formulación control (FC), compuesta exclusivamente por maíz, mostró la menor dureza. La incorporación de legumbres tiende a aumentar la dureza, como ha sido reportado por diversos autores (Nongmaithem et al., 2024; Neder-Suarez et al., 2024; Gomes et al., 2023; Félix-Medina et al., 2020; Shah et al., 2017; Sawant et al., 2013). Este fenómeno se atribuye al mayor contenido de proteínas y fibra en las legumbres, que reduce la disponibilidad de almidón y dificulta la gelatinización (Gomes et al., 2023; Shevkani et al., 2019; Wani & Kumar et al., 2016b). La fibra, en particular, puede retener agua con mayor intensidad que el almidón, lo cual reduce la expansión, estableciendo así una relación inversa con la dureza (Wani et al., 2021; Seth & Rajamanickam, 2012). Además, la interacción proteína-fibra también ha sido vinculada con un aumento de la dureza (Shevkani et al., 2019; Singh et al., 2016). La proteína también interfiere negativamente en la distribución del agua durante la extrusión, dificultando la gelatinización del almidón (Wani & Kumar et al., 2016c).

Tabla 18. Parámetros de textura de las formulaciones extruidas

PARÁMETROS DE TEXTURA	FORMULACIONES						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Dureza (N)	143.79 ± 1.36 ^d	208.95 ± 12.80 ^a	204.84 ± 11.63 ^a	161.13 ± 13.90 ^{bc}	178.09 ± 8.87 ^b	207.23 ± 3.49 ^a	160.94 ± 8.86 ^c
Crujencia (n° de picos)	169.88 ± 13.97 ^a	127 ± 5.02 ^{bc}	123.67 ± 5.77 ^c	113.25 ± 3.61 ^c	116.33 ± 12.38 ^c	122.33 ± 8.30 ^c	141.67 ± 16.06 ^b
Tenacidad (N • s)	1315.71 ± 72.03 ^a	1251.69 ± 54.89 ^{ab}	1128.96 ± 197.79 ^{abc}	759.72 ± 99.65 ^d	933.13 ± 204.38 ^{cd}	1193.53 ± 124.10 ^{ab}	1051.90 ± 197.31 ^{bc}
Crocancia (mm)	21.65 ± 0.40 ^a	18.08 ± 0.45 ^b	17.32 ± 0.41 ^c	16.09 ± 0.34 ^d	15.66 ± 0.52 ^d	17.04 ± 0.20 ^c	18.10 ± 0.38 ^b
Fuerza de aplastamiento (N)	60.88 ± 4.44	69.34 ± 4.07	65.44 ± 12.90	47.27 ± 5.62	59.71 ± 13.27	70.33 ± 7.67	58.18 ± 10.26

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

Otros autores como Neder-Suarez et al. (2024) y Shah et al. (2017) reportaron una correlación negativa entre la dureza y la expansión radial respectivamente, no observándose en este trabajo ($r = -0.3801$, $p > 0.05$)(Tabla 19). En este estudio, tampoco se encontró correlación significativa entre la dureza y el contenido de garbanzo, proteína o fibra dietética. No obstante, se observó que las formulaciones con garbanzo presentaron mayores niveles de dureza en comparación con la formulación exclusivamente de maíz. Además, se halló una correlación negativa entre la dureza y el contenido de maíz ($r = -0.5643$, $p \leq 0.01$) y positiva con el contenido de arroz ($r = 0.8647$, $p \leq 0.001$)(Tabla 20). También se registró una correlación negativa de la dureza con la crujencia ($r = -0.4419$, $p \leq 0.05$) (Tabla 20), por lo que, al aumentar la dureza del producto, se reduce la crujencia.

Las condiciones de extrusión como la humedad, temperatura y velocidad de tornillo, si pueden influir en la dureza (Pardhi et al., 2017; Wani & Kumar et al., 2016b). Nongmaithem et al., (2024), Wang et al. (2019), Pardhi et al. (2017) y Wani & Kumar et al. (2016b), observaron una correlación positiva entre la inyección de agua durante la extrusión y la dureza, donde el agua actúa con una función plastificante, reduciendo la viscosidad y la disipación de energía y en consecuencia tenemos una mayor densidad aparente y dureza. En este estudio ocurrió lo contrario, la humedad de la mezcla cruda ($r = -0.6492$, $p \leq 0.01$) y la inyección de agua del extrusor ($r = -0.7032$, $p \leq 0.01$) (Tabla 20), tuvieron una correlación negativa, por lo que, al incrementar el contenido de agua, la dureza se redujo, además también tuvo una correlación negativa con la energía mecánica específica (SME), ($r = -0.4736$, $p \leq 0.05$) (Tabla 21). Los hallazgos obtenidos en este estudio son semejantes con los de Neder-Suarez et al. (2021b), quienes también observaron una reducción de la dureza al aumentar el contenido de agua en la mezcla cruda y en el extrusor.

La crujencia determina la fracturabilidad y la estructura porosa de la botana bajo cizallamiento de la masa. Las mayores crujencias están asociados a estructuras muy porosas, a alveolos de aires de mayor tamaño y de paredes más finas (Jin et al., 1995), por lo que se necesita menor fuerza para romper estos alveolos (da Silva et al., 2014). Las botanas crujientes se fracturan al someterse a tensión, por lo que no tienden a deformarse antes de fracturarse (Aussanasuwannakul et al., 2022).

Los resultados de crujencia variaron entre 113.25 ± 3.61 y 169.88 ± 13.97 picos. La formulación con mayor crujencia fue la formulación FC, mientras que aquellas con menor crujencia fueron la F50 y la F60/1 (116.33 ± 12.38 picos).

La crujencia mostró una correlación positiva altamente significativa con la expansión radial ($r = 0.8497$, $p \leq 0.001$) (Tabla 19), mientras que se vio negativamente influenciada por la presencia de garbanzo ($r = -0.5809$, $p \leq 0.01$) (Tabla 20). En concordancia con los resultados de este estudio, Gomes et al. (2023) y Tadesse et al. (2019) también observaron que el uso de legumbres en extruidos reducía tanto la crujencia como la expansión radial, efecto atribuido al incremento en la proporción de proteínas y fibra dietética, así como a la disminución del contenido de almidón disponible.

La crujencia está directamente relacionada con la estructura de burbujas o alveolos de aire formados durante la extrusión. Cuando la expansión radial es limitada, se generan alveolos más pequeños, numerosos y con paredes más gruesas y rígidas, lo que dificulta su ruptura y, por ende, reduce la percepción de crujencia (Aussanasuwannakul et al., 2022; deMesa et al., 2009). Este comportamiento coincide con lo reportado por Monnet et al. (2019), quienes señalaron que, al aumentar la sustitución de harina de cereal por legumbre, el menor peso molecular de las proteínas sustituidas y la reducción en la proporción de amilosa y amilopectina afectaron negativamente la viscosidad de la masa fundida, dificultando la formación y expansión de las burbujas.

Tabla 19. Correlaciones de Pearson entre propiedades físicas/antioxidantes y parámetros de textura/propiedades antioxidantes de las formulaciones

Variables	Dureza	Crujencia	Tenacidad	Crocancia	Fuerza de aplastamiento	PT	DPPH	ABTS	FRAP
Aw	-0.5281*	0.7484***	0.4062	0.8380***	-0.0283	-0.3499	-0.0379	0.2996	-0.2680
L*	0.0226	0.6689**	0.7624***	0.7359***	0.4763*	-0.6229**	0.1177	0.0197	0.1309
a*	0.1683	-0.6829**	-0.6221**	-0.7665***	-0.2880	0.5458*	0.0143	-0.2085	0.1032
b*	-0.4940*	-0.0681	-0.5030*	-0.0882	-0.5777**	0.6506**	-0.0540	0.1211	-0.3578
Chroma	-0.4817*	-0.0881	-0.5146*	-0.1106	-0.5779**	0.6564**	-0.0518	0.1127	-0.3484
Hue	-0.3399	0.7622***	0.5499**	0.8367***	0.1506	-0.4272	-0.0241	0.2783	-0.2050
ΔE	0.0799	-0.6885	-0.7033**	-0.7757***	-0.3798	0.5486**	-0.1709	-0.0669	0.0131
ER	-0.3801	0.8497***	0.6029**	0.9325***	0.1526	-0.5000*	0.1253	0.0616	0.0684
EL	0.4301	0.2179	0.4523*	0.1940	0.4457*	-0.4771*	0.1828	-0.3982	0.3333
PT	-0.2409	-0.4157	-0.6910**	-0.4313	-0.5758**	-	-0.1426	0.0596	-0.3453
DPPH	-0.0452	0.1968	0.1635	0.0691	0.1402		-	-0.0238	-0.0340
ABTS	-0.2427	0.2703	0.0540	0.1074	-0.0266			-	-0.3509
FRAP	0.2753	-0.0230	0.2451	-0.0146	0.3167				-

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Aw: actividad de agua; L^* : blancura/oscuridad; a^* : rojez/verdor; b^* : amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE : diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal; PT: polifenoles totales

Tabla 20. Correlaciones de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y parámetros de textura de las formulaciones

Variables	Dureza	Crujencia	Tenacidad	Crocancia	Fuerza de aplastamiento
Humedad Pre-extrusión	-0.6492**	0.8841***	0.4286	0.9311***	-0.0608
Densidad de las harinas	0.7080**	- 0.8250***	-0.3446	-0.8386***	0.1048
Velocidad de alimentación	-0.5832**	0.8045***	0.4253	0.8701***	-0.0278
Velocidad de tornillo	-0.4678*	0.6038**	0.2827	0.5107*	0.0317
Tasa de inyección de agua	0.7032**	-0.1983	0.3825	0.0163	0.4519*
Temperatura de tornillo	0.5832**	0.5096*	0.5317*	0.4473*	0.3932
Presión tornillo	-0.6009**	0.4614*	0.0217	0.5621**	-0.3423
Temperatura de barril Sección 1	0.5832**	- 0.8045***	-0.4253	-0.8701***	0.0278
Temperatura de barril Sección 2	-0.5832**	0.8045***	0.4253	0.8701***	-0.0278
Temperatura de barril Sección 3	0.5832**	- 0.8045***	-0.4253	-0.8701***	0.0278
Temperatura de barril Sección 4	0.5832**	- 0.8045***	-0.4253	-0.8701***	0.0278
Temperatura de barril Sección 5	-0.6492**	0.5422*	0.1002	0.4487*	-0.1601
Humedad Post-extrusión	-0.3658	0.4747*	0.2316	0.6435**	-0.1363
Temperatura de secado	-0.2840	-0.2123	-0.4088	-0.2752	-0.3469
Velocidad de cuchilla	0.3716	-0.3253	-0.1057	-0.3655	0.1011
SME	-0.4736*	0.7652***	0.4456*	0.9045***	-0.0345
Garbanzo	0.1514	-0.5809**	-0.5125*	-0.7672***	-0.1351
Arroz	0.8647***	-0.6505**	-0.0359	-0.6144	0.3460
Maíz	-0.5643**	0.7350***	0.3579	0.8379***	-0.0966
APC	0.4443*	-0.0729	0.3043	0.0831	0.3043

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; SME: energía mecánica específica; APC: aislado de proteína de chícharo

Tabla 21. Correlaciones de Pearson entre parámetros de textura y análisis sensorial de las formulaciones

Variables	Dureza	Crujencia	Tenacidad	Crocancia	Fuerza de aplastamiento	Color	Sabor	Dureza	Aceptación global
Dureza	-	-0.4419*	0.3173	-0.3996	0.6463**	0.0382	-0.0151	0.1877	0.1162
Crujencia		-	0.6558**	0.8750***	0.2502	-0.3830	-0.4774*	-0.6174**	-0.5414*
Tenacidad			-	0.5900**	0.8588***	-0.4032	-0.5227*	-0.5249*	-0.5083*
Crocancia				-	0.0966	-0.3002	-0.5702**	-0.6577**	-0.6130**
Fuerza de aplastamiento					-	-0.2842	-0.2863	-0.2125	-0.2209
Color						-	0.5524**	0.6891**	0.6328**
Sabor							-	0.7232**	0.5813**
Dureza								-	0.9147***
Aceptación global									-

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

La reducción en la crujencia en este trabajo se vinculó al aumento en el contenido de proteínas ($r = -0.6257$, $p \leq 0.01$) y fibra dietética insoluble ($r = -0.5203$, $p \leq 0.01$) (Tabla 22), que afecta negativamente la expansión de los extruidos. Shirani & Ganesharanee (2009) observaron que, al incorporar harina de garbanzo en extruidos a base de arroz, se incrementaba la densidad aparente y se reducía la expansión, lo que resultaba en una mayor resistencia a la rotura. Bhattacharya & Prakash (1994) también reportaron que una mayor incorporación de proteínas disminuye la expansión de los extruidos. No obstante, los hallazgos de este trabajo difieren de los de Natabirwa et al. (2020), quienes informaron mejoras en la crujencia y crocancia al incrementar el contenido de proteínas y almidón proveniente de legumbres.

Por otro lado, se observó al igual que da Silva et al. (2014), que existe una correlación positiva entre la crujencia y SME ($r = 0.7652$, $p \leq 0.001$) (Tabla 20). En contraste con lo informado por Saeleaw et al. (2012), quienes observaron una disminución en el tamaño y número de alveolos y en la expansión al aumentar la humedad de la mezcla, en este estudio se encontró una correlación positiva entre la crujencia para la humedad de la mezcla cruda ($r = 0.8841$, $p \leq 0.001$), pero no con la inyección de agua al extrusor (Tabla 20).

Tabla 22. Correlaciones de Pearson entre propiedades químicas y parámetros de textura de las formulaciones

Variables	Dureza	Crujencia	Tenacidad	Crocancia	Fuerza de aplastamiento
Humedad	-0.5001*	0.4573*	0.1209	0.5125*	-0.2040
Proteína	0.2032	-0.6257**	-0.5206*	-0.7694***	-0.1536
Grasa	-0.5111*	0.2663	-0.1592	0.0471	-0.2171
HC	0.0158	0.5453*	0.6277**	0.7071**	0.3258
FDT	-0.2471	-0.3658	-0.6480**	-0.4527*	-0.5188
FDI	-0.1687	-0.5203*	-0.7032**	-0.6759**	-0.4322*
FDS	-0.3491	0.2653	-0.0240	0.0576	-0.0644*
Ceniza	0.2472	-0.7034**	-0.5741**	-0.8750***	-0.1469
AF	0.6670**	-0.7484***	-0.2810	-0.7365***	0.1187

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.0001$; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico

La tenacidad es la cantidad total de energía mecánica que un alimento puede absorber hasta su ruptura (Peleg, 2019), fue calculada como el área bajo la curva de cizallamiento, osciló entre 759.72 ± 99.65 y 1315.71 ± 72.03 N·mm, siendo la

formulación FC la más tenaz, seguida de F25 ($1251.69 \pm 54.89 \text{ N}\cdot\text{mm}$), y F50 la de menor tenacidad. Se observó una correlación negativa con el contenido de garbanzo ($r = -0.5125$, $p \leq 0.05$) (Tabla 2) y positiva con parámetros texturales como crujencia ($r = 0.6558$, $p < 0.01$) y crocancia ($r = 0.5900$, $p \leq 0.01$) (Tabla 21).

Los valores de crocancia variaron entre 15.66 ± 0.52 y $21.65 \pm 0.40 \text{ mm}$, siendo la formulación FC la más crocante, seguida de F65 ($18.10 \pm 0.38 \text{ mm}$) y F25 ($18.08 \pm 0.45 \text{ mm}$). La formulación F60/1 presentó la menor crocancia. Se identificó una correlación negativa con el contenido de garbanzo ($r = -0.7672$, $p \leq 0.001$) (Tabla 20) y proteína ($r = -0.7694$, $p \leq 0.001$) (Tabla 22), y positiva con el contenido de maíz ($r = 0.8379$, $p \leq 0.001$) (Tabla 20), índice de absorción de agua (IAA) ($r = 0.9140$, $p \leq 0.001$) (Tabla 23), crujencia ($r = 0.8750$, $p \leq 0.001$) (Tabla 21) y SME ($r = 0.9045$, $p \leq 0.001$) (Tabla 20). También se observó una correlación negativa con el índice de solubilidad en agua (ISS) ($r = -0.8587$, $p \leq 0.001$), densidad aparente (DA) ($r = -0.8827$, $p \leq 0.001$) (Tabla 23) y fibra dietética total ($r = -0.4527$, $p \leq 0.05$) (Tabla 22).

Tabla 23. Correlaciones de Pearson entre parámetros de textura/propiedades antioxidantes y propiedades tecnológicas de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA
Dureza	-0.4017	0.5143*	-0.5379*	0.6776**	0.3123
Crujencia	0.8455***	-0.7824***	0.7445***	-0.8635***	-0.8570***
Tenacidad	0.6057**	-0.4539*	0.4437*	-0.3833	-0.6386**
Crocancia	0.9140***	-0.8587***	0.8162***	-0.8324***	-0.8827***
Fuerza de aplastamiento	0.1683	-0.0108	0.0330	0.0611	-0.2229
PT	-0.4959*	0.3909	-0.4064	0.2715	0.4061
DPPH	0.1034	-0.0200	0.0597	-0.1619	-0.2762
ABTS	0.2788	-0.3724	0.2983	-0.1971	-0.1199
FRAP	-0.1712	0.2351	-0.1214	0.1548	-0.0679

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; PT: polifenoles totales; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente

La fuerza de aplastamiento se define como la fuerza necesaria para comprimir una sustancia sólida (Allai et al., 2022), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la fuerza de aplastamiento entre las formulaciones evaluadas.

c) Actividad de agua (A_w)

Los resultados se pueden observar en la Tabla 24. La muestra con mayor A_w fue la FC (0.435 ± 0.011) y la que menos la F65 (0.312 ± 0.002).

d) Color:

En la Tabla 16 se presentan los resultados del análisis de color en el espacio CIEL*a*b*, donde L^* es la luminosidad (0-100), a^* es verde-rojo (-128 a 127) y azul-amarillo b^* (-128 a 127) mientras que en la Figura 11 se muestra la apariencia visual de las diferentes formulaciones.

Se observó una reducción en la luminosidad (L^*) de todas las formulaciones en comparación con la formulación control (FC), cuyo valor fue de 85.07 ± 0.37 . Las formulaciones que presentaron las mayores disminuciones fueron F50 (79.01 ± 0.61) y F65 (81.28 ± 0.49). La luminosidad (L^*) mostró una correlación negativa significativa con el contenido de garbanzo ($r = -0.6277$, $p \leq 0.01$), y una correlación positiva con el contenido de maíz ($r = 0.5666$, $p \leq 0.01$) (Tabla 24).



Figura 11. Apariencia de las diferentes formulaciones extruidas de garbanzo, arroz, maíz y proteína de chícharo.

Asimismo, L^* también se relacionó significativamente con varios parámetros del proceso de extrusión, presentando correlaciones positivas con la humedad inicial de la masa ($r = 0.5794$, $p \leq 0.01$), la temperatura del tornillo ($r = 0.7116$, $p \leq 0.01$) y la energía mecánica específica (SME) ($r = 0.5006$, $p \leq 0.05$). En contraste, mostró correlación negativa con la temperatura de secado ($r = -0.4958$, $p \leq 0.05$) (Tabla 17). La formulación F60/2 (83.08 ± 0.13) fue la que menos redujo la

luminosidad con respecto a la FC, lo cual podría atribuirse a su mayor contenido de arroz, que habría compensado el efecto reductor del garbanzo sobre L^* .

Los resultados en este estudio referente en lo que respecta a la reducción de L^* al incorporar legumbres en extruidos de cereales, concuerdan con otros autores como Rico et al. (2021) quienes trabajaron con lenteja, Neder-Suarez et al. (2021b) con frijoles negro, Félix-Medina et al. (2020) con frijoles, Vadukapuram et al. (2014) con frijol pinto y Hardacre et al. (2006) quienes trabajaron con lentejas.

Respecto a la componente de color rojo (a^*), se observó un incremento significativo frente a la FC (1.32 ± 0.01), siendo más elevados los valores en las formulaciones F50 (4.00 ± 0.12) y F65 (3.80 ± 0.09). La formulación F60/2 (2.63 ± 0.04) fue la que menos aumentó a^* entre las nuevas formulaciones, posiblemente debido a su alto contenido de arroz (40%), el cual habría mitigado el aumento de rojez causado por el garbanzo, a pesar de que esta formulación contiene un 60% de dicha legumbre.

La variable a^* se correlacionó positivamente con el contenido de garbanzo ($r = 0.6904$, $p \leq 0.01$) y arroz ($r = 0.5414$, $p \leq 0.05$), y negativamente con el contenido de maíz ($r = -0.7610$, $p \leq 0.001$) (Tabla 24). En cuanto a los parámetros de extrusión, a^* mostró correlaciones negativas con la humedad inicial de la masa ($r = -0.7114$, $p \leq 0.01$) y la temperatura del tornillo ($r = -0.5065$, $p \leq 0.05$) (Tabla 17). Estos hallazgos concuerdan con trabajos previos realizados con legumbres en extrusión, como los de Wani et al. (2021) con chícharo, y los de Félix-Medina et al. (2020), Singha et al. (2018) y Sawant et al. (2013) con garbanzo.

En cuanto al grado de color amarillo (b^*), también se observaron diferencias significativas. Las formulaciones F60/2 y F60/1 presentaron los valores más bajos, incluso por debajo de la FC (30.39 ± 0.15), mientras que la formulación F50 alcanzó el valor más alto de b^* (34.07 ± 0.38).

Por otro lado, el tono (Hue) y la saturación (croma) también variaron significativamente ($p \leq 0.05$). El tono disminuyó con el incremento en el

contenido de garbanzo ($r = -0.7721$, $p \leq 0.001$), arroz ($r = -0.6764$, $p \leq 0.001$) y maíz ($r = -0.8877$, $p \leq 0.001$) (Tabla 24). El croma aumentó en todas las formulaciones, excepto en F60/1 (29.83 ± 0.19) y F60/2 (27.26 ± 0.06), cuyos valores fueron inferiores al de la FC (30.25 ± 0.15).

La diferencia total de color (ΔE) fue mayor en la formulación F50 (7.61 ± 0.65), seguida por F65 (4.79 ± 0.28), siendo F25 la que presentó la menor diferencia respecto a la FC (3.24 ± 0.10). El valor de ΔE mostró una correlación positiva con el contenido de garbanzo ($r = 0.7202$, $p \leq 0.01$) y negativa con el contenido de maíz ($r = -0.6597$, $p \leq 0.01$) (Tabla 24). También se correlacionó positivamente con la velocidad del tornillo ($r = 0.4600$, $p \leq 0.05$) y negativamente con la humedad inicial de la masa ($r = -0.6534$, $p \leq 0.01$), la temperatura del tornillo ($r = -0.7318$, $p \leq 0.01$) y la SME ($r = -0.5610$, $p \leq 0.01$) (Tabla 17). Los efectos observados en nuestro estudio en cuanto a la incorporación de legumbre en extruidos sobre L^* y a^* están en concordancia con los hallazgos de Félix-Medina et al. (2020).

Tabla 24. Correlaciones de Pearson entre propiedades físicas/ingredientes y propiedades físicas de las formulaciones

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE	ER	EL
Aw	-	0.6827**	-0.8796***	-0.0931	-0.1192	0.9555***	-0.7418***	0.7941***	-0.0477
L*		-	-0.8891***	-0.6351**	-0.6527**	0.8012***	-0.9533***	0.7770***	0.5264*
a*			-	0.5127*	0.5360*	-0.9643***	0.8683***	-0.7827***	-0.2375
b*				-	0.9996***	-0.2810	0.4858*	-0.1910	-0.6107**
Chroma					-	-0.3071	0.5052*	-0.2123	-0.6082**
Hue						-	-0.8263***	0.8247***	0.1006
ΔE							-	-0.8097***	-0.4728*
ER								-	0.2851
EL									-
Garbanzo	-0.7837***	-0.6277**	0.6904**	-0.0471	-0.0241	-0.7721***	0.7202**	-0.6575**	-0.0242
Arroz	-0.8073***	-0.2703	0.5414*	-0.1968	-0.1773	-0.6764**	0.3292	-0.6013**	0.3564
Maíz	0.9605***	0.5666**	-0.7610***	0.1346	0.1084	0.8877***	-0.6597**	0.7616***	-0.1773
APC	-0.1746	0.1074	0.1577	-0.0524	-0.0460	-0.1940	-0.1216	-0.0367	0.2745

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal; APC: aislado de proteína de chícharo

3.3.2. Propiedades tecnológicas

Los resultados de las propiedades tecnológicas se encuentran en la Tabla 25. La DA de los extruidos varió de $0.029 \pm 0.000 \text{ g/cm}^3$ a $0.061 \pm 0.002 \text{ g/cm}^3$, incrementándose en las formulaciones con garbanzo. La mayor DA se observó en la formulación F50, seguida de F60/1 ($0.058 \pm 0.001 \text{ g/cm}^3$), mientras que la menor correspondió a la formulación FC. Diversos autores han reportado que el aumento de legumbres en la formulación tiende a incrementar la DA (Félix-Medina et al., 2020; Shevkani et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Gabr et al., 2013; Hardacre et al., 2006).

Se ha reportado que mayores temperaturas de extrusión y velocidades de tornillo reducen la DA al favorecer la gelatinización del almidón y, por ende, la expansión (Neder-Suarez et al., 2024; Gomes et al., 2023; Félix-Medina et al., 2020; Singha et al., 2018; da Silva et al., 2014; Ozer et al., 2004). En este trabajo, coincide con lo reportado, observándose correlación negativa entre la DA y velocidad de tornillo ($r = -0.6096, p \leq 0.01$) y la temperatura de tornillo ($r = -0.5986, p \leq 0.01$) (Tabla 26).

La mayor proporción de proteínas y fibra en las legumbres, junto con la reducción del almidón gelatinizado, disminuye la capacidad de expansión de los extruidos (Wang et al., 2019; Shevkani et al., 2019; Hegazy et al., 2017; Pastor-Cavada et al., 2013; Pastor-Cavada et al., 2011; Hardacre et al., 2006). Las proteínas incrementaron la DA ($r = 0.5880, p \leq 0.01$) (Tabla 27) y redujeron la expansión radial (ER) ($r = -0.7232, p \leq 0.01$) (Tabla 28) en este trabajo, probablemente por su interacción con el agua y el almidón, lo que reduce la extensibilidad de la masa. La fibra, por su parte, tiende a romper las burbujas de aire durante la expansión (Gomes et al., 2023; Wani et al., 2021); da Silva et al. (2014) encontraron que una buena ER se asocia a baja DA ($r = -0.9040, p \leq 0.001$) (Tabla 29) y mayor crujencia ($r = 0.8497, p \leq 0.001$) (Tabla 19), correlaciones que también se presentaron en este estudio.

Tabla 25. Parámetros tecnológicos de las formulaciones extruidas

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS	FORMULACIÓN						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Índice de absorción de agua, IAA (g/g)	5.58 ± 0.08 ^a	4.21 ± 0.03 ^b	4.11 ± 0.07 ^{bc}	3.72 ± 0.18 ^d	3.97 ± 0.10 ^c	4.01 ± 0.15 ^c	4.02 ± 0.11 ^{bc}
Índice de sólidos solubles, ISS (%)	3.20 ± 0.48 ^d	15.04 ± 0.29 ^c	16.22 ± 0.25 ^b	16.21 ± 0.58 ^b	15.99 ± 0.52 ^b	16.57 ± 0.54 ^{ab}	17.26 ± 0.83 ^a
Índice de absorción de aceite, IAAC (mL/g)	2.28 ± 0.06 ^a	1.37 ± 0.11 ^{bc}	1.27 ± 0.05 ^{cd}	1.21 ± 0.10 ^d	1.44 ± 0.06 ^b	1.33 ± 0.11 ^{bcd}	1.30 ± 0.09 ^{bcd}
Capacidad de hinchamiento, SC (mL/g)	5.03 ± 0.28 ^c	6.43 ± 0.06 ^a	6.4 ± 0.00 ^a	6.43 ± 0.06 ^a	6.50 ± 0.10 ^a	6.64 ± 0.41 ^a	5.91 ± 0.09 ^b
Densidad aparente, DA (g/cm ³)	0.029 ± 0.000 ^e	0.044 ± 0.001 ^{cd}	0.046 ± 0.001 ^c	0.061 ± 0.002 ^a	0.058 ± 0.001 ^{ab}	0.053 ± 0.002 ^b	0.039 ± 0.001 ^d

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si (p>0.05), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

El índice de absorción de agua (IAA) mide la cantidad de agua que puede absorber el almidón y por lo tanto se puede utilizar como índice de gelatinización, ya que el almidón nativo no absorbe agua a temperatura ambiente (Neder-Suarez et al., 2024; Shevkani et al., 2019; Lazou & Krokida, 2010; Anderson, 1982). Es un parámetro que mide el volumen de almidón hinchado en agua en exceso, además de la integridad del almidón (Singha et al., 2018).

El IAA se redujo en las formulaciones con garbanzo, variando los resultados desde 3.72 ± 0.18 g/g a 5.58 ± 0.08 g/g. La formulación mayor IAA fue la formulación FC, seguida de la F25 (4.21 ± 0.03 g/g). La formulación con menor IAA fue la formulación F50, seguida de la F60/1 (3.97 ± 0.10 g/g).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Wani & Kumar et al. (2016c), quienes observaron que el aumento de legumbres reduce el IAA, hallazgo también descrito por Neder-Suarez et al. (2024), Shevkani et al. (2019) y Lazou & Krokida, 2010. Este menor IAA puede estar provocado por la mayor presencia de proteína provenientes de las legumbres, que favorecen la formación de enlaces proteicos con la amilosa y amilopectina, impidiendo su gelatinización (Fernandez-Gutierrez et al. 2004), además de un menor contenido de almidón en las legumbres.

En el trabajo de Lazou & Krokida (2010) correlacionaron positivamente el IAA con la temperatura de extrusión y la tasa de inyección de agua, debido al incremento de almidón gelatinizado, este estudio fue el único en correlacionar IAA con la temperatura de extrusión ($r = 0.4685$, $p \leq 0.05$) (Tabla 26). Por otro lado, este mismo autor relacionó la velocidad de alimentación con menores IAA, al reducir el tiempo de residencia y de energía mecánica específica (SME), existiendo correlación positiva entre IAA y SME ($r = 0.8181$, $p \leq 0.001$) también en este trabajo, lo que concuerda con Lazou & Krokida (2010). Por otro lado, no coincide en la correlación negativa de IAA con velocidad de alimentación reportada por Lazou & Krokida (2010) siendo positiva en este trabajo ($r = 0.9574$, $p \leq 0.001$) (Tabla 26). SME se define como indicador del efecto de cizallamiento Wani & Kumar et al., (2016b), lo que refuerza que la gelatinización depende más de la degradación mecánica que de la degradación térmica (Chang et al., 1998; Kaletunc & Breslauer, 1993).

Tabla 26. Correlaciones de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y propiedades tecnológicos/ antioxidantes de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	PT	DPPH	ABTS	FRAP
Humedad Pre-extrusión	0.8909***	-0.8796***	0.8574***	-0.9357***	-0.8397***	-0.3286	0.0793	0.2083	-0.0828
Densidad de las harinas	-0.9091***	0.9375***	-0.9381	0.9076	0.6975	0.3272	-0.0843	-0.3054	0.1889
Velocidad de alimentación (kg/h)	0.9574***	-0.9867***	0.9606***	-0.8725***	-0.7022**	-0.3613	0.0212	0.3185	-0.2288
Velocidad de tornillo	0.4583*	-0.3741	0.4860*	-0.5908**	-0.6096**	-0.3829	0.4071	-0.0443	0.2171
Tasa de inyección de agua	0.0119	0.0049	-0.0822	0.3497	0.1026	-0.3676	-0.3265	-0.0695	0.2311
Temperatura de tornillo	0.4685*	-0.2909	0.4323	-0.3953	-0.5986**	-0.4087	0.4160	-0.1935	0.1328
Presión tornillo	0.5516**	-0.6804**	0.5434*	-0.6066**	-0.3385	0.0439	-0.2724	0.3823	-0.2976
Temperatura de barril Sección 1	-0.9574***	0.9867***	-0.9606***	0.8725***	0.7022**	0.3613	-0.0212	-0.3185	0.2288
Temperatura de barril Sección 2	0.9574***	-0.9867***	0.9606***	-0.8725***	-0.7022**	-0.3613	0.0212	0.3185	-0.2288
Temperatura de barril Sección 3	-0.9574	0.9867	-0.9606***	0.8725***	0.7022**	0.3613	-0.0212	-0.3185	0.2288
Temperatura de barril Sección 4	-0.9574***	0.9867***	-0.9606***	0.8725***	0.7022**	0.3613	-0.0212	-0.3185	0.2288
Temperatura de barril Sección 5	0.5604**	-0.5776**	0.6549**	-0.6374**	-0.4349*	-0.2289	0.3292	0.2053	-0.1441
Humedad Post-extrusión	0.6232**	-0.7186**	0.5723**	-0.5532**	-0.4091	-0.1410	-0.3130	0.3249	-0.1927
Temperatura de secado	-0.2510	0.1397	-0.1409	0.1030	0.2952	0.1006	0.0628	0.1353	0.0145
Velocidad de cuchilla	-0.6123**	0.7286**	-0.6934**	0.4261	0.1038	0.1213	0.1806	-0.4174	0.4196
SME	0.8181***	-0.8297***	0.7394***	-0.8076***	-0.7821***	-0.3349	-0.0518	0.2116	-0.0507

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; SME: energía mecánica específica; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; PT: polifenoles totales

Neder-Suarez et al. (2021b) concuerda con los resultados de este estudio en que la velocidad de tornillo se asocia a mayores IAA ($r = 0.4586$, $p \leq 0.05$), y a menores humedades de la masa, observándose el efecto contrario en este trabajo ($r = 0.8909$, $p \leq 0.001$) en este último dato (Tabla 26). Wang et al. (2019) y Wani & Kumar et al. (2016b) asociaron mayor humedad de alimentación, mayor IAA, correlación que no tuvo lugar en este trabajo ($r = 0.0119$, $p > 0.05$) (Tabla 26).

Tabla 27. Correlaciones de Pearson entre propiedades químicas y propiedades tecnológicas de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA
Humedad	0.4808*	-0.5755**	0.4775*	-0.5256*	-0.3858
Proteína	-0.8480***	0.8560***	-0.7810***	0.6337**	0.5880**
Grasa	-0.0914	0.1354	-0.0885	-0.2817	-0.1822
HC	0.7789***	-0.7631***	0.6824**	-0.5097*	-0.5426*
FDT	-0.4878*	0.4388*	-0.3764	0.2682	0.3493
FDI	-0.6981**	0.6378**	-0.5469*	0.4516*	0.5523**
FDS	0.0990	-0.1089	0.1195	-0.3792	-0.0233
Ceniza	-0.9113***	0.9131***	-0.8321***	0.7116**	0.7068**
AF	-0.8284***	0.8600***	-0.8503***	0.8656***	0.6288**

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fólico; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente

Gomes et al. (2023) reportaron que la velocidad de tornillo en su estudio fue tan elevada, que la mayor presencia de proteínas y menor cantidad de almidón de las legumbres, no hizo reducir el IAA. Una explicación es que el nivel de sustitución de maíz por legumbre no fue mayor al 20%.

Por otro lado, Wani & Kumar et al. (2016b) obtuvieron resultados diferentes, hallando que, a mayor temperatura de barril, IAA se redujo, una explicación es que el IAA disminuye con el aumento de temperatura, mientras prevalece la dextrinización o la fusión del almidón sobre la gelatinización, lo que favorece ISS respecto a IAA Ding et al. (2006).

En cambio, Nongmaithem et al. (2024), reportaron que el IAA se incrementa con la velocidad de tornillo y la humedad al igual que en este trabajo, pero indicó que este incremento tiene un límite, es decir, al llegar a un punto máximo, aunque se incremente el agua disponible, ya no hay sitios disponibles en la masa para la absorción de agua. Algo parecido ocurre con la velocidad de tornillo, después de

llegar al punto óptimo y sobrepasarlo, las cadenas de polímeros empiezan a dañarse, reduciendo los grupos hidrófilos y por lo tanto se reduce el IAA.

Por otro lado, Singha et al. (2018), informaron en su estudio que IAA incrementa principalmente por la velocidad de tornillo y como segunda causa más importante la incorporación de legumbre al extruido.

Tabla 28. Correlaciones de Pearson entre propiedades físicas y propiedades químicas de las formulaciones

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Aw	0.5006*	-0.8856***	-0.1369	0.7833***	-0.4489*	-0.6130**	0.1113	-0.9024***	-0.8982***
L*	0.1152	-0.7233**	-0.2712	0.7430***	-0.5399**	-0.6793**	-0.0493	-0.7456***	-0.5484**
a*	-0.1831	0.8976***	0.3306	-0.8550***	0.5517**	0.6763**	0.0104	0.8509***	0.7670***
b*	0.3635	0.1832	0.3644	-0.2687	0.2568	0.2370	0.2408	0.1095	-0.0294
Chroma	0.3530	0.2093	0.3699	-0.2922	0.2711	0.2549	0.2375	0.1349	-0.0047
Hue	0.3234	-0.9348***	-0.2281	0.8628***	-0.5421*	-0.6681**	0.0574	-0.9104***	-0.8656***
ΔE	-0.1890	0.7257**	0.2186	-0.7269**	0.4947*	0.6382**	0.0668	0.7803***	0.5899**
ER	0.3664	-0.7232**	0.1076	0.6428**	-0.3664	-0.6121**	0.0934	-0.7954***	-0.7550***
EL	-0.2760	0.0090	0.0436	0.0754	-0.1420	-0.2081	-0.1400	-0.0408	0.1773

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico

Tabla 29. Correlaciones de Pearson entre propiedades físicas y propiedades de tecnológicos/análisis sensorial de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	Color	Sabor	Dureza	Aceptación global
Aw	0.9414***	-0.9816***	0.9440***	-0.8068***	-0.6242**	-0.4339*	-0.4541*	-0.7665***	-0.7541***
L*	0.7904***	-0.6949**	0.7409***	-0.5426*	-0.6985**	-0.4279	-0.4467*	-0.6198**	-0.5910**
a*	-0.8845***	0.8551***	-0.8522***	0.6346**	0.6064**	0.4689*	0.4798*	0.7484***	0.7038**
b*	-0.1745	0.0732	-0.1723	-0.1431	0.0554	0.2155	0.1337	0.1201	0.0960
Chroma	-0.1993	0.0986	-0.1958	-0.1212	0.0734	0.2268	0.1467	0.1422	0.1173
Hue	0.9362***	-0.9359***	0.8967***	-0.7656***	-0.6675**	-0.4787*	-0.4831*	-0.7911***	-0.7640***
ΔE	-0.8499***	0.7633***	-0.8076***	0.6201**	0.7504***	0.3485	0.3631	0.5533**	0.5772**
ER	0.8933***	-0.8109***	0.8127***	-0.8446***	-0.9040***	-0.3003	-0.5088*	-0.6113**	-0.5560**
EL	0.1250	0.0485	-0.0130	0.0536	-0.2894	-0.0774	-0.1798	0.0406	0.0173

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente

Los resultados de este trabajo no concuerdan con los reportados por Gabr et al. (2013) y Hegazy et al. (2017), obteniendo estos últimos 4.31 g de gel/g para el control de maíz y un máximo de 5.05 g de gel/g para las muestras con legumbres. En estos casos, el IAA incrementó con el contenido de legumbres, observándose en este estudio una reducción con el contenido de garbanzo. Pudiendo ser una explicación entre este estudio y los anteriores, la utilización de otras materias primas en la mezcla como es el arroz en Gabr et al. (2013) y garbanzo germinado en Hegazy et al. (2017).

El índice de sólidos solubles (ISS), es un indicador de los componentes solubles liberados por la degradación de componentes moleculares durante la extrusión (Neder-Suarez et al., 2024; Hegazy et al., 2017; Wani & Kumar et al., 2016b) siendo la dextrinización del almidón uno de estos procesos de degradación (Gomes et al., 2023; Pastor-Cavada et al., 2011; Lazou & Krokida, 2010).

En cuanto a los resultados de ISS en este trabajo, variaron de $3.20 \pm 0.48 \%$ a $17.26 \pm 0.83\%$, incrementando ISS en las formulaciones con garbanzo, coincidiendo con otros autores al incorporar legumbres (Neder-Suarez et al., 2024; Singha et al., 2018; Wani & Kumar et al., 2016c; Sawant et al., 2013; Lazou & Krokida, 2010). La formulación con mayor ISS fue F65, seguidos de F60/2 ($16.57 \pm 0.54\%$), siendo la formulación con menor ISS, la formulación FC, seguida por F25 ($15.04 \pm 0.29\%$).

En este estudio se observó que el ISS disminuyó al incrementar la humedad de la muestra ($r = -0.8796$, $p \leq 0.001$) y la velocidad de alimentación ($r = -0.9867$, $p \leq 0.001$), en línea con lo reportado por Nongmaithem et al. (2024). Una explicación es la reducción de la degradación de los componentes, al reducir SME ($r = -0.8297$, $p \leq 0.001$) (Tabla 26), debido a la menor resistencia provocada por la humedad, y a la reducción del tiempo de residencia de la masa en el extrusor, al incrementar la tasa de alimentación provocando por ello una reducción de la degradación del almidón.

Al igual que con IAA, Gabr et al. (2013), Hegazy et al. (2017) y Gomes et al. (2023) reportaron una menor ISS, al incrementar el contenido de legumbres en el

extruido, observando una correlación negativa entre IAA e ISS, al igual que en este trabajo ($r = -0.9653$, $p \leq 0.001$) (Tabla 30). Una explicación es que alguno de estos autores utilizó legumbres germinadas, bajos niveles de sustitución o utilizaron velocidades de tornillos insuficientes para degradar las moléculas de almidón

Pastor-Cavada et al. (2011, 2013) reportaron que el mayor contenido de grasa de las muestras favorece el efecto lubricante, lo que reduce el grado de cocción, existiendo una correlación negativa entre el contenido de grasa y el ISS. Correlación que no se observó en este estudio.

El índice de absorción de aceite (IAAC), es un indicador de la naturaleza hidrófoba de los extruidos.

Los resultados de IAAC variaron de 1.21 ± 0.10 mL/g a 2.28 ± 0.06 mL/g, reduciéndose IAAC en las formulaciones con garbanzo, en concordancia con otros autores como Lazou & Krokida, (2010). La formulación con mayor IAAC fue la formulación FC, seguida de F60/1 (1.44 ± 0.06 mL/g), y la formulación con menor IAAC, fue la formulación F50, seguida de F30 (1.27 ± 0.05 mL/g).

La mayor presencia de legumbres asociadas a un mayor porcentaje de proteínas, sugieren un incremento de IAAC, al aumentar las proteínas con carácter polar. Pero por efecto de la extrusión estas proteínas interactúan entre ellas, con el almidón y los lípidos, reduciendo su afinidad por los compuestos hidrófobos tras la extrusión (Gujska & Khan, 1991).

Lazou & Krokida, (2010) reportó que IAAC también está relacionado con la dextrinización del almidón, favoreciendo la liberación de moléculas más pequeñas del almidón, con carácter hidrófobo. Por lo tanto, el incremento con la temperatura de extrusión, la disminución de la humedad y velocidad de alimentación, favorecen la dextrinización y por lo tanto IAAC. En este estudio IAAC incrementó con la humedad de la mezcla ($r = 0.8374$, $p \leq 0.001$) (Tabla 26), no coincidiendo con Lazou & Krokida, (2010) en este término. En este estudio se observó una correlación positiva con el contenido de carbohidratos ($r = 0.6824$, $p \leq 0.01$) y una

correlación negativa con el contenido de proteínas ($r = -0.7810$, $p \leq 0.001$) (Tabla 27).

Tabla 30. Correlaciones de Pearson entre propiedades tecnológicas e ingredientes de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	Garbanzo	Arroz	Maíz	APC
IAA	-	-0.9653***	0.9408***	-0.8422***	-0.7953***	-0.8131***	-0.6880**	0.9123***	-0.0171
ISS		-	-0.9584***	0.8378***	0.6791**	0.8180***	0.7866***	-0.9676***	0.0606
IAAC			-	-0.8193***	-0.6782**	-0.7174**	-0.7728**	0.8932***	-0.1051
CH				-	0.8095***	0.6069**	0.7988***	-0.8336***	0.1815
DA					-	0.6379**	0.4374*	-0.6575**	-0.1089
Garbanzo						-	0.3713	-0.8656***	-0.3027
Arroz							-	-0.7848***	0.4373
Maíz								-	-0.0641
APC									-

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; APC: aislado de proteína de chícharo

La capacidad de hinchamiento (CH) osciló entre 5.03 ± 0.28 mL/g a 6.64 ± 0.41 mL/g. La CH incrementó en las formulaciones con garbanzo, siendo la formulación con mayor CH, la formulación F60/2, seguida de F60/1 (6.50 ± 0.10 mL/g).

3.3.3.Composición proximal

Los parámetros químicos de las formulaciones extruidas se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Parámetros químicos de las formulaciones extruidas

PARÁMETROS QUÍMICOS	FORMULACIÓN						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Humedad (% H₂O)	6.62 ± 0.11 ^a	6.51 ± 0.11 ^{ab}	5.53 ± 0.10 ^e	6.38 ± 0.09 ^b	5.85 ± 0.10 ^{cd}	5.68 ± 0.10 ^{de}	6.02 ± 0.18 ^c
Grasa, F (%)	0.78 ± 0.10 ^{bcd}	0.78 ± 0.10 ^{bcd}	0.53 ± 0.16 ^d	0.83 ± 0.11 ^{bc}	0.87 ± 0.12 ^b	0.58 ± 0.07 ^d	1.52 ± 0.22 ^a
Proteína, PROT (%)	6.59 ± 0.04 ^g	14.70 ± 0.06 ^d	11.79 ± 0.05 ^f	15.1 ± 0.5 ^c	16.82 ± 0.12 ^b	13.25 ± 0.09 ^e	17.35 ± 0.14 ^a
Ceniza (%)	0.17 ± 0.01 ^g	1.27 ± 0.03 ^f	1.35 ± 0.01 ^e	1.74 ± 0.02 ^c	2.04 ± 0.03 ^a	1.60 ± 0.03 ^d	1.98 ± 0.02 ^b
Fibra dietética total, FDT (%)	2.45 ± 0.01 ^d	2.85 ± 0.72 ^{cd}	3.34 ± 0.88 ^{bcd}	4.65 ± 1.63 ^{abc}	5.12 ± 1.58 ^{ab}	3.38 ± 1.25 ^{bcd}	5.45 ± 0.91 ^a
Fibra dietética soluble, FDS (%)	1.08 ± 0.00	0.71 ± 0.04	0.98 ± 0.38	1.01 ± 0.05	1.08 ± 0.13	0.81 ± 0.75	1.14 ± 0.17
Fibra dietética insoluble, FDI (%)	1.38 ± 0.02 ^d	2.14 ± 0.50 ^{cd}	2.81 ± 0.78 ^c	4.40 ± 0.99 ^{ab}	4.92 ± 0.56 ^a	3.26 ± 1.12 ^{bc}	4.83 ± 0.26 ^a
Ácido fítico (mgEFS*/g de muestra)	4.28 ± 0.39 ^c	10.98 ± 0.20 ^a	8.82 ± 0.47 ^b	9.06 ± 0.25 ^b	9.49 ± 0.13 ^b	9.22 ± 0.66 ^b	8.83 ± 0.68 ^b
Carbohidratos, HC (%)	83.40 ± 0.08 ^a	75.10 ± 0.69 ^c	77.46 ± 0.78 ^b	71.40 ± 1.65 ^d	69.30 ± 1.49 ^e	75.50 ± 1.24 ^c	67.68 ± 0.92 ^e

Base húmeda; * Equivalente de fitato de sodio (EFS) Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

El contenido de humedad en los extruidos depende tanto del contenido de humedad de las materias primas y de las temperaturas alcanzadas en el proceso de extrusión (Shah et al. 2017; Pérez-Navarrete et al. 2006). Los resultados obtenidos variaron de 5.53 ± 0.10 a $6.62 \pm 0.11\%$, siendo FC la formulación con mayor contenido de humedad, seguido de F25 ($6.51 \pm 0.11\%$), la formulación con menor contenido de humedad fue la F30. Existiendo una reducción en el contenido de humedad respecto a las materias primas. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Hegazy et al. (2017).

El contenido graso fue bajo en comparación con otros macronutrientes (0.53 ± 0.16 a $1.52 \pm 0.22\%$), siendo la formulación con mayor contenido la F65, la cual contiene mayor porcentaje de garbanzo. Siendo la formulación F30 la que menor contenido graso poseía ($0.53 \pm 0.16\%$). Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Félix-Medina et al. (2020), Johnston et al. (2021), Manosalvas et al. (2019) y Hegazy et al. (2017). Estos resultados, asociados al bajo contenido graso, son favorables, ya que el producto contiene aproximadamente un 1 % de grasa total, lo que se traduce en una baja contribución calórica derivada de los lípidos de la matriz extruida. A ello se suma el hecho de que se trata de un producto horneado y no frito, lo cual refuerza su perfil nutricional.

En lo referente al contenido proteico, si hubo un incremento notorio en aquellas formulaciones con garbanzo comparado con la FC, variando de $6.59 \pm 0.04\%$ en este y siendo la formulación F65 ($17.35 \pm 0.14\%$) y F60/1 ($16.82 \pm 0.12\%$) las que mayor contenido de proteína obtuvieron. Al igual que ocurre con la FDT existe una correlación positiva entre el garbanzo y el contenido de proteína ($r = 0.8510$, $p \leq 0.001$)(Tabla 32). La F25 fue la excepción en cuanto al contenido de proteína, al obtener unos niveles elevados a un teniendo un contenido bajo de garbanzo (25%), debido al 5% de proteína de chícharo adicionado. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Neder-Suarez et al. (2024); Xhabiri et al. (2023), Rico et al. (2021), Szymandera-Buszkka et al. (2021), Félix-Medina et al. (2020), Johnston et al. (2021), Natabirwa et al. (2020), Manosalvas et al. (2019), Hegazy et al. (2017), Gabr et al. (2013), Pastor-Cavada et al. (2011) y Hardacre et al. (2006). El incremento del contenido proteico en las formulaciones con garbanzo fueron las esperadas, estando por encima del 10% en todas.

Tabla 32. Correlaciones de Pearson entre propiedades químicas e ingredientes de las formulaciones

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF	Garbanzo	Arroz	Maíz	APC
Humedad	-	-0.2818	0.1039	0.2644	-0.2387	-0.3385	-0.0435	-0.5177*	-0.3233	-0.5342*	-0.5590**	0.6290**	0.4281
Proteína		-	0.4352*	-0.9562***	0.6261**	0.7749***	0.0015	0.9457***	0.7902***	0.8510***	0.5297*	-0.8652***	0.1280
Grasa			-	-0.5496	0.4288	0.5053*	0.3048	0.3501	-0.0542	0.4204	-0.2943	-0.1301	-0.2630
HC				-	-0.8034***	-0.8676***	-0.0752	-0.9264***	-0.6371**	-0.8674***	-0,3394	0.7702***	0.0677
FDT					-	0.7551***	0.0813	0.6488**	0.2936	0.6338**	0,0536	-0.4514*	-0.2994
FDI						-	-0.0895	0.8311***	0.4299	0.8250***	0.1603	-0.6344**	-0.3649
FDS							-	0.0500	-0.3205	0.0713	-0.2788	0.1099	-0.3529
Ceniza								-	0.7319*	0.9431***	0.5440*	-0.9224***	-0.1295
AF									-	0.5699**	0.8565***	-0.8540***	0.4944*

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$. HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico; APC: aislado de proteína de chícharo

El contenido de fibra total dietética (FDT) fue más elevado en aquellas formulaciones con mayor porcentaje de garbanzo en su composición ($r = 0.6338$, $p \leq 0.01$)(Tabla 32), las formulaciones con un contenido más elevado fueron formulación F65 ($5.45 \pm 0.91\%$) seguida de F60/1 ($5.12 \pm 1.58\%$), respecto a la FC, la cual tuvo los niveles más bajos $2.45 \pm 0.01\%$. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Neder-Suarez et al. (2024), Rico et al. (2021), Johnston et al. (2021), Natabirwa et al. (2020), Manosalvas et al. (2019), Hegazy et al. (2017), y Pastor-Cavada et al. (2013, 2011). Solo dos de las formulaciones analizadas se encontraron por encima del 5% de FDT, la formulación F65 y F60/1

De esta FDT, la mayoritaria fue la fibra dietética insoluble (FDI) obteniendo unos valores entre (1.38 y 4.92%), los mayores niveles se observaron en la formulación F60/1 ($4.92 \pm 0.56\%$) y los niveles más bajos en la FC ($1.38 \pm 0.02\%$), también existiendo una correlación positiva con el contenido de garbanzo ($r = 0.8250$, $p \leq 0.001$)(Tabla 32). Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Johnston et al. (2021).

En cuanto al contenido de fibra dietética soluble (FDS) fue minoritaria respecto a la FDI, obteniéndose unos valores entre 0.71 ± 0.04 y $1.14 \pm 0.17\%$, siendo la formulación con mayor contenido la formulación F65 y con menor contenido la F25. El menor contenido en FDS de F25 puede explicarse por el mayor contenido de arroz, la cual es la materia prima con menor contenido de FDS, respecto a la FC ($1.38 \pm 0.02\%$) elaborado en un 100% por maíz. A diferencia de lo reportado en Félix-Medina et al. (2020), no se observó una asociación entre FS y condiciones de extrusión más severas como son niveles elevados de temperatura de tornillo, temperatura de barril y bajos niveles de humedad inicial de las masas.

El contenido de ceniza es un indicador directo del contenido de minerales de los alimentos. Los resultados variaron de $0.17 \pm 0.01\%$ a $2.04 \pm 0.03\%$ siendo la formulación con mayor contenido de ceniza la F60/1, seguida de la F65 ($1.98 \pm 0.02\%$) y aquella con menor contenido fue la FC. El mayor contenido de ceniza del garbanzo ($r = 0.9431$, $p \leq 0.001$)(Tabla 32), respecto a otras materias primas como el arroz o el maíz, puede ser una de las explicaciones. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Neder-Suarez et al. (2024), Xhabiri

et al. (2023), Rico et al. (2021), Szymandera-Buszkka et al. (2021), Félix-Medina et al. (2020), Johnston et al. (2021), Manosalvas et al. (2019), Hegazy et al. (2017) y Pastor-Cavada et al. (2011).

En cuanto al contenido de carbohidratos (HC), se redujo en las formulaciones con garbanzo, respecto a la FC (100% maíz). Se observó una variación en el contenido de CH de 67.68% a 83.40%, obteniendo el valor más elevado en la FC, y el más bajo en la F65, seguido de F60/1 ($69.30 \pm 1.49\%$). La causa puede deberse a que el garbanzo contiene los niveles más bajos de HC ($50.52 \pm 1.06\%$), por lo que explica que aquellas formulaciones con mayor contenido de garbanzo ($r = -0.8674$, $p \leq 0.001$)(Tabla 32), sean las que menor contenido de HC posean. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Xhabiri et al. (2023), Rico et al. (2021), Félix-Medina et al. (2020), Natabirwa et al. (2020), Manosalvas et al. (2019), Hegazy et al. (2017) y Hardacre et al. (2006).

El ácido fítico (AF), es conocido como quelante de minerales, con una alta afinidad por minerales como son calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo y zinc. Se encuentra presente en alimentos de origen vegetal, entre los que se encuentran los cereales y las legumbres. Los resultados en las formulaciones extruidas variaron de 4.28 ± 0.39 mg de equivalentes de fitato de sodio (EFS)/ g de muestra a 10.98 ± 0.20 mg EFS/g de muestra, siendo la formulación con mayor contenido la F25, seguido de la F60/1 (9.49 ± 0.13 mg EFS/g) en contraste con la FC la cual tuvo los niveles más bajos. Existe una correlación positiva entre el contenido de garbanzo y la presencia de AF ($r = 0.5699$, $p \leq 0.01$)(Tabla 32), misma tendencia observada en Rico et al. (2021), donde se obtuvo mayores niveles de AF en los extruidos con legumbre, comparándolos con los extruidos de cereales.

Los minerales desempeñan un papel esencial en varios procesos metabólicos y en el funcionamiento de órganos vitales, siendo fundamental su aporte en la dieta. Además, se clasifican en macrominerales (Na, Ca, K y Mg) y microminerales (Zn, Cu, Fe, F, Cr, Se y Mo) (Shah et al., 2017).

El contenido mineral mostró un incremento general en todos los elementos analizados (Tabla 33) a medida que se incrementó la proporción de garbanzo en las formulaciones al igual que las cenizas. El contenido de calcio aumentó de 24.45 ± 1.45 mg/100 g en la formulación control (FC) a 43.25 ± 0.50 mg/100 g en la formulación con 65 % de garbanzo (F65). De manera similar, el contenido de hierro se elevó de 1.05 ± 0.05 mg/100 g en FC a 3.85 ± 0.04 mg/100 g en F65. El potasio mostró un aumento considerable, pasando de 114.35 ± 9.19 mg/100 g en FC a 563.74 ± 6.00 mg/100 g en F65. En cuanto al magnesio, se observó una mejora desde 31.78 ± 0.38 mg/100 g hasta 106.27 ± 2.03 mg/100 g. El manganeso también se incrementó, desde 0.16 ± 0.00 mg/100 g en FC hasta alcanzar 2.04 ± 0.09 mg/100 g en F65.

Respecto al contenido de sodio, la formulación con menor concentración fue F30 (71.84 ± 2.22 mg/100 g), mientras que F65 presentó el mayor valor (137.11 ± 4.30 mg/100 g). El fósforo siguió la misma tendencia de aumento, registrando su nivel más bajo en FC (106.78 ± 11.53 mg/100 g) y el más alto en F65 (333.03 ± 11.30 mg/100 g). En cuanto a los oligoelementos zinc y cobre, la FC presentó los menores valores (0.73 ± 0.06 mg/100 g y 0.28 ± 0.01 mg/100 g, respectivamente), mientras que en F65 se alcanzaron los niveles más elevados: 0.51 ± 0.01 mg/100 g para el cobre y 3.14 ± 0.01 mg/100 g para el zinc.

Todos los minerales analizados se correlacionaron positivamente con el contenido de garbanzo, algunos ejemplos son el fósforo ($r = 0.9014$, $p < 0.001$) y el magnesio ($r = 0.9518$, $p \leq 0.001$)(Tabla 34), salvo en el sodio. Al igual ocurrió con el contenido de cenizas, por ejemplo, con el potasio ($r = 0.9516$, $p \leq 0.001$) y el manganeso ($r = 0.9433$, $p \leq 0.001$)(Tabla 35).

Los resultados obtenidos concuerdan con otros autores Natabirwa et al. (2020), Shah et al. (2017), Pastor-Cavada et al. (2011, 2013). En cambio, en Xhabiri et al. (2023) los resultados concuerdan con los reportados en este estudio, salvo para cobre y sodio donde la formulación con un 100% de maíz, fue la que mayores niveles tuvo.

Tabla 33. Composición mineral de las formulaciones extruidas

COMPOSICIÓN MINERAL (mg/100g muestra húmeda)	FORMULACIÓN						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Ca	24.45 ± 1.45 ^d (0.95% VNR*)	27.45 ± 1.56 ^c (1.07% VNR*)	21.23 ± 0.34 ^e (0.83% VNR*)	32.63 ± 0.72 ^b (1.27% VNR*)	32.45 ± 0.50 ^b (1.26% VNR*)	33.98 ± 3.30 ^b (1.32% VNR*)	43.25 ± 0.50 ^a (1.68% VNR*)
Fe	1.05 ± 0.05 ^d (2.16% VNR*)	3.83 ± 0.19 ^a (7.88% VNR*)	2.48 ± 0.41 ^c (5.11% VNR*)	2.81 ± 0.03 ^{bc} (5.79% VNR*)	3.05 ± 0.27 ^b (6.28% VNR*)	3.59 ± 0.55 ^a (7.39% VNR*)	3.85 ± 0.04 ^a (7.92% VNR*)
K	114.35 ± 9.19 ^g	332.47 ± 5.40 ^e	322.18 ± 3.15 ^f	390.44 ± 1.52 ^c	534.94 ± 3.15 ^b	359.32 ± 7.44 ^d	563.74 ± 6.00 ^a
Mg	31.78 ± 0.38 ^g (4.48% VNR*)	68.27 ± 1.30 ^e (9.63% VNR*)	65.07 ± 0.85 ^f (9.18% VNR*)	77.20 ± 0.05 ^d (10.9% VNR*)	89.06 ± 3.03 ^b (12.57% VNR*)	83.74 ± 0.82 ^c (11.82% VNR*)	106.27 ± 2.03 ^a (15% VNR*)
Mn	0.16 ± 0.00 ^d	1.46 ± 0.12 ^c	1.39 ± 0.01 ^c	1.46 ± 0.12 ^c	1.75 ± 0.10 ^b	1.77 ± 0.07 ^b	2.04 ± 0.09 ^a
Na	105.36 ± 2.78 ^c	122.03 ± 0.86 ^b	71.84 ± 2.22 ^e	128.40 ± 7.14 ^{ab}	84.26 ± 11.09 ^d	106.18 ± 10.42 ^c	137.11 ± 4.30 ^a
P	106.78 ± 11.53 ^e (5.63% VNR*)	254.47 ± 13.11 ^c (13.41% VNR*)	200.7 ± 4.69 ^d (10.56% VNR*)	260.20 ± 0.72 ^c (13.72% VNR*)	280.75 ± 1.04 ^b (14.8% VNR*)	266.06 ± 11.61 ^{bc} (14.02% VNR*)	333.03 ± 11.30 ^a (17.55% VNR*)
Zn	0.73 ± 0.06 ^e (2.54% VNR*)	2.74 ± 0.20 ^b (9.58% VNR*)	2.02 ± 0.05 ^d (7.08% VNR*)	2.38 ± 0.01 ^c (8.31% VNR*)	2.66 ± 0.03 ^b (9.32% VNR*)	2.75 ± 0.15 ^b (9.63% VNR*)	3.14 ± 0.01 ^a (11% VNR*)
Cu	0.28 ± 0.01 ^e (15.08% VNR*)	0.45 ± 0.02 ^c (24.45% VNR*)	0.40 ± 0.01 ^d (21.64% VNR*)	0.51 ± 0.01 ^b (27.22% VNR*)	0.54 ± 0.02 ^b (29.18% VNR*)	0.63 ± 0.04 ^a (34.06% VNR*)	0.51 ± 0.01 ^b (27.45% VNR*)

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. *VNR: Valor nutricional diario de referencia en la población Mexicana establecida en modificación de NOM-0510-SCF1/SSA1-2010 por 35 g. de producto. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

Tabla 34. Correlaciones de Pearson entre contenido de aminoácidos/sensorial/ingredientes y contenido de minerales de las formulaciones

Variables	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn	Cu
Asp	0.5866**	0.6833**	0.8942***	0.8205***	0.7987***	0.0748	0.8309***	0.7984***	0.7216***
Ser	0.6613**	0.6422**	0.8940***	0.8216***	0.7574***	0.0603	0.7963***	0.7488***	0.6926**
Glu	0.5841**	0.4871*	0.8402***	0.7032**	0.6208**	0.0917	0.7195**	0.6452**	0.5474**
Gly	0.5925**	0.7561***	0.8932***	0.8267***	0.8171***	0.0801	0.8361***	0.8325***	0.6714*
His ^A	0.6522**	0.5744**	0.8929***	0.8205***	0.7510***	0.0370	0.7968***	0.7332**	0.7270**
Arg	0.5859**	0.7169**	0.9386***	0.8790***	0.8726***	0.0146	0.8667***	0.8421***	0.7589**
Thr ^A	0.5111*	0.7143**	0.8263***	0.7596***	0.7632***	-0.0074	0.7459***	0.7447***	0.6692***
Ala	0.1496	-0.2065	0.1331	-0.0549	-0.2083	-0.0605	-0.0910	-0.1904	-0.1881**
Pro ^A	-0.0105	-0.4414*	-0.1876	-0.3594	-0.5148*	0.0935	-0.3311	-0.4306	-0.4626
Tyr ^B	-0.1766	-0.5511**	-0.5219*	-0.6080**	-0.7189**	0.2027	-0.5776**	-0.6591**	-0.6363*
Cys ^B	-0.0132	0.0257	0.5049*	0.2700	0.2364	-0.4578*	0.2202	0.1836	0.0356**
Val ^A	0.5892**	0.6603**	0.8718***	0.7819***	0.7373***	0.0359	0.7832***	0.7693***	0.6322
Met ^A	0.4809*	0.4525*	0.3516	0.4024	0.3519	0.0627	0.3861	0.4192	0.5627**
Lys ^A	0.6148**	0.7845***	0.9375***	0.8818***	0.8779***	0.1220	0.8985***	0.8848***	0.7360***
Ile ^A	0.5794**	0.7241**	0.8707***	0.8059***	0.7998***	0.1000	0.8151***	0.7921***	0.7190
Leu ^A	0.1801	-0.1573	0.2417	0.0293	-0.1134	0.0085	0.0527	-0.0639	-0.0970**
Phe ^A	0.6255**	0.7131**	0.8676***	0.8092***	0.7888***	0.1171	0.8160***	0.7883***	0.7200**
Puntuación química	0.3474	0.8002***	0.7301**	0.7391***	0.8382***	-0.1365	0.7617***	0.8489***	0.8082***
IEEP	-0.4862*	-0.8716***	-0.7958***	-0.8581***	-0.9487***	-0.1558	-0.8799***	-0.9312***	-0.7857***
Color	0.3077	0.2858	0.4104	0.4272	0.3806	0.1573	0.4665*	0.4440*	0.3015
Sabor	0.3134	0.2174	0.5533**	0.4799*	0.3931	-0.1025	0.4998*	0.4447*	0.4449*
Dureza	0.5895**	0.6006**	0.8502***	0.8318***	0.7820***	0.1455	0.8598***	0.8069***	0.6293**
Aceptación global	0.6735**	0.6152**	0.8565***	0.8704***	0.8150***	0.1967	0.8501***	0.7852***	0.6462**
Garbanzo	0.7816***	0.7067**	0.9010***	0.9518***	0.9062***	0.1943	0.9014***	0.8436***	0.8907***
Arroz	-0.0478	0.6885**	0.4187	0.4622*	0.6732**	-0.2378	0.5066*	0.6702**	0.4811*
Maíz	-0.5087*	-0.8584***	-0.8304***	-0.8879***	-0.9697***	-0.0298	-0.8854***	-0.9356***	-0.8568***
APC	-0.1993	0.3787	-0.1221	-0.1172	0.0192	0.2564	0.0696	0.2178	-0.0831

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Los valores en negrita representan correlación significativa. ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; APC: aislado de proteína de chícharo

Tabla 35. Correlaciones de Pearson entre contenido de minerales/sensorial/propiedades antioxidantes y propiedades químicas de las formulaciones

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Ca	-0.0723	0.6927**	0.7329**	-0.7648***	0.5878**	0.6909**	0.0211	0.6513**	0.2688
Fe	-0.2893	0.8213***	0.2262	-0.6879**	0.2974	0.3787	0.0183	0.7509***	0.8182***
K	-0.4202	0.9520***	0.5594**	-0.9585***	0.6952**	0.8402***	0.1329	0.9516***	0.6298**
Mg	-0.4684*	0.9289***	0.5189*	-0.9203***	0.6373**	0.7864**	0.0744	0.9489***	0.6542**
Mn	-0.5455*	0.9120***	0.3423	-0.8432	0.5097	0.6753	0.0022	0.9433	0.8024***
Na	0.5442*	0.3030	0.5184*	-0.3240	0.1632	0.1516	-0.0944	0.1214	0.1080
P	-0.3390	0.9612***	0.4706*	-0.9255***	0.6065**	0.7581***	-0.0649	0.9273***	0.7505***
Zn	-0.3883	0.9304***	0.3080	-0.8436***	0.4926*	0.6371**	-0.1454	0.8920***	0.8518***
Cu	-0.4843*	0.7277**	0.0840	-0.6806**	0.4337*	0.6505**	-0.2202	0.8123***	0.6684**
Color	-0.2725	0.4397*	0.1148	-0.4851*	0.4042	0.4690*	-0.2084	0.4336*	0.4133
Sabor	-0.2630	0.5427*	0.1321	-0.6125**	0.5622**	0.6948**	-0.1110	0.5663**	0.3675
Dureza	-0.4544*	0.8509***	0.3608	-0.8638***	0.6863**	0.8062***	-0.1833	0.8437***	0.6858**
Aceptación global	-0.4918	0.8173***	0.4211	-0.8668***	0.7633***	0.8094***	-0.1251	0.8439***	0.6011**
PT	-0.2875	0.3171	0.1491	-0.3998	0.4355*	0.5330*	0.1765	0.4174	0.1685
DPPH	-0.0238	0.1341	0.3039	-0.2256	0.4002	0.1338	0.0236	0.0828	-0.0339
ABTS	0.3076	-0.2458	-0.1917	0.1742	0.0232	-0.0171	-0.1178	-0.2286	-0.3003
FRAP	-0.0799	0.2527	0.1572	-0.1796	-0.0513	0.0229	-0.2025	0.1707	0.3344

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; PT: polifenoles totales; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico

Este aumento está asociado a la mayor riqueza mineral de la harina de garbanzo en comparación con las harinas de maíz y arroz, utilizada como materia prima durante el proceso de extrusión.

En relación con el Valor Nutricional de Referencia (VNR) para la población mexicana, considerando un consumo diario del 35 g del producto, se observaron aportes elevados en algunos minerales, particularmente en la formulación F65. Por ejemplo, el magnesio alcanzó un 15 % del VNR, mientras que para fósforo y cobre llegaron al 17.55 % y 27.45 % del VNR, respectivamente.

Al comparar los resultados de este estudio con los reportados por Natabirwa et al. (2020), quienes trabajaron con formulaciones que incluían un 82 % de judía, se observa que lograron cubrir el 19.3 % de la ingesta diaria recomendada (IDR) de hierro y el 12.08 % de zinc para población infantil de entre 4 y 8 años. En contraste, en este estudio, la formulación con mayor contenido de estos minerales (F65) alcanzó el 7.92 % de la IDR de hierro y el 11 % de zinc. Esta diferencia podría explicarse por varios factores: el tipo y variedad de legumbre utilizada (garbanzo frente a judía), la menor cantidad de legumbre incorporada en nuestra formulación (65 % frente a 82 %), y el uso de una porción diaria inferior (35 g en este estudio frente a 40 g en el estudio citado), lo que influye directamente en el aporte de micronutrientes. Pastor-Cavada et al. (2011) reportaron el porcentaje cubierto de valor nutricional diario recomendado (VNR), para formulaciones con un 15 % de sustitución por legumbre, obteniendo niveles de 0.23–0.45 % para hierro y 0.52–0.91 % para zinc, valores inferiores a los observados en el presente estudio. Cabe destacar que estos datos reportados por Pastor-Cavada et al. (2011), aunque bajos, corresponden a la fracción de mineral bioaccesible, es decir, la porción potencialmente disponible para la absorción intestinal. Dado que la bioaccesibilidad ya se considera en el establecimiento de los VNR, además de otros factores como los ambientales y variabilidad individual (Ziegler & Filer, 1990), es posible que el aporte real de estos minerales al VNR a partir de una ración sea mayor al realmente reportado en el trabajo de los autores.

3.3.4. Perfil de aminoácidos

Además del contenido de proteínas de las formulaciones, es importante conocer el contenido de cada uno de los aminoácidos que componen las proteínas. Con el fin de conocer la calidad proteica de las formulaciones y como varía el contenido de estos aminoácidos con la incorporación de legumbres y por otro lado como le afecta los parámetros de extrusión (Sahoo et al., 2022). La presencia de garbanzo incrementó el contenido de ácido aspártico, serina, ácido glutámico, glicina, histidina, arginina, treonina, valina, lisina, isoleucina, fenilalanina y se redujo el contenido de prolina y tirosina en comparación con el FC (100% maíz) (Tabla 36). En algunos aminoácidos hubo excepciones, como el contenido de alanina y leucina, donde se redujo su contenido en todas las formulaciones con garbanzo, excepto en F60/1, respecto a la FC. El contenido de cisteína se incrementó respecto a FC salvo en F60/2, el de metionina incrementó salvo en F30 y F50. Esto puede ser consecuencia de que la mayoría de los aminoácidos se encuentran en mayores cantidades en la harina de garbanzo como materia prima que en la harina de maíz. Sin embargo, las excepciones son aminoácidos como prolina, tirosina, alanina, metionina, cisteína y leucina, que se encuentran en menores cantidades en la harina de maíz que en la harina de garbanzo, pero, aun así, en los extruidos de garbanzo son menores que las cantidades encontradas en el FC.

Sosa-Moguel et al. (2009) reportaron que tanto metionina como lisina, disminuye su contenido a medida que aumenta la temperatura de extrusión, siendo una explicación para F30, pero no para F50. Alonso et al. (2000) informaron la formación de ligandos entrelazados de la metionina con azúcares reductores por reacciones de Maillard, reduciendo por lo tanto su disponibilidad. F30 (T^a tornillo = 173 °C) y F50 (T^a tornillo = 154 °C) son las formulaciones con contenidos importantes de garbanzo (30% y 50% respectivamente) y que a su vez tienen el mayor contenido de maíz, 20% y 25%, respectivamente, siendo esta la materia prima con menor contenido de metionina (52.50 ± 1.12 mg/100 g muestra húmeda).

Pastor-Cavada et al 2011 observaron una reducción del contenido de Cys a medida que se incrementa el contenido de legumbre en los extruidos, en este estudio solo

F60/2 contiene menor cantidad de Cys que la FC. La explicación puede deberse al alto contenido de harina de arroz en su formulación (40%), siendo la materia prima con menor contenido de este aminoácido (73.14 ± 9.17 mg/100 g muestra húmeda) si lo comparamos con la harina de garbanzo (170.47 ± 12.90 mg/100 g muestra húmeda) o la de maíz (145.63 ± 5.91 mg/100 g muestra húmeda). Sin embargo, en todas las formulaciones el contenido de aminoácidos azufrados (Cys+ Met) alcanzó las recomendaciones de la FAO (2013) (Tabla 37), salvo en la F65, que llegó a un 98.70 ± 1.29 % siendo la FC la que más holgadamente alcanza las recomendaciones 233.39 ± 15.12 %. Esto último es debido a que los cálculos para determinar si cumplen los requisitos de aminoácidos de la FAO (2013), se hace por 100 gramos de proteína y no por el contenido total de proteína por 100 gramos de producto.

Tabla 36. Composición de aminoácidos de las formulaciones extruidas

COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS (mg/100 g muestra húmeda)	FORMULACIÓN						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Asp	414.078 ± 14.54 ^e	1077.52 ± 11.85 ^c	752.19 ± 17.02 ^d	1031.1 ± 21.69 ^c	1632.01 ± 64.97 ^a	1039.23 ± 4.26 ^c	1216.10 ± 39.72 ^b
Ser	384.84 ± 16.84 ^f	543.68 ± 13.56 ^d	446.52 ± 8.66 ^e	521.75 ± 3.16 ^d	772.84 ± 0.67 ^a	578.64 ± 26.74 ^c	661.21 ± 21.18 ^b
Glu	1402.36 ± 3.08 ^e	1769.52 ± 49.89 ^c	1481.79 ± 40.10 ^e	1775.15 ± 74.01 ^c	2312.26 ± 127.15 ^a	1633.81 ± 57.17 ^d	1956.84 ± 4.13 ^b
Gly	240.77 ± 4.91 ^f	452.21 ± 32.57 ^c	344.90 ± 20.56 ^e	365.42 ± 22.80 ^e	561.43 ± 16.82 ^a	415.06 ± 9.31 ^d	499.08 ± 18.05 ^b
Hys*	194.05 ± 1.55 ^f	270.01 ± 26.36 ^d	238.38 ± 6.55 ^e	293.27 ± 4.41 ^c	414.97 ± 5.39 ^a	305.55 ± 2.87 ^c	339.72 ± 7.85 ^b
Tau	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Arg	346.47 ± 1.78 ^f	1021.39 ± 8.17 ^d	886.16 ± 46.90 ^e	1049.58 ± 20.19 ^{cd}	1609.23 ± 15.92 ^a	1086.20 ± 0.18 ^c	1274.52 ± 4.85 ^b
Thr*	276.89 ± 17.42 ^d	445.04 ± 38.13 ^b	348.17 ± 17.31 ^c	380.41 ± 8.17 ^c	578.25 ± 28.51 ^a	441.10 ± 33.57 ^b	464.26 ± 9.76 ^b
Ala	581.47 ± 28.74 ^b	507.67 ± 15.42 ^c	440.43 ± 15.30 ^e	477.24 ± 9.29 ^d	626.57 ± 1.16 ^a	468.23 ± 15.91 ^d	529.91 ± 1.14 ^c
Pro*	677.57 ± 10.01 ^a	555.50 ± 2.43 ^c	422.58 ± 22.45 ^f	494.55.25 ± 11.01 ^e	627.32 ± 0.51 ^b	439.84 ± 13.35 ^f	537.64 ± 4.48 ^d
Tyr**	263.70 ± 0.36 ^a	176.61 ± 25.29 ^b	106.83 ± 2.95 ^d	149.80 ± 30.95 ^{bc}	167.78 ± 6.23 ^b	128.15 ± 6.11 ^{cd}	153.88 ± 8.50 ^{bc}
Cys**	290.26 ± 20.12 ^d	312.00 ± 4.42 ^{cd}	354.17 ± 27.90 ^b	311.76 ± 9.44 ^{cd}	439.29 ± 6.20 ^a	255.50 ± 15.77 ^e	324.08 ± 5.70 ^c
Val*	362.14 ± 24.58 ^f	518.08 ± 13.40 ^c	428.05 ± 27.13 ^e	450.34 ± 18.76 ^e	647.83 ± 18.76 ^a	488.36 ± 9.81 ^d	566.26 ± 6.99 ^b
Met*	63.49 ± 2.79 ^c	67.94 ± 1.71 ^{bc}	54.09 ± 3.02 ^d	55.04 ± 4.93 ^d	74.78 ± 1.39 ^a	77.94 ± 0.32 ^a	69.79 ± 0.57 ^b
Lys*	167.24 ± 2.09 ^f	639.51 ± 9.97 ^c	449.96 ± 20.64 ^e	572.29 ± 10.40 ^d	874.27 ± 11.61 ^a	579.87 ± 4.86 ^d	743.27 ± 27.68 ^b
Ile*	267.53 ± 11.32 ^e	478.35 ± 21.41 ^{bc}	355.51 ± 11.44 ^d	451.33 ± 33.66 ^c	632.08 ± 15.51 ^a	467.88 ± 28.44 ^c	507.34 ± 1.23 ^b
Leu*	946.59 ± 27.46 ^b	885.60 ± 9.93 ^c	741.15 ± 5.65 ^e	857.61 ± 23.67 ^d	1087.63 ± 6.79 ^a	764.41 ± 18.51 ^e	886.08 ± 7.31 ^{cd}
Phe*	367.81 ± 0.79 ^f	649.83 ± 45.12 ^c	457.20 ± 40.87 ^e	577.56 ± 15.07 ^d	866.50 ± 25.38 ^a	650.80 ± 24.87 ^c	720.36 ± 36.86 ^b

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. nd: no detectado. *aminoácidos esenciales ** aminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

En general los aminoácidos limitantes (Tabla 37) en todas las formulaciones fueron la lisina en las formulaciones FC, F30, F60/2 y la valina en las formulaciones F50, F60/1, F25 y F65. Estos resultados concuerdan con Neder-Suarez et al. (2024), Félix-Medina et al. (2021), Wang et al., (2019); Pastor-Cavada et al. (2011,2013) y Sosa-Moguel et al. (2009), donde la lisina fue el aminoácido limitante. Estos resultados pueden estar asociados a que la harina de garbanzo (1441.07 ± 83.64 mg/100 g muestra húmeda) tiene unos niveles aceptables de lisina, comparado con la harina de arroz (160.18 ± 36.54 mg/100 g muestra húmeda) o la harina de maíz (170.04 ± 3.67 mg/100 g muestra húmeda), pero estos niveles pueden verse afectados por el proceso de extrusión. Durante el proceso de extrusión ocurre la reacción de Maillard, en la cual la lisina destaca como uno de los aminoácidos más reactivos, debido a la presencia de dos grupos amino en su estructura. Además, otros aminoácidos como la metionina, triptófano y arginina también pueden participar en esta reacción (Björck et al., 1983). En este proceso, los grupos amino de los aminoácidos reaccionan con azúcares reductores, generando compuestos de color marrón característico (Simons et al., 2017; Ruiz-Ruiz et al., 2008). El avance de la reacción de Maillard se ha asociado directamente con la intensidad del tratamiento termomecánico, influido por factores como baja humedad en la masa, altas temperaturas del barril, así como mayores velocidades y temperaturas del tornillo durante la extrusión (Ruiz-Ruiz et al., 2008; Singh et al., 2007; Pérez-Navarrete et al., 2006; Ilo & Berghofer, 2003). Se ha reportado en otros estudios a diferencia de los extruidos elaborados totalmente con cereales, el mayor contenido de grasa de las legumbres tiene un efecto protector ante el cizallamiento y temperatura, reduciendo por lo tanto la reactividad de los aminoácidos esenciales en la reacción de Maillard (Wang et al., 2019).

Para la determinación del valor nutritivo de las proteínas aportadas por cada formulación (Tabla 37), nos basamos en las recomendaciones de la FAO (2013). La formulación con peor puntuación química fue la FC (52.87 ± 0.66 %) debido a que fue la formulación con mayor déficit de lisina, algo esperado al ser la harina de maíz una de las materias primas con menor contenido en este aminoácido, seguida con la peor puntuación por la formulación F50 (75.01 ± 1.34 %).

formulación con mejor puntuación fue la formulación F60/1 ($96.29 \pm 2.79\%$) cercano al 100%, seguida de la formulación F60/2 ($91.18 \pm 0.76\%$).

Además de la lisina y valina como aminoácidos limitantes, otros aminoácidos esenciales tampoco cumplieron con los requisitos propuestos por la FAO (2013) en algunas formulaciones como son el caso la leucina (F25, F50, F60/2 y F65), isoleucina (F65) y los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) (F65).

Tabla 37. Calidad proteica

CALIDAD PROTEICA	FORMULACIONES							FAO, 2013* (g/100 g proteína)
	CF	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65	
Hys (g/100 g proteína)	2.94 ± 0.02 ^a	1.84 ± 0.18 ^e	2.02 ± 0.06 ^d	1.95 ± 0.03 ^{de}	2.47 ± 0.03 ^b	2.31 ± 0.02 ^c	1.96 ± 0.05 ^{de}	1.60
Hys, PAA (%)	184.04 ± 1.47 ^a	114.80 ± 11.21 ^e	126.37 ± 3.47 ^d	122.12 ± 2.83 ^{de}	154.19 ± 2.00 ^b	144.13 ± 1.35 ^c	122.38 ± 2.83 ^{de}	
Ile (g/100 g proteína)	4.06 ± 0.17 ^a	3.25 ± 0.15 ^c	3.02 ± 0.10 ^{cd}	3.01 ± 0.22 ^{cd}	3.76 ± 0.09 ^b	3.53 ± 0.21 ^b	2.92 ± 0.01 ^d	3.00
Ile, PAA (%)	135.32 ± 5.73 ^a	108.47 ± 4.85 ^c	101.51 ± 3.24 ^{cd}	100.23 ± 7.47 ^{cd}	125.26 ± 3.07 ^b	117.71 ± 7.15 ^b	97.47 ± 0.24 ^c	
Leu (g/100 g proteína)	14.36 ± 0.42 ^a	6.02 ± 0.07 ^{cd}	6.29 ± 0.05 ^{bc}	5.71 ± 0.16 ^c	6.47 ± 0.04 ^b	5.77 ± 0.14 ^{de}	5.11 ± 0.04 ^f	6.10
Leu, PAA (%)	235.48 ± 6.83 ^a	98.76 ± 1.11 ^{cd}	103.05 ± 0.78 ^{bc}	93.67 ± 2.58 ^c	106.00 ± 0.66 ^b	94.58 ± 2.29 ^{de}	83.72 ± 0.69 ^f	
Lys (g/100 g proteína)	2.54 ± 0.03 ^d	4.35 ± 0.07 ^b	3.82 ± 0.18 ^c	3.81 ± 0.07 ^c	5.20 ± 0.07 ^a	4.38 ± 0.04 ^b	4.28 ± 0.16 ^b	4.80
Lys, PAA (%)	52.87 ± 0.66 ^d	91.18 ± 1.41 ^b	79.51 ± 3.65 ^c	79.43 ± 1.44 ^c	108.29 ± 1.44 ^a	91.18 ± 0.76 ^b	89.25 ± 3.32 ^b	
Met+Cys (g/100 g proteína)	5.37 ± 0.35 ^a	2.58 ± 0.02 ^d	3.46 ± 0.26 ^b	2.44 ± 0.10 ^{de}	3.06 ± 0.05 ^c	2.52 ± 0.12 ^{de}	2.27 ± 0.03 ^c	2.30
Met+Cys, PAA (%)	233.39 ± 15.12 ^a	112.38 ± 0.80 ^d	150.55 ± 11.40 ^b	106.25 ± 4.16 ^{de}	132.88 ± 1.96 ^c	109.41 ± 5.28 ^{de}	98.70 ± 1.29 ^c	
Phe+Tyr (g/100 g proteína)	9.57 ± 0.02 ^a	5.62 ± 0.48 ^c	4.78 ± 0.37 ^d	4.85 ± 0.11 ^d	6.15 ± 0.19 ^b	5.88 ± 0.23 ^{bc}	5.04 ± 0.16 ^d	4.10
Phe+Tyr, PAA (%)	233.49 ± 0.43 ^a	137.12 ± 11.68 ^c	116.68 ± 9.06 ^d	118.19 ± 2.58 ^d	149.98 ± 4.58 ^b	143.39 ± 5.70 ^{bc}	122.90 ± 3.99 ^d	
Thr (g/100 g proteína)	4.20 ± 0.26 ^a	3.03 ± 0.26 ^{cd}	2.95 ± 0.15 ^{de}	2.53 ± 0.05 ^f	3.44 ± 0.17 ^b	3.33 ± 0.25 ^{bc}	2.68 ± 0.06 ^{cf}	2.50
Thr, PAA (%)	168.07 ± 10.57 ^a	121.10 ± 10.37 ^{cd}	118.12 ± 5.87 ^{de}	101.37 ± 2.18 ^f	137.51 ± 6.78 ^b	133.16 ± 10.14 ^{bc}	107.03 ± 2.25 ^{ef}	
Val (g/100 g proteína)	5.50 ± 0.37 ^a	3.52 ± 0.09 ^{cd}	3.63 ± 0.23 ^{bc}	3.00 ± 0.05 ^c	3.85 ± 0.11 ^b	3.69 ± 0.07 ^{bc}	3.26 ± 0.04 ^{de}	4.00
Val, PAA (%)	137.38 ± 9.33 ^a	88.11 ± 2.28 ^{cd}	90.86 ± 5.75 ^{bc}	75.01 ± 1.34 ^c	96.29 ± 2.79 ^b	92.14 ± 1.85 ^{bc}	81.59 ± 1.01 ^{de}	
Puntuación química (%)	52.87 ± 0.66 ^c	88.11 ± 2.28 ^b	79.51 ± 3.65 ^c	75.01 ± 1.34 ^d	96.29 ± 2.79 ^a	91.18 ± 0.76 ^b	81.59 ± 1.01 ^c	

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. PAA: Puntuación de aminoácidos. *Requerimientos de aminoácidos para niños mayores, adolescentes y adultos (a partir de 3 años en adelante) (FAO, 2013). His: histidina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Lys: lisina; Met: metionina; Cys: cisteína; Phe: fenilalanina; Tyr: tirosina; Thr: Treonina; Val: valina. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

3.3.5. Antioxidantes

Las propiedades antioxidantes se pueden observar en la Tabla 38. Hubo diferencias significativas en polifenoles totales (PT) y en FRAP, en cambio para las pruebas de DPPH y ABTS, no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$). La formulación con menor contenido de PT fue F60/2 (41.53 ± 11.32 mg AG equivalentes 100 g^{-1} base seca) y con mayor contenido de PT fue la formulación F50 (82.10 ± 20.18 mg AG equivalentes 100 g^{-1} base seca), seguida de la formulación F30 (76.23 ± 19.91 mg AG equivalentes 100 g^{-1} base seca).

En la prueba de FRAP la muestra con menor actividad antioxidante fue F30 (3.60 ± 1.01 moles de equivalentes de Fe (II) 100 g^{-1} base seca) y aquella con mayor actividad fue F60/2 (8.82 ± 0.83 moles de equivalentes de Fe (II) 100 g^{-1} base seca), seguida de F25 (7.92 ± 3.39 moles de equivalentes de Fe (II) 100 g^{-1} base seca).

El contenido de polifenoles y la actividad antioxidante, va a depender del tipo de grano utilizado y de su variedad (Félix-Medina et al., 2020) además de las condiciones de extrusión como son humedad y temperatura (Neder-Suarez et al., 2021a; Brennan et al., 2011; Korus et al., 2007).

Autores como Shevkani et al. (2019) y Hegazy et al. (2017) observaron un incremento de la Aox y de PT al incorporar garbanzo a los extruidos. Otros autores reportan una reducción de PT y Aox con la incorporación de legumbres (Félix-Medina et al., 2020; Wani & Kumar, 2015b) y con el proceso de extrusión de (Neder-Suarez et al., 2024; Neder-Suarez et al., 2021a; Wani et al., 2021; Félix-Medina et al., 2020; Wani & Kumar, 2016d; Limsangouan et al., 2010)

En este estudio no se observó correlación entre las pruebas antioxidantes utilizadas con el contenido de ninguno de los ingredientes utilizados durante la extrusión. Pastor-Cavada et al. (2011, 2013), reportaron resultados semejantes a los de este estudio al no obtener diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido de polifenoles al incorporar legumbres en su estudio.

Algunos autores como Félix-Medina et al. (2020) que utilizaron frijol, atribuyen el incremento de la actividad antioxidante de los extruidos a las condiciones de extrusión, viéndose afectado por la humedad la masa, la temperatura de barril y la velocidad de tornillo. Niveles bajos de inyección de agua, el incremento del cizallamiento y la temperatura, tienen un efecto negativo sobre la actividad antioxidante en extruidos, pero estos no afectan a los polifenoles totales, sino a otro tipo de antioxidantes (Ozer et al., 2006). La extrusión provoca la liberación de compuestos antioxidantes entre los que se encuentran los polifenoles totales, que se encuentran incrustados en las paredes celulares de los granos, impidiendo que los compuestos fenólicos se oxiden debido a la inactivación enzimática y a la formación de productos de la reacción de Maillard con actividad antioxidante, como son las melanoidinas (Sahoo et al., 2022; Wani & Kumar, 2019; Hegazy et al., 2017; Wani & Kumar, 2016a; Espinoza-Moreno et al., 2016). En este estudio no se observó ningún tipo de correlación de PT y ABTS, con los parámetros de extrusión.

Tabla 38. Propiedades antioxidantes de las formulaciones extruidas

PROPIEDADES ANTIOXIDANTES	FORMULACIONES						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
PT (mg AG equivalentes 100 g ⁻¹ base seca)	42.33 ± 0.19 ^b	41.69 ± 6.45 ^b	76.23 ± 19.91 ^a	82.10 ± 20.18 ^a	63.36 ± 0.02 ^a	41.53 ± 11.32 ^b	63.96 ± 1.74 ^a
DPPH (mg Trolox equivalentes 100 g ⁻¹ base seca)	223.37 ± 23.11	221.46 ± 4.67	222.37 ± 29.83	202.68 ± 28.61	235.30 ± 38.45	211.03 ± 1.73	239.26 ± 8.11
ABTS (mg equivalentes de ácido ascórbico 100 g ⁻¹ base seca)	317.24 ± 249.31	184.49 ± 73.53	184.88 ± 79.73	304.55 ± 125.20	249.08 ± 107.56	182.73 ± 85.08	150.33 ± 8.76
FRAP (moles de equivalentes de Fe(II) 100 g ⁻¹ base seca)	4.50 ± 0.87 ^{bc}	7.92 ± 3.39 ^a	3.60 ± 1.01 ^c	4.33 ± 1.50 ^c	4.50 ± 2.12 ^{bc}	8.82 ± 0.83 ^a	7.61 ± 1.86 ^{ab}

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. PT: polifenoles totales, AG: ácido gálico. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% ma

3.3.6. Análisis sensorial

En este estudio se evaluó, color, sabor, dureza, aceptación global y preferencia (Tabla 39).

No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la evaluación del parámetro de color. Estando todas las formulaciones con puntuaciones entre 4.1 ± 1.77 a 4.93 ± 1.14 en una escala de 1-7, encontrándose en un rango entre ni me gusta ni me disgusta y me gusta ligeramente. Siendo la FC la peor valorada y la F65, la mejor valorada. Existe una correlación positiva con a^* en las pruebas de colorimetría ($r = 0.4689$, $p \leq 0.05$)(Tabla 29).

En cuanto al sabor, la mejor valorada fue la formulación F60/1, con una puntuación de 5.03 ± 1.27 , seguida por la F50 (4.63 ± 1.45) y la F65 (4.60 ± 1.4) también en una escala de 1-7, estando las puntuaciones en un rango de ni me gusta ni me disgusta y me gusta ligeramente. La formulación con menor puntuación en este aspecto fue nuevamente la FC, con 3.87 ± 1.57 . La diferencia observada entre las formulaciones con garbanzo y aquella elaborada únicamente con maíz podría explicarse por el sabor algo más intenso del garbanzo en comparación con el sabor más neutro del maíz, lo que puede ser percibido de manera favorable por los panelistas.

Respecto a la dureza, otro de los parámetros evaluados por los panelistas, la F65 obtuvo la mejor puntuación con 5.60 ± 1.1 , seguida por la F60/1 con 5.43 ± 0.94 . La formulación FC fue la peor valorada también en este parámetro, con una puntuación de 3.07 ± 1.07 . Existe una correlación negativa del parámetro de dureza en la prueba sensorial con L^* ($r = -0.6198$, $p \leq 0.01$) y correlación positiva con a^* ($r = 0.7484$, $p \leq 0.001$) (Tabla 29), lo que asocia una mayor dureza a una menor luminosidad (L^*) y una mayor rojez (a^*) a una mayor dureza. También existe correlación negativa entre la dureza de la prueba sensorial con la crujencia ($r = -0.6174$, $p \leq 0.01$) y tenacidad ($r = -0.5249$, $p < 0.05$)(Tabla 21). En cuanto a la correlación negativa entre ER y dureza ($r = -0.6113$, $p \leq 0.01$)(Tabla 29), por lo que fue mejor valorado por los panelistas un producto menos expandido en el parámetro de dureza.

En cuanto a la aceptación global, las formulaciones F65 y F60/1 obtuvieron las puntuaciones más altas, con 5.42 ± 1.35 y 5.00 ± 1.32 respectivamente, sobre un máximo de 7 puntos. Siendo la FC la formulación con peor aceptación global 3.32 ± 1.44 . Existe una correlación negativa con L^* ($r = -0.5910$, $p \leq 0.01$) y una correlación positiva con a^* ($r = 0.7038$, $p \leq 0.001$)(Tabla 29). Por lo que los panelistas evaluaron mejor aquellas formulaciones con menor luminosidad (L^*) y mayor rojez (a^*). Con los parámetros de textura, se observó una correlación negativa con la crujencia ($r = -0.5414$, $p \leq 0.05$) y tenacidad ($r = -0.5083$, $p \leq 0.05$) (Tabla 21).

En lo relativo a la preferencia de consumo, la formulación F65 fue seleccionada como primera opción por el 46.67% de los panelistas, seguida por la F60/1 (26.67%), y en tercer lugar la F50, elegida como tercera opción por el 23.33% de los evaluadores. La formulación FC fue la menos preferida, siendo ubicada en último lugar por el 63.33% de los panelistas. Por lo que estos resultados son

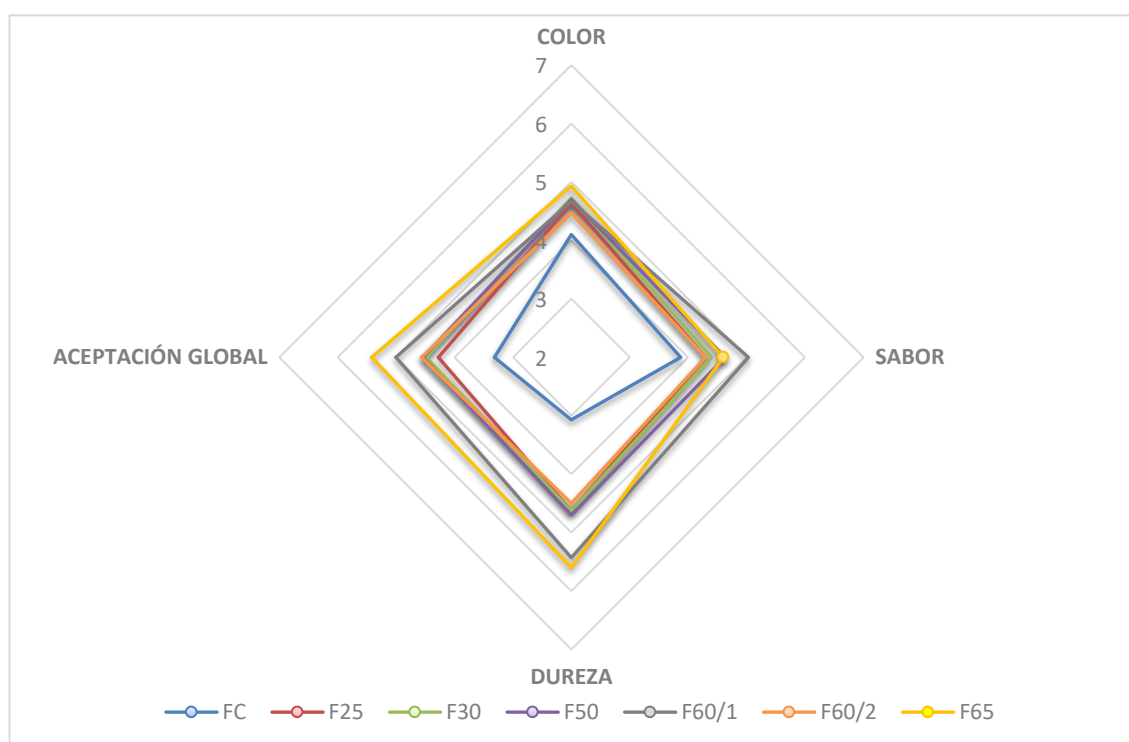


Figura 12. Análisis sensorial de las formulaciones extruidas. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz.

positivos al tener una mayor preferencia los panelistas por las formulaciones de garbanzo respecto a la de 100% de maíz.

En resumen, la formulación F65 fue la mejor aceptada globalmente (Figura 12), destacando también como la mejor evaluada en color y dureza, y la tercera en sabor. Esta formulación contenía el mayor porcentaje de garbanzo. Por otro lado, la FC fue la peor valorada en todos los parámetros (color, sabor, dureza y aceptación global), siendo elaborada en un 100% con maíz. Asimismo, la F65 fue la preferida por la mayoría de los panelistas, mientras que la FC ocupó el último lugar en la preferencia de más de la mitad de ellos. Estos resultados son favorables en términos de aceptación por parte de los panelistas; sin embargo, es importante considerar que se evaluó un producto en estado intermedio, al que aún no se le ha incorporado la cobertura de grasa y saborizantes (20–30 %) que habitualmente se aplica en este tipo de productos y que, además, contribuye al perfil de sabor. En consecuencia, los datos podrían verse modificados tras la aplicación de esta última fase del proceso de elaboración.

Estos resultados no coinciden con algunos autores como Xhabiri et al. (2023), Gabr et al. (2013) y Shah et al. (2017) quienes obtuvieron los mejores resultados en las pruebas sensoriales en niveles intermedios de incorporación de legumbres en un 20%, 30 % y un 15%, respectivamente. Tampoco con Hardacre et al. (2006), donde las mejores valoraciones en color y sabor fueron obtenidas en la formulación control, y solamente en dureza incorporando un 20% de lenteja obtuvieron mejores resultados que en la formulación control y en tenacidad, donde a mayor contenido de legumbre mejor valoración. En Rzedzicki et al. (1994) y reportaron que a mayor contenido de legumbre menor aceptabilidad. Por otro lado, en Shevkani et al. (2019) la incorporación de garbanzo mejoró el sabor del producto, pero a niveles mayores al 50% empeoró su puntuación global debido a su mayor dureza.

Thakurn & Saxena (2020) tuvo resultados semejante a los de este trabajo, al incrementar la aceptación con el mayor aporte de frijol mungo.

Tabla 39. Análisis sensorial de las formulaciones extruidas

FORMULACIÓN	ANÁLISIS SENSORIAL						
	FC	F25	F30	F50	F60/1	F60/2	F65
Color (1-7)	4.1 ± 1.77 ^a	4.63 ± 1.19 ^a	4.73 ± 1.11 ^a	4.7 ± 1.56 ^a	4.67 ± 1.35 ^a	4.47 ± 1.17 ^a	4.93 ± 1.14 ^a
Sabor (1-7)	3.87 ± 1.57 ^c	4.3 ± 1.34 ^{bc}	4.4 ± 1.1 ^{abc}	4.63 ± 1.45 ^{ab}	5.03 ± 1.27 ^a	4.3 ± 0.79 ^{bc}	4.6 ± 1.4 ^{ab}
Dureza (1-7)	3.07 ± 1.7 ^c	4.63 ± 1.4 ^{7b}	4.63 ± 1.35 ^b	4.7 ± 1.56 ^b	5.43 ± 0.94 ^a	4.5 ± 1.28 ^b	5.6 ± 1.1 ^a
Aceptación global (1-7)	3.32 ± 1.44 ^d	4.28 ± 11.36 ^c	4.49 ± 0.97 ^{bc}	4.54 ± 1.12 ^{bc}	5.00 ± 1.32 ^{ab}	4.56 ± 1.06 ^{bc}	5.42 ± 1.35 ^a
Preferencia	7 ^o (63.33%*)	6 ^o (33.33%*)	4 ^o (20%*)	3 ^o (23.33%*)	2 ^o (26.67%*)	5 ^o (30%*)	1 ^o (46.67%*)

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. * Porcentaje mayoritario de panelistas que eligieron dicha opción. FC: 100% maíz; F25: 25% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz, 5% aislado de proteína de chícharo; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F50: 50% garbanzo, 25% arroz, 25% maíz; F60/1: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; F60/2: 60% garbanzo, 40% arroz; F65: 65% garbanzo, 30% arroz, 5% maíz

3.4. CONCLUSIÓN

La incorporación de garbanzo en botanas extruidas de maíz mejoró el contenido y la calidad de las proteínas y la fibra, al tiempo que aumentó los niveles de minerales y de la mayoría de aminoácidos. Además, también contribuyó a reducir el contenido de carbohidratos, mejorando en última instancia el perfil nutricional del producto. Además, hubo un incremento en el contenido de polifenoles y de la actividad antioxidante. Desde una perspectiva sensorial, la incorporación de garbanzo redujo la expansión radial, aumentó la densidad aparente y dio como resultado un producto menos expandido, más duro y algo más oscuro. Sin embargo, estos cambios fueron bien recibidos por los panelistas en el producto intermedio (sin la cobertura de grasa y saborizantes), quienes calificaron el producto más favorablemente a medida que aumentaba el contenido de garbanzo. Esto resalta el posible potencial del garbanzo y otras legumbres como alternativas viables para mejorar la calidad nutricional de las botanas extruidas.

3.5. REFERENCIAS

- Algarni, E. H., Hussien, H. A., & Salem, E. M. (2019). Development of nutritious extruded snacks. *Life Science Journal*, 16(9), 23-31. <https://doi.org/10.7537/marslsj160919.03>
- Allai, F. M., Azad, Z. R. A. A., Dar, B. N., & Gul, K. (2022). Effect of extrusion processing conditions on the techno-functional, antioxidant, textural properties and storage stability of wholegrain-based breakfast cereal incorporated with Indian horse chestnut flour. *Italian Journal of Food Science/Rivista Italiana di Scienza degli Alimenti*, 34(3). <https://doi.org/10.15586/ijfs.v34i3.2238>
- Alonso, R., Aguirre, A. and Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68(2), 159-165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7)
- Amiri, M. J., Ebrahimizadeh, A., Amiri, S., Radi, M., & Niakousari, M. (2009). Comparative evaluation of physicochemical properties of corn flours through different water qualities and irrigation methods. *Journal of Applied Sciences*, 9(5), 938-943.
- Anderson, R. A. (1982). Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. y Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14, 4-12.
- AOAC (1997). Method 985.29, 960.52. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th Edition, Volume I and II, Section 45.4.07 and 12.1.07; AOAC; Arlington, VA, USA.
- AOAC International. (1995). *Official methods of analysis of AOAC International* (Official Method 920.87, Protein (Total) in Flour). AOAC International.
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 945.16). AOAC International.
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 925.10). AOAC International.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), (1981). Guidelines for the Selection and Training of Sensory Panel Members. ASTM Sp. Tech. Publ., No. 758.
- 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>
- Bhattacharya, S., & Prakash, M. (1994). Extrusion of blends of rice and chick pea flours: A response surface analysis. *Journal of Food Engineering*, 21(3), 315-330. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90076-0)
- Bjoerck, I., Noguchi, A., Asp, N. G., Cheftel, J. C., & Dahlqvist, A. (1983). Protein nutritional value of a biscuit processed by extrusion cooking: Effects on available lysine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(3), 488-492.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570-575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International journal of food science & technology*, 48(5), 893-902.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>

- Chang, Y. K., Martinez-Bustos, F., & Lara, H. (1998). Effect of some extrusion variables on rheological properties and physicochemical changes of cornmeal extruded by twin screw extruder. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 15(4), 370–381. <https://doi.org/10.1590/S0104-66321998000400006>
- Civille, G. V., Carr, B. T., & Osdoba, K. E. (2024). *Sensory evaluation techniques*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781003352082>
- da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., de Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y. & Berrios, J. D. J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT-Food Science and Technology* 58(2), 620-626. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.031>
- de Mesa, N. J. E., Alavi, S., Singh, N., Shi, Y. C., Dogan, H., & Sang, Y. (2009). Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.032>
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of food engineering*, 73(2), 142-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- do Carmo, C. S., Varela, P., Poudroux, C., Dessev, T., Myhrer, K., Rieder, A., ... & Knutsen, S. H. (2019). The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions. *Lwt*, 112, 108252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108252>
- Espinoza-Moreno, R. J., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O., & Gutiérrez-Dorado, R. (2016). Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 218-224. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0551-8>
- FAO. (2019). *Global economy of pulses*. Rome
- Félix-Medina, J. V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J. A., López-Ángulo, G., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K. & Montes-Ávila, J. (2021). Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 142, 111053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E. & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT – Food Science and Technology* 124, 109172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Fernández-Gutiérrez, J. A., San Martín-Martínez, E., Martínez-Bustos, F., & Cruz-Orea, A. (2004). Physicochemical properties of casein-starch interaction obtained by extrusion process. *Starch-Stärke*, 56(5), 190-198. <https://doi.org/10.1002/star.200300211>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Findings and recommendations of the 2011 FAO expert consultation on protein quality evaluation in human nutrition. En *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation* (FAO Food and Nutrition Paper, No. 92). FAO.
- Gabr, A. M., Mahgoub, S. A. & Shehata, W. M. (2013). Production of high nutritional value snack

- foods for children from grains and legumes. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 4(9), 455-464. <https://dx.doi.org/10.21608/jfds.2013.72085>
- Gomes, K. S., Berwian, G. F., Tiepo, C. B. V. & Colla, L. M. (2023). Development and evaluation of extruded protein snacks added. *Food Science and Technology* 43. <https://doi.org/10.5327/fst.1123>
- Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Partida-Preciado, R. A., Espinoza-Moreno, R. J., Preciado-Ortiz, R., & Gutiérrez-Dorado, R. (2021). Gluten-free healthy snack with high nutritional and nutraceutical value elaborated from a mixture of extruded underutilized grains (quality protein maize/tepyary bean). *Acta universitaria*, 31. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3024>
- Gujka, E. & Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science* 56(2), 431-435 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05297.x>
- Hardacre, A. K., Clark, S. M., Riviere, S., Monro, J. A. & Hawkins, A. J. (2006). Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture studies* 37(1), 94-111. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2006.00041.x>
- Hegazy, H. S., El-Bedawey, A. E. A., Rahma, E. H. & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion process on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 4(1), 59-66
- Ilo, S. & Berghofer, E. (2003). Kinetics of lysine and other amino acids loss during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Science* 68(2), 496-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05701.x>
- Jakubczyk, E., Gondek, E., & Tryzno, E. (2017). Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks. *LWT*, 75, 582-589. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.013>
- Jensen, M. L., & Schwartz, M. B. (2021). Junk food consumption trends point to the need for retail policies. In *The American journal of clinical nutrition* (Vol. 114, Issue 3, pp. 837–838). NLM (Medline). <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab189>
- Jin, Z., Hsieh, F., & Huff, H. E. (1995). Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *Journal of Cereal Science*, 22(2), 185-194. [https://doi.org/10.1016/0733-5210\(95\)90049-7](https://doi.org/10.1016/0733-5210(95)90049-7)
- Johnston, A. J., Mollard, R. C., Dandeneau, D., MacKay, D. S., Ames, N., Curran, J., Bouchard, D.R. & Jones, P. J. (2021). Acute effects of extruded pulse snacks on glycemic response, insulin, appetite, and food intake in healthy young adults in a double blind, randomized, crossover trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 46(7), 704-710. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0572>
- Kaletunc, G., & Breslauer, K. J. (1993). Glass transition of extrudates: Relationship with processing-induced fragmentation and end-product attributes. *Cereal Chemistry*, 70(5), 548–552
- Karun, G., Sukumar, A., Nagamaniammai, G., & Preetha, R. (2023). Development of multigrain ready-to-eat extruded snack and process parameter optimization using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 947-957. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05390-8>
- Kaur, R., & Prasad, K. (2021). Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 448-463.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044>

- Korus, J., Gumul, D., & Czechowska, K. (2007). Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technology and Biotechnology*, 45(2), 139-146.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food research international*, 43(2), 609-616 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.017>
- Limsangouan, N., Takenaka, M., Sotome, I., Nanayama, K., Charunuch, C. & Isobe, S. (2010). Functional properties of cereal and legume based extruded snack foods fortified with by-products from herbs and vegetables. *Agriculture and Natural Resources* 44(2), 271-279
- Londoño, L. J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. En *Desarrollo y transversalidad* (Serie Lasallista Investigación y Ciencia, pp. 130–162). Corporación Universitaria Lasallista.
- Lorenzo, J. M., Bermúdez, R., Domínguez, R., Guiotto, A., Franco, D., & Purriños, L. (2015). Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Food Control*, 50, 763-769. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.019>
- Lorenzo, J. M., Purriños, L., Temperán, S., Bermúdez, R., Tallón, S., & Franco, D. (2011). Physicochemical and nutritional composition of dry-cured duck breast. *Poultry Science*, 90(4), 931-940. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01001>
- Manosalvas, A., Taimal, R. & Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. *Revista Bases de la Ciencia* 4(3), 67-80. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911
- Martinez-Gonzalez, A. I., Díaz-Sánchez, Á. G., de la Rosa, L. A., Vargas-Requena, C. L., Bustos-Jaimes, I., & Alvarez-Parrilla, E. (2017). Polyphenolic compounds and digestive enzymes: In vitro non-covalent interactions. *Molecules*, 22(4), 669. <https://doi.org/10.3390/molecules22040669>
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), 650-658. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016>
- Mittal, R., Nagi, H. P. S., Sharma, P., & Sharma, S. (2012). Effect of processing on chemical composition and antinutritional factors in chickpea flour. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(3), 180. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2012.03.008>
- Mokhtar, S. M., Swailam, H. M., & Embaby, H. E. S. (2018). Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: Composition of goldenberry juice waste. *Food Chemistry*, 248, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.117>
- Monnet, A.-F., Laleg, K., Michon, C., & Micard, V. (2019). Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.027>
- Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food chemistry*, 72(1), 119-125 [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)
- Mosibo, O. K., Ferrentino, G., Alam, M. R., Morozova, K., & Scampicchio, M. (2022). Extrusion

cooking of protein-based products: potentials and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(9), 2526-2547. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1854674>

- Natabirwa, H., Nakimbugwe, D., Lung'aho, M., Tumwesigye, K. S. & Muyonga, J. H. (2020). Bean-based nutrient-enriched puffed snacks: Formulation design, functional evaluation, and optimization. *Food Science & Nutrition* 8(9), 4763-4772. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1727>
- Neder-Suárez, D., Lardizabal-Gutiérrez, D., Zazueta-Morales, J. D. J., Meléndez-Pizarro, C. O., Delgado-Nieblas, C. I., Ramírez Wong, B., Gutiérrez-Méndez, N., Hernández-Ochoa, L.R. & Quintero-Ramos, A. (2021a). Anthocyanins and functional compounds change in a third-generation snacks prepared using extruded blue maize, black bean, and chard: An optimization. *Antioxidants* 10(9), 1368. <https://doi.org/10.3390/antiox10091368>
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F. & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021b). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 146, 111414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111414>
- Neder-Suárez, D., Vázquez-Rodríguez, J. A., González-Martínez, B. E., Meléndez-Pizarro, C. O., Hernández-Ochoa, L. R., Murowaniecki-Otero, D., Rodríguez-Roque, M.J. & Quintero-Ramos, A. (2024). Effect of using alternative flours on the development and characteristics of a third-generation snacks. *Food Chemistry Advances* 4, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100571>
- Nongmaithem, R., Meda, V., Niranjana, T., Shukla, R. M., Hashmi, S. & Dwivedi, M. (2024). Effect of extrusion process on germinated lentil (*Lens culinaris*) based snack foods: Impact on starch digestibility, physio-functional, and antioxidant properties. *Measurement: Food* 13, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100132>
- Okezie, B. O., & Bello, A. B. (1988). Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Journal of Food science*, 53(2), 450-454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07728.x>
- Olguín-Arteaga, G. M., Amador-Hernández, M., Quintanar Guzmán, A., Díaz-Sánchez, F., Sánchez-Ortega, I., Castañeda-Ovando, A., ... & Santos-López, E. M. (2015). Correlation between gelatinization enthalpies, water absorption index and water soluble index in grits, corn meals and nixtamalized corn flours. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(2), 303-310.
- Organization for Standardization (ISO). (2014). ISO 11136:2014. *Sensory analysis – methodology: general guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area*. ISO.
- Ozer, E. A., Herken, E. N., Güzel, S., Ainsworth, P. & İbanoğlu, Ş. (2006). Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. *International Journal of Food Science & Technology* 41(3), 289-293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01062.x>
- Özer, E. A., İbanoğlu, Ş., Ainsworth, P., & Yağmur, C. (2004). Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. *European food research and technology*, 218(5), 474-479. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0884-7>
- Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A., & Dar, B. N. (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.006>

- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of legumes in extrusion cooking: A review. *Foods*, 9(7), 958 <https://doi.org/10.3390/foods9070958>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., & Vioque, J. (2011). Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry* 128(4), 961-967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.126>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M. & Vioque, J. (2013). Physical and nutritional properties of extruded products based on whole grain with the addition of wild legumes (*Vicia lutea* subsp. *lutea* var. *hirta* and *Vicia sativa* subsp. *sativa*). *International Journal of Food Science & Technology* 48(9), 1949-1955. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12175>
- Peleg, M. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 362-368. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>
- Pérez-Hernández, L. M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L. Á., & Gámez-Meza, N. (2013). Phenolic compounds, melanoidins, and antioxidant activity of green coffee bean and processed coffee from *Coffea arabica* and *Coffea canephora* species. *Biotechnia*, 15(1), 51-56.
- Pérez-Navarrete, C., Gonzalez, R., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(14), 2477-2484. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2661>
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, 102, 658-665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.048>
- Rico, D., Cano, A. B. & Martin-Diana, A. B. (2021). Pulse-cereal blend extrusion for improving the antioxidant properties of a glutenfree flour. *Molecules* 26(18), 5578. <https://doi.org/10.3390/molecules26185578>
- Rodríguez-Miranda, J., Ramírez-Wong, B., Vivar-Vera, M. A., Solís-Soto, A., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Medrano-Roldan, H. & Delgado-Licon, E. (2014). Effect of bean flour concentration (*Phaseolus vulgaris* L.), moisture content and extrusion temperature on the functional properties of aquafeeds. *Revista mexicana de ingeniería química* 13(3), 649-663.
- Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Delgado-Licon, E., & Vivar-Vera, M. A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 673-680. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.036>
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT-Food Science and Technology* 41(10), 1799-1807. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.005>
- Rzedzicki, Z. & Moscicki, L. (1994). The investigations of the texture of extruded plant materials. *International agrophysics* 8(4), 671-680.
- Saeleaw, M., Dürschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110(4), 532-540. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.002>
- Sahoo, M. R., Kuna, A., Devi, M. P., Sowmya, M. & Dasgupta, M. (202). Fortification of ready–

to-eat extruded snacks with tree bean powder: nutritional, antioxidant, essential amino acids, and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology* 59 2351-2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05251-w>

- Salas-Lopez, F., Gutierrez-Dorado, R., Milan-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Canizalez-Roman, V. A., León-Sicairos, C. D. R., & Reyes-Moreno, C. (2018). Nutritional and antioxidant potential of a desert underutilized legume–tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). Optimization of germination bioprocess. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), 254-262. <https://doi.org/10.1590/fst.25316>
- Sawant, A. A., Thakor, N. J., Swami, S. B., Divate, A. D. & Vidyapeet, B. S. (2013). Physical and sensory characteristics of ready-to-eat food prepared from finger millet based composite mixer by extrusion. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15(1), 100-105.
- Seth, D., & Rajamanickam, G. (2012). Development of extruded snacks using soy, sorghum, millet and rice blend–A response surface methodology approach. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(7), 1526-1531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03001.x>
- Shah, F. U. H., Sharif, M. K., Butt, M. S. & Shahid, M. (2017). Development of protein, dietary fiber, and micronutrient enriched extruded corn snacks. *Journal of Texture Studies* 48(3), 221-230. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12231>
- Shevkani, K., Singh, N., Rattan, B., Singh, J. P., Kaur, A. & Singh, B. (2019). Effect of chickpea and spinach on extrusion behavior of corn grit. *Journal of Food Science and Technology* 56, 2257-2266. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03712-x>
- Shi, L., Mu, K., Arntfield, S. D., & Nickerson, M. T. (2017). Changes in levels of enzyme inhibitors during soaking and cooking for pulses available in Canada. *Journal of Food Science and Technology* 54, 1014-1022. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2519-6>
- Simons, C., Hall III, C., & Biswas, A. (2017). Characterization of pinto bean high-starch fraction after air classification and extrusion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13254. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13254>
- Singh, B., Sekhon, K. S., & Singh, N. (2007). Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food chemistry*, 100(1), 198-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.042>
- Singh, J. P., Kaur, A., Shevkani, K., Singh, N., & Singh, B. (2016). Physicochemical characterisation of corn extrudates prepared with varying levels of beetroot (*Beta vulgaris*) at different extrusion temperatures. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 911-919. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13051>
- Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O. J., Moughan, P. J., & Singh, H. (2009). Development and characterization of extruded snacks from New Zealand Taewa (Maori potato) flours. *Food Research International*, 42(5-6), 666-673. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.012>
- 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>
- Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K. & Krishnan, P. (2018). Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food science & nutrition* 6(7), 1914-1926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.769>
- Sosa-Moguel, O., Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., González, R., Drago, S., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2009). Effect of extrusion conditions and lipoxygenase

- inactivation treatment on the physical and nutritional properties of corn/cowpea (*Vigna unguiculata*) blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60(sup7), 341-354. <https://doi.org/10.1080/09637480903156251>
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., ... & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451. <https://doi.org/10.1021/jf048751>
- Szymandera-Buszka, K., Gumienna, M., Jędrusek-Golińska, A., Waszkowiak, K., Hęś, M., Szwengiel, A., & Gramza-Michałowska, A. (2021). Innovative application of phytochemicals from fermented legumes and spices/herbs added in extruded snacks. *Nutrients*, 13(12), 4538. <https://doi.org/10.3390/nu13124538>
- Tadesse, S. A., Bultosa, G., & Abera, S. (2019). Functional and physical properties of sorghum-based extruded product supplemented with soy meal flour. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1707608. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1707608>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of food composition and analysis*, 19(6-7), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Thakur, S., & Saxena, D. C. (2000). Formulation of extruded snack food (gum based cereal–pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 33(5), 354-361.
- Vadukapuram, N., Hall, C., Tulbek, M. & Niehaus, M. (2014). Physicochemical properties of flaxseed fortified extruded bean snack. *International Journal of Food Science* 2014(8). <https://doi.org/10.1155/2014/478018>
- Van Wandelen, C., & Cohen, S. A. (1997). Using quaternary high-performance liquid chromatography eluent systems for separating 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate-derivatized amino acid mixtures. *Journal of Chromatography A*, 763(1-2), 11-22. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(96\)00891-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(96)00891-6)
- Vatanparast, H., Islam, N., Patil, R. P., Shafiee, M., Smith, J., & Whiting, S. (2019). Snack consumption patterns among Canadians. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051152>
- Wang, S., Ai, Y., Hood-Niefer, S., & Nickerson, M. T. (2019). Effect of barrel temperature and feed moisture on the physical properties of chickpea, sorghum, and maize extrudates and the functionality of their resultant flours—Part 1. *Cereal Chemistry*, 96(4), 609-620. <https://doi.org/10.1002/cche.10149>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016a). Influence of different mixtures of ingredients on the physicochemical, nutritional and pasting properties of extruded snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization* 10, 690-700. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9353-9>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016c). Effect of incorporation levels of oat and green pea flour on the properties of an extruded product and their optimization. *Acta Alimentaria* 45(1), 28-35. <https://doi.org/10.1556/066.2016.45.1.4>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016d). Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks. *Journal of Food Processing and Preservation* 40(2), 166-173. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12593>
- Wani, S. A., & Kumar, P. (2016b). Development and parameter optimization of health promising

extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food bioscience*, 14, 34-40.
<https://doi.org/10.1556/066.2016.45.1.4>

- Wani, S. A., & Kumar, P. (2019). Influence on the antioxidant, structural and pasting properties of snacks with fenugreek, oats and green pea. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.01.001>
- Wani, S. A., Ganie, N. A., & Kumar, P. (2021). Quality characteristics, fatty acid profile and glycemic index of extrusion processed snacks enriched with the multicomponent mixture of cereals and legumes. *Legume science*, 3(2), e76 <https://doi.org/10.1002/leg3.76>
- Xhabiri, G., Sana, M., Hoxha, I., & Sinani, A. (2023). Influence of chickpea and white bean flour on nutritional values and sensory properties of flips. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 17(1), 21-26
- Ziegler, E.E. & Filer, L.J. (1990). *Conocimientos Actuales Sobre Nutricion*, 7th edn. ILSI Pub Cientif: Washington DC. OMS.

CAPÍTULO 4: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE GARBANZO (*Cicer arietinum*) EN UNA BOTANA COMERCIAL DE MAÍZ (*Zea mays*) EXTRUIDA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE PROTEÍNAS, LA BIOACCESIBILIDAD DE MINERALES Y EL ÍNDICE GLUCÉMICO PREVISTO

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado anteriormente el perfil nutrimental de las botanas tradicionales no es el idóneo, por la carencia de nutrimentos esenciales, como son las proteínas, fibra, vitaminas, minerales, compuestos bioactivos, etc., además de ser densos energéticamente por su baja humedad, alto contenido en carbohidratos, sodio y grasas de baja calidad (Neder-Suarez et al., 2024; Jensen & Schwartz, 2021; Neder-Suarez et al., 2021b; Fardet, 2016). Por lo que no cumplen con las necesidades nutricionales de la población (Korkerd et al., 2016). Además, el consumo elevado y continuado en el tiempo, junto con otro tipo de rutinas poco saludables, pueden favorecer el desarrollo de enfermedades no transmisibles asociados a la dieta y al síndrome metabólico como son: obesidad, hipertensión, diabetes, etc. (Chen et al., 2020; Forouzanfar et al., 2016)

Como ya ha sido reportado en trabajos de otros autores (Capítulo 1. Antecedentes) y se ha analizado en el capítulo 3, la incorporación de estas legumbres tiene un efecto positivo al incrementar la cantidad y calidad proteica, contenido de fibra dietética y minerales, además de incrementar el contenido en polifenoles y de actividad antioxidante.

La mejora del perfil nutricional de estos productos, tienen la finalidad reducir los efectos negativos en la salud de los consumidores.

Para ello es necesario determinar si el aporte proteico y mineral adicional tras la incorporación de legumbres en las botanas, realmente es susceptible de ser absorbido tras la digestión. Por otro lado, es necesario verificar si la reducción del aporte de carbohidratos (Livesey et al., 2019) en botanas, y el incremento del aporte de fibra dietética, realmente influye en la reducción de la hidrólisis del almidón y del índice glucémico. Se ha reportado, que el consumo de fibra tanto soluble como insoluble mejora la glucemia y reduce el riesgo de desarrollar diabetes tipo II (Tsitsou et al.,

2023; Papakonstantinou et al., 2022; Barber et al., 2020, Mao et al., 2021; Weickert et al., 2006).

Para comprender el comportamiento de los alimentos durante el proceso digestivo es esencial relacionar la dieta con la salud, ya que permite analizar la respuesta fisiológica a alimentos específicos (Brodkorbs et al., 2019). Los métodos más realistas, son a la vez los más invasivos, costosos y con implicaciones éticas cuestionables, como la aspiración del contenido estomacal e intestinal en humanos y animales (Sullivan et al., 2014; Boutrou et al., 2013) los denominados modelos *in vivo*. También existen los modelos *in vitro*, el protocolo armonizado INFOGEST 2.0, permite simular la digestión de alimentos, ofreciendo ventajas como la simplicidad, facilidad para diferenciar las distintas fases del proceso digestivo, buena reproducibilidad intralaboratorios e interlaboratorios, robustez y menores costos en comparación con los modelos *in vivo* (Brodkorbs et al., 2019). Sin embargo, presentan limitaciones, ya que no pueden replicar completamente la complejidad dinámica de la digestión ni las interacciones fisiológicas con el organismo (Brodkorbs et al., 2019; Bohn et al. 2015).

Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de la incorporación de garbanzo y adición de arroz en extruidos de maíz “tipo puff”, sobre las propiedades nutricionales (índice glucémico estimado, digestibilidad proteica y bioaccesibilidad de minerales) mediante pruebas de digestión *in vitro*, que permitan obtener una botana comercial con propiedades nutricionales mejoradas en comparación con una botana control de maíz.

4.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.1. Material

Se analizaron tres formulaciones seleccionadas por sus características nutricionales y sensoriales de las analizadas en el capítulo 3, además de la botana comercial con garbanzo, todas ellas elaboradas por Fritos Totis (Tizayuca, Hidalgo, México). La formulación control (FC) se elaboró con un 100% con maíz, la formulación 30 (F30) contiene un 30% de garbanzo, un 50% de arroz y un 20% de maíz, la formulación 60 (F60) se elaboró con 60% de garbanzo, un 35% de

arroz y un 5% de maíz, y la botana comercial (BC) contiene en un inicio los mismos porcentajes de F60, pero se le aplicó tras la extrusión una cobertura de grasa y saborizantes que corresponde a un 24% de su contenido total, reduciéndose el resto de componentes a un 45.6% de garbanzo, 26.6% de arroz y un 3.8% de maíz. Los extruidos se almacenaron en bolsas metálicas laminadas de aluminio y las muestras molidas se almacenaron en recipientes de vidrio herméticos y protegidos de la luz. El pan blanco se adquirió en una panadería local de Orihuela (Alicante, España). Todos los análisis que posteriormente se describen fueron realizados en el laboratorio del grupo de investigación en Productos Alimentarios (IPOA), perteneciente al Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Orihuela, Alicante, España).

4.2.2.Preparación de muestra

Las muestras se acondicionaron triturándolas primero por un procesador de alimento y luego por un molino ciclónico (UDY Corporation, modelo 3010-030, EE. UU.), obteniendo un tamaño de partícula <0.5 mm. Esto se realizó con la excepción de la simulación de digestión *in vitro*, donde se tamizaron las formulaciones para obtener un tamaño de partícula similar al obtenido en la masticación humana de este tipo de producto, utilizando tamaños de partícula de entre 1 y 4 mm. Para las digestiones *in vitro* de pan blanco, se utilizó un tamaño de partícula de 2 a 4 mm.

4.2.3.Composición química

La metodología para la determinación de la composición química de las formulaciones se describe en el capítulo 2.

4.2.4.Contenido proteico

El contenido de proteína se determinó mediante el método Kjeldahl, siguiendo el procedimiento 920.87 descrito por la AOAC (2005). A partir de este valor nitrógeno obtenido, el contenido de proteína total se calculó aplicando el factor de conversión 6.25, correspondiente a la relación estándar entre nitrógeno y proteína.

4.2.5. Contenido de almidón total

El contenido de almidón total de las formulaciones extruidas se determinó mediante el kit K-TSTA-100A (Megazyme Ltd, Irlanda) basado en el método oficial AOAC 996.11 (AOAC, 2000). El procedimiento se fundamenta en la hidrólisis del almidón en glucosa a través de la digestión enzimática con α -amilasa (3000 U/mL; Megazyme Ltd, Ireland) y amiloglucosidasa termorresistente (3300 U/mL; Megazyme Ltd, Ireland), utilizando la maicena, (85% de almidón; Megazyme Ltd, Ireland) como control positivo de la reacción de hidrólisis del almidón y añadiendo el reactivo glucosa oxidasa-peroxidasa (GOPOD) (Megazyme Ltd, Ireland) como marcador de la presencia de glucosa y su posterior determinación mediante espectrofotometría. Como control positivo de la reacción espectrofotométrica con GOPOD se utilizó solución de D-glucosa (1.0 mg/mL en 0.2 ácido benzoico; Megazyme Ltd, Ireland).

Se preparó tampón acetato (100 mM, pH 5.0) con cloruro cálcico (5 mM) añadiendo 5.8 mL de ácido acético glacial (1.05 g/mL) en 900 mL de agua destilada. Posteriormente se ajustó el pH a 5 con solución de NaOH 1 M (4 g/100 mL) y se añade 0.74 g de cloruro cálcico dihidratado y se disolvió. Finalmente se aforó el volumen a 1 L y se mantuvo en refrigeración.

Por otro lado, para la preparación del reactivo GOPOD, primero fue necesario preparar el tampón de GOPOD proporcionado en el kit K-TSTA-100^a (Megazyme Ltd, Irlanda), con las siguientes características 50 mL, pH 7.4 compuesto por ácido p-hidroxibenzoico y azida sódica (0.09 % p/v). Para ello se diluyó el tampón GOPOD en 1 L de agua destilada. Inmediatamente se disolvió la enzima GOPOD proporcionado en el kit K-TSTA-100^a en 20 mL de la solución de tampón GOPOD, y posteriormente se transfiere cuidadosamente al frasco donde se encuentra el resto del tampón GOPOD preparado anteriormente.

Para el análisis de las muestras, se pesaron 100 ± 5 mg tanto de la muestra a analizar como de la muestra de maicena en tubos de 10 mL. Esta muestra de maicena, actúa como control positivo de la digestión enzimática. Para el control negativo, se emplea la misma cantidad de muestra, pero se sustituyó el volumen

correspondiente a las enzimas por tampón acetato (100 mM, pH 5.0). A todas las muestras (control positivo, negativo y experimental) se les añadieron 10 mL de tampón acetato de sodio (100 mM, pH 5.0) con cloruro cálcico (5 mM).

Una vez obtenida una solución homogénea, se añadió 0.1 mL de α -amilasa (3000 U/mL; Megazyme Ltd, Ireland), y se llevó a ebullición durante 15 min en un baño de agua. Posteriormente, los tubos se colocaron en un baño a 50 °C durante 5 min para atemperar las mezclas. Finalizado este tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 10 min. Luego, se adicionó 0.1 mL de amiloglucosidasa (3300 U/mL; Megazyme Ltd, Ireland) y se incubó a 50 °C durante 30 min.

Transcurrido el tiempo de incubación, se enfrió nuevamente a temperatura ambiente durante 10 min. Se tomaron 2 mL de cada muestra y se transfirió a tubos tipo eppendorf, los cuales se centrifugaron a 13,000 rpm (Minicen, Ortoaires, España) durante 5 min. Luego, se prepararon diluciones 1:10 con el tampón acetato (100 mM, pH 5.0). De estas diluciones, se transfirieron alícuotas duplicadas de 0.1 mL a tubos de 10 mL. Además, se prepararon tres controles positivos para la reacción con GOPOD, añadiendo 0.1 mL de una solución de D-glucosa (5 mL, 1.0 mg/mL en 0.2% de ácido benzoico; Megazyme Ltd, Ireland) a tubos de 10 mL esta fue proporcionada también en el K-TSTA-100^a y se usó de forma directa.

A todas las muestras (experimental, maicena, controles negativos y patrón de glucosa) se les agregaron 3 mL del reactivo GOPOD y se incubaron en un baño a 50 °C durante 20 min. Finalmente, se midió la absorbancia a 510 nm utilizando un espectrofotómetro UV/VIS (T80, PG Instruments Limited, United Kingdom).

El cálculo del almidón total se realiza aplicando la ecuación (16) propuesta por Goñi et al. (1997).

$$\text{Almidón total (\%)} = A \times F \times V_D \times \frac{D}{W_d} \times 0.9 \quad (16)$$

A = absorbancias simples de las muestras

F = factor de conversión de los valores de absorbancias para μg de D-glucosa. (100 μg de D-glucosa divididos por los valores de absorbancia del GOPOD para 100 μg de D-glucosa).

V_D = volumen de la fase de digestión (mL)

D = factor de dilución

W_d = peso de la muestra seca (mg)

0.9 = factor de conversión de glucosa libre (D-glucosa) en D-glucosa anhidra, tal y como se encuentra en el almidón.

4.2.6. Contenido mineral

Antes de la cuantificación de minerales es necesario previamente someter las muestras a una digestión por microondas. Para ello se pesó 0.2 ± 0.05 g de cada muestra en tubos de digestión. A continuación, se añadió 8 mL de ácido nítrico al 69% y 2 mL de peróxido de hidrogeno a cada tubo. Las mezclas se sometieron a digestión asistida por microondas. Tras la digestión las muestras se diluyeron con agua milli-Q en matraz aforado y se llevan a un volumen de 50 mL. El contenido del matraz se traspasó a tubos centrifuga de 50 mL. A continuación, se filtró una alícuota de 10 mL de esta solución a través de un filtro de membrana de $0.45 \mu\text{m}$ en tubo de centrifuga de 10 mL.

La cuantificación de los elementos minerales de las diferentes formulaciones de botanas (Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P and Zn) se determinó usando (ICP-MS) un equipo de plasma de acoplamiento inductivo acoplado a un espectrofotómetro de masas modelo Shimadzu MS-2030 (Shimadzu, Kioto, Japón). La unidad opera con las siguientes condiciones 0.91 L/min; radio frecuencia 1200 W voltaje 1.6 V; gas frio 12.0 L/min; gas auxiliar 0.70 L/min. Las muestras fueron analizadas por triplicado y los resultados se expresaron en $\mu\text{g/g}$.

4.2.7. Simulación de digestión *in vitro*

La simulación de la digestión gastrointestinal de las formulaciones extruidas y del pan se realizó según el protocolo armonizado INFOGEST 2.0, basado en Minekus et al. (2014) con las recomendaciones de Brodkorb et al. (2019), donde se incluyó

la obtención de una consistencia pastosa, más ligera que la pasta de tomate, en la fase oral mediante la dilución 1:1 (peso/peso) de la muestra con el fluido electrolítico simulado de la fase oral.

a) Preparación muestra

Previamente a la simulación de digestión gastrointestinal *in vitro* las muestras se molieron con un procesador de alimentos y se tamizaron con tamices de malla de acero inoxidable, para simular el tamaño de partícula obtenida en la masticación humana de este tipo de producto, utilizando tamaños de partícula de 1-4 mm. Para la digestión gastrointestinal *in vitro* del pan blanco, se utilizó un tamaño de partícula de 2-4 mm.

b) Preparación simulación de fluidos electrolíticos

Antes de la simulación gastrointestinal *in vitro* se prepararon los fluidos electrolíticos de cada una de las fases siguiendo la siguiente metodología.

Se prepararon las siguientes concentraciones de sales (Tabla 40) para preparar posteriormente las soluciones para la simulación de fluidos electrolíticos de boca, estómago e intestino delgado:

Tabla 40. Preparación de soluciones salinas para preparación de simulación de fluidos electrolíticos

	Peso (g)	Agua destilada (mL)	<u>Concentración</u> M (mol/L)
KCl	1.865	50	0.5
KH₂PO₄	0.680	10	0.5
NaHCO₃	8.400	100	1.0
NaCl	2.925	25	2.0
MgCl₂(H₂O)₆	0.305	10	0.15
(NH₄)₂CO₃	0.480	10	0.5
CaCl₂(H₂O)₂	1.103	25	0.3

Para preparar cada uno de los fluidos electrolíticos de cada una de las fases de la digestión *in vitro*, se añadió cada uno de los volúmenes de la Tabla 41 en matraces aforados de 200 mL y se enrrasó con agua destilada.

Tabla 41. Preparación de simulación de fluido salival, gástrico e intestinal

Soluciones sales (mL)	Simulación de fluido salival (SFS)	Simulación de fluido gástrico (SFG)	Simulación de fluido de intestino delgado (SFI)
KCl	15.1	6.9	6.8
KH ₂ PO ₄	3.7	0.9	0.8
NaHCO ₃	6.8	12.5	42.5
NaCl	-	11.8	9.6
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0.5	0.4	1.1
(NH ₄) ₂ CO ₃	0.06	0.5	-

Después se ajustó el pH: SFS (pH 7), SFG (pH 3), SFI (pH 7), con HCl 6 M o NaOH 1 M.

A parte fue necesario preparar CaCl₂(H₂O)₂ 0.015 M y CaCl₂(H₂O)₂ 0.006 M en tubos centrifuga de 50 mL con el fin de facilitar el proceso de digestión *in vitro*:

- CaCl₂(H₂O)₂ 0.015 M: en un tubo centrifuga de 15 mL se añadió 7.6 mL H₂O y 400 µL de CaCl₂(H₂O)₂ 0.3 M
- CaCl₂(H₂O)₂ 0.006 M: en un tubo de centrifuga de 15 mL se añadio 4 mL H₂O y 80 µL de CaCl₂(H₂O)₂ 0.3 M

c) Procedimiento de simulación gastrointestinal *in vitro* de las formulaciones:

Se simulan tres fases de digestión siguiendo las siguientes condiciones: oral (2 min, 37 °C, pH 7 ± 0.05), gástrica (2 h, 37 °C, pH 3 ± 0.05) e intestinal (2 h, 37 °C, pH 7 ± 0.05). Para simular las condiciones de motilidad intestinal y temperatura, las muestras se añadieron en tubos centrifuga y estos a su vez fueron colocados en un agitador rotatorio (Intelli-Mixer RM-2M, ELMI, Letonia) dentro de una incubadora a una temperatura de 37 ± 0.5 °C y con una agitación de 70 rpm.

Previo al proceso de simulación gastrointestinal *in vitro* (SGI), se realizaron pruebas para determinar el peso adecuado de las muestras tamizadas (según los requerimientos en las pruebas posteriores a la SGI) y la cantidad de agua que es necesario adicionar para obtener una consistencia pastosa y ligera (Brodkorb et al. 2019). Este volumen fue utilizado como referencia para ajustar los volúmenes de enzima, $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ y simulación de fluidos electrolíticos en cada una de las etapas de la digestión *in vitro* (oral, gástrica e intestinal) según establece Minekus et al. (2014). En cada fase los volúmenes se duplicaron, datos que se tuvieron en cuenta para seleccionar los tubos centrifuga, según los volúmenes requeridos durante toda la simulación de digestión *in vitro*.

La preparación de enzimas dependió de la actividad enzimática del lote utilizado. Para ello se ajustó la cantidad de enzimas y se disolvió en el fluido simulado de la fase donde se adicionó.

Tabla 42. Preparación de soluciones de enzimas

Enzima	Muestra	Cantidad de enzima (mg)	Volumen por muestra (μl)
Amilasa salival	FC, F30, F60	1.1	125
	BC	1.76	100
Pepsina gástrica	FC, F30, F60	3.5	125
	BC	2.8	100
Bilis	FC, F30, F60	1	625
	BC	0.8	500
Pancreatina	FC, F30, F60	5	1250
	BC	4	1000

- Simulación gastrointestinal *in vitro* para determinación de digestibilidad proteica y bioaccesibilidad de minerales:
 - Fase previa:

Para las formulaciones FC, F30 y F60: se pesó 1.2 g de muestra en tubos centrifugas de 50 mL y se disolvió en 4.8 mL de agua destilada.

Para la formulación BC: se pesó 1.5 g de muestra en tubos centrifugas de 50 mL y se disolvió en 3.5 mL de agua destilada.

- Fase oral:

Para las formulaciones FC, F30 y F60, se adicionó 4.8 mL de SFS, 30 μ L de CaCl_2 0.3 M, 0.6 mL de amilasa salival humana (A1031-5KU, Sigma-Aldrich) y 0.570 mL de agua destilada, y se mantuvo durante 2 min a 37 °C a 70 rpm

Para la formulación BC, se adicionó 4 mL de SFS, 25 μ L de CaCl_2 0.3 M y 0.5 mL de amilasa salival humana (A1031-5KU, Sigma-Aldrich) y 0.475 mL de agua destilada, y se mantuvo durante 2 min a 37 °C a 70 rpm

- Fase gástrica:

Para las formulaciones FC, F30 y F60, se adicionó 9.6 mL SFG, 6 μ L de CaCl_2 0.006 M, 0.6 mL de pepsina gástrica porcina (P7012, Sigma-Aldrich) y se ajustó el pH a 3 ± 0.05 con HCl 0.5 o 1 M a necesidad. Posteriormente se ajustó el volumen a 12 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm

Para las formulaciones BC se adicionó 8 mL SFG, 5 μ L de CaCl_2 0.006 M, 0.5 mL de pepsina gástrica porcina (P7012, Sigma-Aldrich) y se ajustó el pH a 3 ± 0.05 con HCl 0.5 o 1 M a necesidad. Posteriormente se ajustó el volumen a 10 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C y 70 rpm.

- Fase intestinal:

Se adicionó 10.2 mL de SFI, 8 μ L CaCl_2 0.3 M y se ajustó el pH a 7 ± 0.05 con NaOH 0.5 o 1 M a necesidad. Posteriormente se añadió 3 mL de extracto biliar porcino (B8631, Sigma-Aldrich) y 6 mL de pancreatina (P7545, Sigma-Aldrich) y se volvió a ajustar el pH a 7 ± 0.05 . Finalmente se ajustó el volumen a 24 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm. Trascurridas las 2 h, para finalizar la actividad enzimática se sometió la

muestra a un choque térmico a cada alícuota durante 5 min en baño de agua en ebullición.

Se adicionaron 8.5 mL de SFI, 40 μ L CaCl_2 0.3 M y se ajustó el pH a 7 ± 0.05 con NaOH 0.5 o 1 M a necesidad. Posteriormente se añadieron 2.5 mL de extracto biliar porcino (B8631, Sigma-Aldrich) y 5 mL de pancreatina (P7545, Sigma-Aldrich) y se volvió a ajustar el pH a 7 ± 0.05 . Finalmente se ajustó el volumen a 20 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm.

Trascurridas las 2 h, para finalizar la actividad enzimática se sometió la muestra a un choque térmico a cada alícuota durante 5 min en baño de agua en ebullición.

Se recolectó una única alícuota al final de la digestión *in vitro*, al final de la fase intestinal (min 242) y se analizó en pruebas posteriores. Se utilizó el sobrenadante para la bioaccesibilidad de minerales y el precipitado para la digestibilidad proteica.

- Simulación gastrointestinal *in vitro* para determinación de cinética de digestión del almidón e índice glucémico estimado:

- Fase previa:

Para las formulaciones FC, F30 y F60 se pesó 0.3g de muestra en tubos centrifugas de 15 mL y se disolvió en 1.2 mL de agua destilada.

Para la formulación BC se pesó 0.3 mg de muestra en tubos centrifugas de 15 mL y se disolvió en 0.7 mL de agua destilada.

- Fase oral:

Para las formulaciones FC, F30 y F60, se adicionó 1.2 mL de SFS, 125 μ L de CaCl_2 0.015 M, 125 μ L de amilasa salival humana (A1031-5KU, Sigma-

Aldrich) y 50 μL de agua destilada y se mantuvo durante 2 min a 37 °C a 70 rpm.

Para la formulación BC, se adicionó 0.8 mL de SFS, 100 μL de CaCl_2 0.3 M y 100 μL de amilasa salival humana (A1031-5KU, Sigma-Aldrich) y se mantuvo durante 2 min a 37 °C a 70 rpm.

- Fase gástrica:

Para las formulaciones FC, F30 y F60, se adicionó 2 mL SFG, 62.5 μL de CaCl_2 0.006 M, 125 μL de pepsina gástrica porcina (P7012, Sigma-Aldrich) y se ajustó el pH a 3 ± 0.05 con HCl 0.125 o 0.250 M. Posteriormente se ajustó el volumen a 2.5 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm.

Para las formulaciones BC se adicionó 8 mL SFG, 5 μL de CaCl_2 0.006 M, 0.5 mL de pepsina gástrica porcina (P7012, Sigma-Aldrich) y se ajustó el pH a 3 ± 0.05 con HCl 0.125 o 0.250 M. Posteriormente se ajustó el volumen a 2 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C y 70 rpm.

- Fase intestinal:

Se adicionó 2.125 mL de SFI, 10 μL CaCl_2 0.3 M y se ajustó el pH a 7 con NaOH 0.125 o 0.250 M, posteriormente se añadió 0.625 mL de extracto biliar porcino (B8631, Sigma-Aldrich) y 1.25 mL de pancreatina (P7545, Sigma-Aldrich) y se volvió a ajustar el pH a 7. Finalmente se ajustó el volumen a 5 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm. Para finalizar la actividad enzimática se sometió la muestra a un choque térmico a cada alícuota durante 5 min en baño de agua en ebullición.

Se adicionó 1.7 mL de SFI, 8 μL CaCl_2 0.3 M y se ajustó el pH a 7 con NaOH 0.125 o 0.250 M, posteriormente se añadió 0.5 mL de extracto biliar porcino (B8631, Sigma-Aldrich) y 1 mL de pancreatina (P7545, Sigma-Aldrich) y se volvió a ajustar el pH a 7. Finalmente se ajustó el volumen a 4 mL con agua destilada y se mantuvo durante 2 h a 37 °C a 70 rpm, para finalizar la actividad

enzimática se sometió la muestra a un choque térmico a cada alícuota durante 5 min en baño de agua en ebullición.

Se tomaron alícuotas independientes para cada tiempo por triplicado, en puntos de tiempo específicos en fase oral (min 2), fase gástrica (min 12 y 122), fase intestinal (min 142 y 242) y se analizan posteriormente.

4.2.8. Evaluación proteica

a) Digestibilidad proteica

Tras aplicar choque térmico a las muestras contenidas en tubos centrífuga de 50 mL y tomadas en el min 242 (final de simulación de digestión *in vitro*), se separó el sobrenadante del pellet mediante centrifugación (8000 g, 10 min a 25 °C) (Nahita Modelo 2652, Alicante, España). Posteriormente, se determinó el contenido proteico del pellet que correspondió a la proteína no digerida mediante el método Kjeldahl, siguiendo el 920.87 (AOAC ,2005), descrita en el capítulo 2. La digestibilidad proteica se expresó en porcentaje de proteína digerida, con respecto al contenido proteico total de cada formulación, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación (17):

$$Proteina\ digerida\ (\%) = \frac{(\% Pi - \% Pnd)}{\% Pi} \times 100 \quad (17)$$

Pi: % proteína inicial, antes de la digestión *in vitro*

Pnd: % proteína no digerida tras la digestión *in vitro*, min 242

b) Digestibilidad proteica corregida con puntuación química de aminoácidos (DPC-PQAA)

La digestibilidad proteica corregida con puntuación química de aminoácidos fue determinada según Wang et al. (2019), multiplicando la puntuación química del aminoácido limitante por el porcentaje de proteína digerida (Ecuación 18):

$$DPCP - QAA = Contenido\ aminoacido\ limitante \times Digestibilidad\ proteica\ in\ vitro \quad (18)$$

c) Índice estimado de eficiencia proteica (IEEP)

Para determinar el índice estimado de eficiencia proteica (IEEP), se utilizan los valores de composición de leucina y tirosina de las formulaciones seleccionadas, según Neder-Suarez et al. (2024), siguiendo la siguiente ecuación (19):

$$IEEP = -0.468 + 0.454 (Leu) - 0.105 (Tyr) \quad (19)$$

4.2.9. Cinética de digestión del almidón e índice glucémico estimado

La cinética de digestión de almidón se determinó en función del porcentaje de almidón hidrolizado con respecto al almidón total (punto 4.2.5), en las muestras digeridas en cada una de las alícuotas tomadas (5 mL) en cada uno de los tiempos de la simulación de digestión *in vitro* (desarrollado en el punto 4.2.7) en los min 2 en la fase oral, min 12 y 122 de la fase gástrica, min 142 y 242 de la fase intestinal (Figura 13).

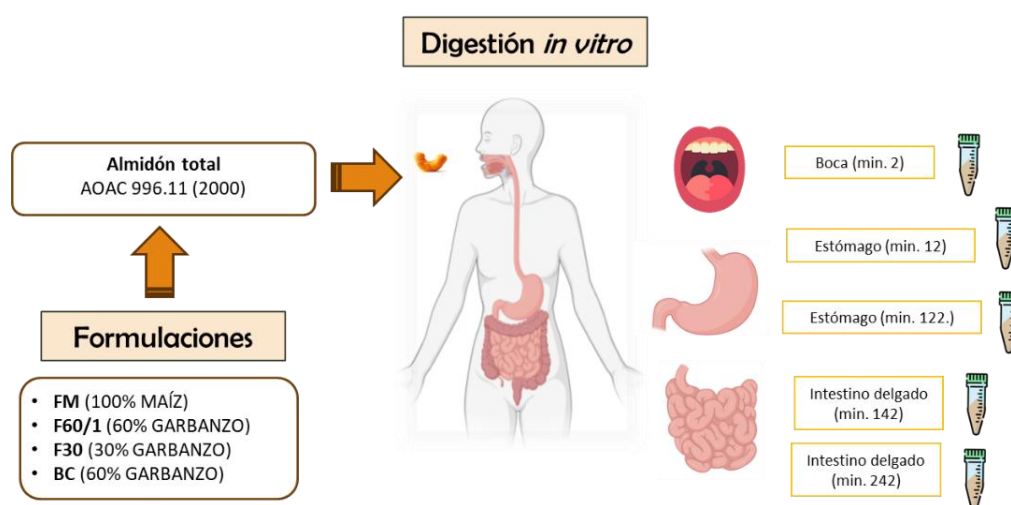


Figura 13. Toma de alícuotas para determinación de cinética de digestión de almidón.

Mediante la conversión del almidón en maltodextrinas durante la digestión *in vitro*, y tras su conversión en D-glucosa tras la acción de la amiloglucosidasa, la cantidad de D-glucosa presente en la muestra se determinó (utilizando como reactivo enzimático el GOPOD) por espectrofotometría (510 nm) (Figura 14). Para ello se sigue la siguiente metodología:

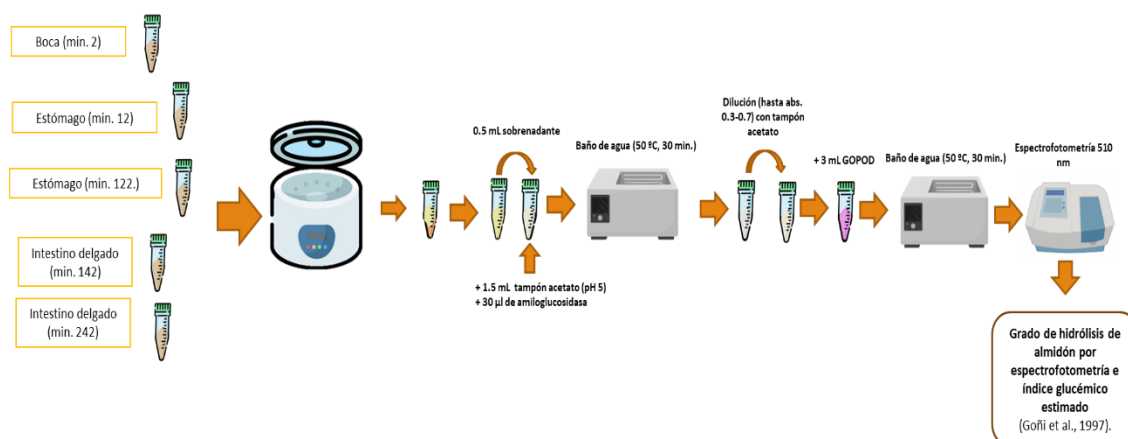


Figura 14. Metodología cinética digestión del almidón

Después del choque térmico (5 min en baño de agua hirviendo) para inactivar la actividad enzimática en la digestión *in vitro*, cada alícuota se centrifugó (8400 g, 10 min a 25 °C) (Nahita Modelo 2652, Alicante, España), se separó el precipitado del sobrenadante y se diluyó 0.5 ml del sobrenadante con 1.5 ml de tampón acetato (100 mM, pH 5) (preparación descrita en el punto 4.2.5) y se añadió 30 µl de amiloglucosidasa 3300 U/ml (Megazyme Ltd, Irlanda) para hidrolizar las maltodextrinas a D-glucosa. Esta mezcla se incubó durante 30 min. a 50 °C en baño de agua. Posteriormente, se realizaron diluciones con tampón acetato (pH 5) para obtener absorbancias entre 0.3 y 0.9 a 510 nm. A continuación, se mezcló alícuotas de 100 µl con 3 ml de reactivo de glucosa oxidasa más peroxidasa (GOPOD) (Megazyme Ltd, Irlanda) y se incubó durante 30 min a 50 °C en baño de agua. Los controles positivos (maicena 85% almidón), controles negativos y los patrones de D-glucosa (Megazyme Ltd, Irlanda) se midieron a 510 nm (espectrómetro UV/VIS T80, PG Instruments Limited, Reino Unido). Los resultados se expresan como porcentaje de almidón hidrolizado utilizando la ecuación (16) (presentada en el punto 4.2.6) propuesta por Goñi et al. (1997).

Para determinar el índice glucémico estimado (IGe) se siguió la metodología propuesta por Goñi et al. (1997). A partir de la ecuación (20), se obtuvo la constante k (específica para cada punto temporal), la cual se utilizó para calcular el AUC del almidón hidrolizado de los extruidos y del pan utilizando la ecuación (21), para la obtener el índice de hidrólisis (IH) en cada uno de los tiempos, se aplicó la ecuación (22). Y finalmente, se empleó la ecuación (23) para obtener IGe en cada uno de los tiempos.

$$C = C_{(\infty)(1-e^{-kt})} \quad (20)$$

$$AUC = C_{\infty}(t_{\infty} - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right)[1 - e^{-k(t_{\infty}-t_0)}] \quad (21)$$

$$IH = \frac{AUC_{botana\ extrudida}}{AUC_{pan\ blanco}} \times 100 \quad (22)$$

$$IGe = 39.71 + 0.549IH \quad (23)$$

donde,

C = % almidón hidrolizado

C_{∞} = % almidón hidrolizado en el tiempo final de reacción

k = constante de cinética de reacción

AUC = área bajo la curva

t_{∞} = tiempo final de reacción (242 min)

t_0 = tiempo de inicio de reacción

HI = índice de hidrólisis

IGe = índice glucémico estimado

4.2.10. Bioaccesibilidad de minerales tras la digestión gastrointestinal *in vitro*

Se utilizaron 2.5 mL del sobrenadante de la alícuota (tubos de centrífuga 50 mL) del min 242 de la digestión *in vitro*. Se determinó el contenido mineral (Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn y Zn) utilizando la misma metodología del punto 4.2.6. Para el cálculo de la bioaccesibilidad de cada mineral, se calculó dividiendo el contenido inicial de cada mineral entre el contenido de cada mineral tras la digestión *in vitro* y se multiplicó por 100. El resultado se expresó en %.

4.2.11. Análisis estadístico

Cada parámetro se determina por triplicado. Se realiza un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% para determinar las diferencias en el contenido mineral y su bioaccesibilidad, el contenido proteico y la digestibilidad, el contenido total de almidón, la digestibilidad del almidón y el índice glucémico estimado (IGe). Se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el software

Statgraphics Centurion versión 19 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, Virginia).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Contenido proteico y evaluación proteica

El aporte proteico de un alimento, no solo viene marcado por el contenido total de proteína, comúnmente expresado en gramos por 100 gramos de alimento o por porcentaje, sino también por el aprovechamiento por parte del organismo de ese contenido de proteína. A través de la digestión *in vitro*, se puede estimar cuanta cantidad de esa proteína presente en el alimento es digerida durante el proceso digestivo y por lo tanto es susceptible de ser absorbida.

El proceso de extrusión mejora la digestibilidad de las proteínas, respecto a las mezclas sin extruir, al desnaturalizar las proteínas y favorecer la exposición de los sitios susceptibles a la actividad enzimática (Rico et al., 2021; Manosalvas et al., 2019; Wang et al., 2019; Alonso et al., 2000), además de inactivar inhibidores de tripsina y quimiotripsina (antinutrientes) (Wani & Kumar, 2016; Pérez-Navarrete et al., 2006). Por lo tanto, la extrusión es un proceso tecnológico que puede mejorar los alimentos cuando lo comparamos con cereales y legumbres crudas (Félix-Medina et al., 2021), llegando a incrementar la digestibilidad proteica alrededor de un 10% (Hussein, 2000).

En cuanto a los resultados obtenidos en este estudio en general se obtuvieron porcentajes elevados de digestibilidad proteica (Figura 15) en todas las formulaciones entre 89.50 ± 0.71 a $96.56 \pm 0.28\%$, siendo la botana comercial (BC) aquella con menor porcentaje de digestibilidad proteica y la formulación control (FC) aquella con mayor digestibilidad proteica.

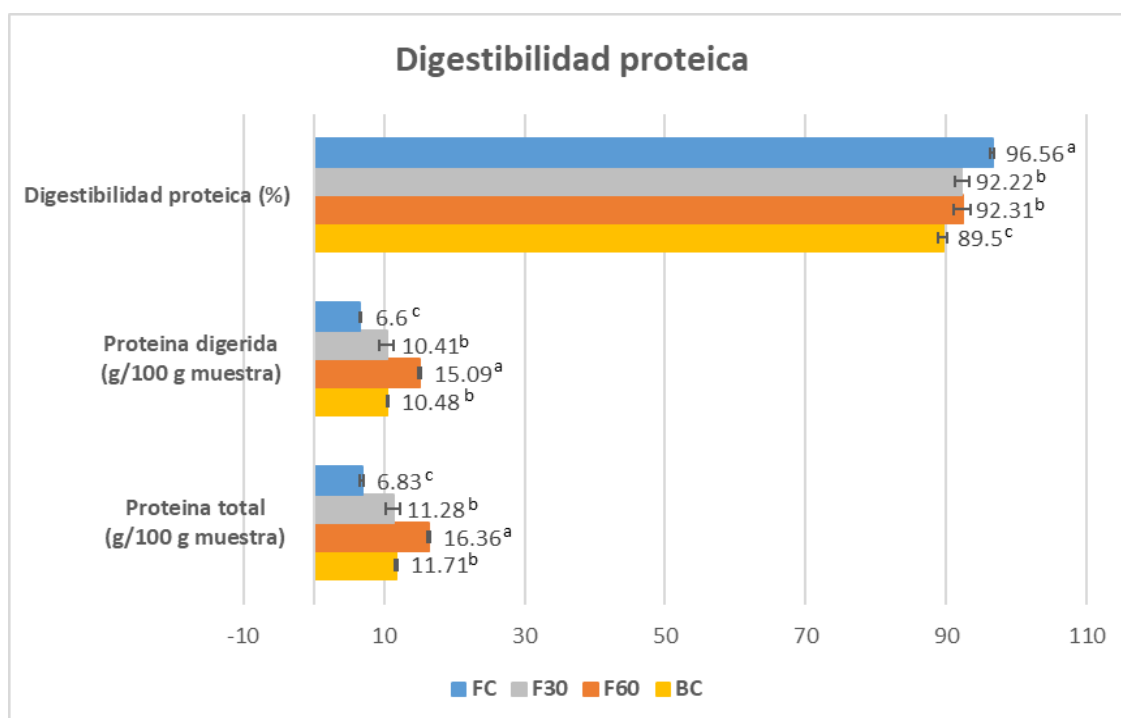


Figura 15. Digestibilidad proteica de formulaciones seleccionadas. Valores medios (n=3). Se aplicó la prueba de Tukey. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes

Por otro lado, el mayor contenido de proteína total previo a la digestión *in vitro* de las cuatro formulaciones seleccionadas la presentó F60 (16.36 ± 0.22 g/100 g de producto) siendo FC el que presentó el menor contenido de proteína total de las cuatro formulaciones analizadas (6.83 ± 0.34 g/100 g de producto). Aunque la FC fue la que mayores porcentajes de digestibilidad proteica presentó, esta fue la formulación con menor cantidad de proteína digerida 6.60 ± 0.02 g/100 g de producto, en comparación con F60 donde se obtuvo 15.09 ± 0.19 g/100 g de producto. Esto fue debido a que la FC partía de un contenido inicial menor comparado con el resto de formulaciones analizadas. Por lo que en este estudio fue más importante el contenido de proteína total de las formulaciones que el porcentaje de proteína digerida, ya que este último parámetro fue elevado en general en todas las formulaciones oscilando entre 89.50 ± 0.71 a $96.56 \pm 0.28\%$. Los valores más bajos de BC en proteína total y proteína digerida se explican por su distinta composición, ya que contiene un 24 % de cobertura de grasa y saborizantes, a diferencia del resto de formulaciones que carecen de dicha adición.

En cuanto a la digestibilidad proteica corregida por la puntuación química de aminoácidos esenciales (DPC-PQAA) (Tabla 43), este indicador combina la digestibilidad proteica *in vitro* con la calidad del perfil de aminoácidos esenciales, siguiendo las recomendaciones establecidas por la FAO (2013). Los valores obtenidos variaron entre $51.05 \pm 0.73 \%$ y $89.49 \pm 0.71 \%$, siendo la formulación BC la que presentó el valor más alto de DPC-PQAA, seguida por F60, con un $88.78 \pm 2.10 \%$. En contraste, la formulación FC mostró el valor más bajo, con un $51.05 \pm 0.73 \%$.

Tabla 43. Parámetros de digestibilidad proteica de formulaciones seleccionadas.

DIGESTIBILIDAD PROTEICA	FORMULACIONES			
	FC	F30	F60	BC
Proteína total (g/100 g producto)	6.83 ± 0.34^c	11.28 ± 0.16^b	16.36 ± 0.22^a	11.71 ± 0.23^b
Proteína digerida (g/100 g producto)	6.60 ± 0.02^c	10.41 ± 0.05^b	15.09 ± 0.19^a	10.48 ± 0.08^b
Digestibilidad proteica (%)	96.56 ± 0.28^a	92.31 ± 0.48^b	92.22 ± 1.16^b	89.50 ± 0.71^c
DPC-PQAA	51.05 ± 0.73^c	73.38 ± 2.99^b	88.78 ± 2.10^a	89.49 ± 0.71^a
IEEP	5.05 ± 0.19^a	1.88 ± 0.02^b	1.82 ± 0.04^b	1.93 ± 0.04^b

Base húmeda. Valores medios (n=3) $\pm$ desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. Se aplicó la prueba de Tukey. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes. DPC-PQAA: digestibilidad proteica corregida con puntuación química de aminoácidos; IEEP: Índice estimado de eficiencia proteica.

Este resultado evidencia que FC, a pesar de haber presentado la digestibilidad proteica más alta de forma aislada, obtuvo el valor más bajo de DPC una vez corregido con la puntuación química de los aminoácidos. Por el contrario, BC, que inicialmente tenía una digestibilidad proteica más baja, alcanzó el valor más elevado de DPC-PQAA tras considerar la calidad de su perfil aminoacídico. Por lo que la menor digestibilidad de BC fue compensada de forma notoria por la calidad proteica (puntuación química), obteniendo en definitiva una proteína de mayor calidad que FC.

En cuanto al índice estimado de eficiencia proteica (IEEP), que estima la capacidad de una proteína de promover el crecimiento. Los resultados (Tabla 43)

variaron de 1.82 ± 0.04 a 5.05 ± 0.19 , siendo la formulación FC aquella con los niveles más elevados y F60 aquella con los niveles más bajos.

En otros trabajos han reportado porcentajes de digestibilidad también elevados, por ejemplo, 95% (Neder-Suarez et al., 2024) 77% (Félix-Medina et al., 2021), 78% (Gómez-Favela et al., 2021), 71% (Natabirwa et al., 2020), 82% (Wang et al., 2019), 87% (Hegazy et al., 2017), 80% (Ruiz-Ruiz et al., 2008), 85% (Pastor-Cavada et al. 2013), 82% (Pastor-Cavada et al., 2011), 82% (Pérez-Navarrete et al., 2006). Algunos autores observaron diferencias significativas al incorporar legumbre en las muestras extruidas, incrementando la digestibilidad proteica con el contenido de legumbre, en el estudio de Neder-Suarez et al. (2024) se incrementó de 88.21% a un 95.22% al incorporar frijol y en el trabajo de Hegazy et al. (2017) donde se incrementó la digestibilidad proteica de un 68.18 a un 87.57%, al incrementar la cantidad de garbanzo germinado hasta un 30%. La extrusión reduce la calidad proteica al disminuir ligeramente el contenido de aminoácidos esenciales respecto a las mezclas sin extruir, pero este incremento de la digestibilidad proteica puede compensarlo (Félix-Medina et al., 2021). Otros estudios reportan que la mayor o menor digestibilidad proteica, viene dado más bien por las condiciones de extrusión y no tanto la proporción de ingredientes, al no encontrar diferencias significativas ($p > 0.05$) al incorporar legumbres (Natabirwa et al., 2020; Pastor-Cavada et al., 2011; Pérez-Navarrete et al., 2006). En Natabirwa et al. (2020) se sugiere mayor digestibilidad proteica a bajas temperaturas de extrusión, debido a menores cambios en las estructuras de las proteínas. Por otro lado, los extruidos con legumbres con elevados contenidos de maíz, incrementa la digestibilidad proteica, al incrementar las interacciones de proteína con el almidón, aumentando los grupos hidrófilos y por lo tanto la solubilidad molecular de las proteínas (Siddiq et al., 2013). Otra explicación es que el mayor contenido de grasa de las legumbres intervenga como protector de las proteínas durante la extrusión (Wang et al., 2019), dando explicación a la mayor digestibilidad de proteínas mostrado por Neder-Suarez et al. (2024) al incrementar el contenido de legumbre. Estos resultados reportados por otros autores, no concuerdan con los obtenidos en nuestra investigación, ya que la FC con un 100% de maíz, obtuvo la mayor digestibilidad proteica de todas las formulaciones analizadas. Por lo que en este estudio la mayor presencia de grasa

puede explicar las diferencias entre en la digestibilidad proteica de FC ($0.78 \pm 0.10\%$ grasa en base húmeda) respecto a BC ($25.07 \pm 0.54\%$ grasa en base húmeda) quien tuvo los menores niveles de digestibilidad proteica, que unido por otro lado a la mayor presencia de fibra dietética total en las formulaciones con garbanzo (capítulo 3), explican la posible causa de la menor digestibilidad proteica en las formulaciones con garbanzo.

4.3.2. Cinética de digestión del almidón

La cinética de digestión e hidrólisis del almidón de las distintas formulaciones analizadas, se muestran en la Figura 16. La formulación F60 presentó el comportamiento más favorable, con una liberación de glucosa más atenuada durante los 242 min de digestión *in vitro*, en comparación con el resto de las formulaciones.

En contraposición, la formulación control (FC) mostró una hidrólisis del almidón significativamente mayor desde el minuto 2 hasta el minuto 242, superando incluso al alimento de referencia (pan blanco), salvo en el punto de muestreo correspondiente al minuto 142. Así, la hidrólisis del almidón fue menor en todas las formulaciones que contenían garbanzo (F30, F60 y BC) en comparación con la formulación 100% maíz (FC). Sin embargo, a pesar de esta reducción, todas superaron los valores registrados para el pan blanco, lo que indica que la incorporación de garbanzo, si bien modera la conversión de almidón en glucosa, no reduce su magnitud a niveles comparables con un alimento de bajo a moderado índice glucémico. Esto evidencia que las formulaciones con garbanzo siguen presentando una elevada tasa de digestión del almidón.

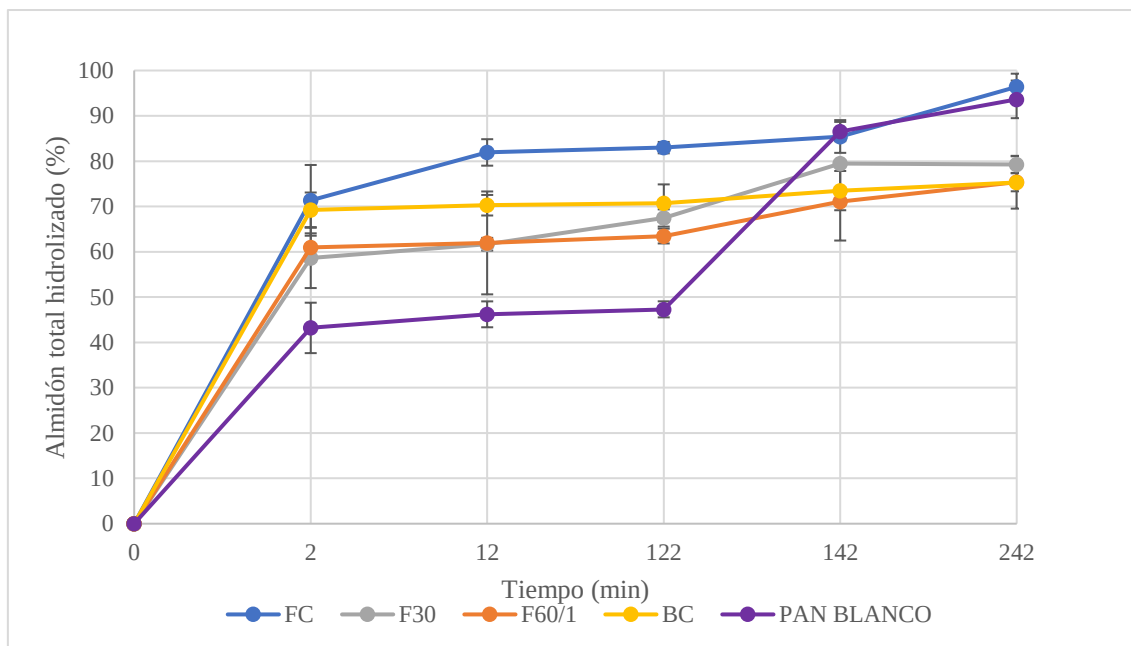


Figura 16. Tasa de hidrólisis total de formulaciones seleccionadas durante la digestión gastrointestinal (protocolo INFOGEST 2.0). FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes

En la Tabla 44 se presenta el contenido de almidón total e hidrolizado de las diferentes formulaciones. En cuanto al almidón total la formulación BC presenta el menor contenido (48.29 ± 1.19 g/100 g de muestra), en contraste con la formulación control (FC), que registra el valor más elevado (72.02 ± 1.65 g/100 g de muestra). Asimismo, BC es la formulación que experimenta la menor hidrólisis de almidón a lo largo del proceso de digestión *in vitro*, liberando 36.36 ± 2.79 g/100 g, mientras que FC alcanza la mayor cantidad de almidón hidrolizado (69.43 ± 2.09 g/100 g). Esta menor cantidad de almidón total en la formulación BC, puede atribuirse a la presencia de la cobertura de grasa y saborizantes (24% de su contenido total), lo que reduce el contenido de almidón en esta formulación al igual que el resto de componentes.

Autores como Pérez-Navarrete et al. (2006), reportaron niveles más bajos que los observados en este estudio, en cuanto al contenido de almidón total, siendo de un 69.36% para mezclas de un 25% de legumbre y de 50.79% para mezclas de un 50%. Una explicación según Pérez-Navarrete et al. (2006), es que en su método de cuantificación no detectó moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, ya que las intensas condiciones de extrusión degradaron una parte importante del

almidón inicial. Apoyando esta teoría Sosa-Moguel et al. (2009) reportó que a mayores temperaturas de extrusión se reduce el contenido de almidón total de las muestras extruidas. En este estudio no se detectó presencia de maltodextrinas ni resto de maltosa, tras la extrusión.

En general, todas las formulaciones tuvieron una rápida y alta hidrólisis del almidón observada desde los primeros minutos de la digestión (min 2), con una liberación de glucosa que osciló entre el $58.65 \pm 6.65 \%$ y el $71.35 \pm 7.80 \%$ del almidón total en las formulaciones, siendo la formulación FC la que mayores niveles presentó y la F30 la que menos. Siendo en el pan blanco de $43.2 \pm 5.56 \%$.

Estos resultados concuerdan con Hardacre et al. (2006) quien trabajó con lentejas, reportó que la mezcla de maíz con legumbres es una buena alternativa para reducir la hidrólisis del almidón de los extruidos, incluso por debajo de aquellos elaborados en un 100% con legumbre.

Nongmaithem et al. (2024) reportó porcentajes más elevados de almidón total hidrolizado entre un 87.61-92.5% en mezclas con un 20% de lenteja germinada, datos superiores a los obtenidos en los experimentos de este trabajo (75.3 ± 5.78 y 79.25 ± 1.92) en las formulaciones con garbanzo, salvo para FC donde fue superior $96.4 \pm 2.90\%$.

Tabla 44. Hidrólisis total del almidón de las formulaciones seleccionadas

FORMULACIÓN		HIDRÓLISIS TOTAL DE ALMIDÓN				
		Min. 2	Min. 12	Min. 122	Min. 142	Min. 242
FC	AH (g/100 g de muestra*)	51.37 ± 5.62 ^a	59 ± 2.10 ^a	59.76 ± 0.91 ^a	61.54 ± 2.6 ^a	69.43 ± 2.09 ^a
	ATH (%)	71.35 ± 7.80 ^a	81.92 ± 2.92 ^a	82.98 ± 1.26 ^a	85.44 ± 3.61 ^a	96.4 ± 2.90 ^a
	AT (g/100 g de muestra*)	72.02 ± 1.65 ^A				
F30	AH (g/100 g de muestra*)	40.83 ± 4.63 ^b	42.93 ± 0.98 ^b	47.17 ± 1.33 ^b	55.32 ± 0.22 ^b	55.17 ± 1.34 ^b
	ATH (%)	58.65 ± 6.65 ^c	61.67 ± 1.40 ^c	67.46 ± 1.90 ^{bc}	79.47 ± 0.31 ^{ab}	79.25 ± 1.92 ^b
	AT (g/100 g de muestra*)	69.62 ± 1.97 ^B				
F60	AH (g/100 g de muestra*)	34.87 ± 1.79 ^c	35.45 ± 6.5 ^c	36.32 ± 0.87 ^c	40.68 ± 4.93 ^c	43.13 ± 1.16 ^c
	ATH (%)	60.95 ± 3.13 ^{bc}	61.96 ± 11.35 ^c	63.47 ± 1.52 ^c	71.09 ± 8.61 ^b	75.37 ± 2.03 ^b
	AT (g/100 g de muestra*)	57.22 ± 2.33 ^C				
BC	AH (g/100 g de muestra*)	33.45 ± 1.84 ^c	33.94 ± 1.09 ^c	34.17 ± 1.99 ^c	35.49 ± 2.09 ^d	36.36 ± 2.79 ^d
	ATH (%)	69.26 ± 3.82 ^{ab}	70.27 ± 2.27 ^b	70.75 ± 4.12 ^b	73.5 ± 4.33 ^b	75.3 ± 5.78 ^b
	AT (g/100 g de muestra*)	48.29 ± 1.19 ^D				
Pan blanco	AH (g/100 g de muestra*)	18.73 ± 2.41 ^d	20.03 ± 1.24 ^d	20.51 ± 0.77 ^d	37.52 ± 0.92 ^d	40.6 ± 1.8 ^c
	ATH (%)	43.2 ± 5.56 ^d	46.2 ± 2.86 ^d	47.3 ± 1.77 ^d	86.53 ± 2.13 ^a	93.64 ± 4.15 ^a
	AT (g/100 g de muestra*)	43.36 ± 0.38 ^E				

AH: almidón hidrolizado; ATH: almidón total hidrolizado; AT: almidón total. * muestra húmeda. Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma columna que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. Las letras en minúsculas expresan diferencias en AH entre cada muestra, en cada uno de los tiempos analizados; las letras en cursivas expresan diferencias en ATH entre cada muestra, en cada uno de los tiempos analizados; las letras en mayúsculas expresan diferencias en AT, entre cada una de las muestras. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes.

La FAO/OMS define el índice glucémico como “el área bajo la curva de respuesta de la glucosa en sangre de una porción de 50 g de carbohidratos de un alimento, expresada como el porcentaje de la respuesta a la misma cantidad de carbohidratos de un alimento estándar (glucosa o pan blanco) ingerido el mismo sujeto” (FAO/OMS, 1998). Es un concepto nutricional útil que permite clasificar los alimentos según su capacidad para estimular la respuesta insulínica después de las comidas. Hoy en día, se reconoce que esta respuesta insulínica posprandial, es un buen reflejo del proceso de almacenamiento de grasa, especialmente a nivel visceral, y por lo tanto, un indicador del aumento de peso relacionado con el tejido adiposo (Lucas-González et al.,2021).

Los resultados obtenidos en cuanto al índice glucémico estimado (IGe), en los tiempos de 122, 142 y 242 min, pertenecientes a las fases de final de estómago e intestino delgado durante la digestión *in vitro*, se presentan en la Tabla 45. La formulación control (FC) fue la que mayor IGe presentó en todos los tiempos variando de 139.93 ± 0.43 a 96.32 ± 1.61 . En cuanto a las formulaciones con garbanzo la formulación BC fue la que mayor IGe presentó (124.30 ± 2.90) seguida de F30 (120.10 ± 1.28) y por último F60 (115.03 ± 1.11). Y en cuanto al min. 142, F30 (89.86 ± 0.12) mayor IGe seguida de BC 85.86 ± 0.39 y F60 84.26 ± 4.15 . La formulación F60 fue la que menor IGe presentó en todos los tiempos analizados.

En general, los valores de IGe fueron elevados en todas las formulaciones, lo que puede atribuirse a la rápida y alta hidrólisis del almidón observada desde los primeros minutos de la digestión (min 2). Una de las posibles causas puede ser el alto contenido de almidón de todas las formulaciones, además de la estructura porosa típica de los productos expandidos, que favorece el acceso de las enzimas digestivas al almidón y, por ende, su rápida hidrólisis. No obstante, se observa una reducción del IGe de las formulaciones con garbanzo, respecto a la FC (formulación 100% maíz), dado por el menor contenido almidón del garbanzo y a la menor expansión de las formulaciones con garbanzo. Aun así, este IGe sigue siendo elevado en todas las formulaciones, por lo que existe un amplio margen de mejora en este apartado para los productos extruidos.

En relación con los resultados reportados por otros autores, Rico et al. (2021) obtuvieron valores de índice glucémico estimado (IGe) similares a los del presente estudio al utilizar formulaciones con un 50 % de lenteja, particularmente a una temperatura de extrusión de 130 °C. En dicho estudio, se registró un valor de IGe en el min 150 min de digestión *in vitro*, comparable con los valores observados en nuestras formulaciones F30 y F60, que presentaron, en el min 142, valores de 89.86 ± 0.12 y 84.26 ± 4.15 , respectivamente, siendo mayores en este trabajo.

Por otra parte, estos autores señalan que la utilización de temperaturas de extrusión elevadas (superiores a 130 °C), como en el caso del presente trabajo, puede inducir la formación de una capa superficial o costra en el producto expandido. Esta capa actúa como una barrera que limita tanto la gelatinización del almidón como el acceso de las enzimas digestivas, lo que podría contribuir a una menor liberación de glucosa. En consecuencia, a temperaturas de extrusión más bajas, es posible que el IGe se incremente debido a una mayor disponibilidad del almidón para la digestión enzimática. En lo referente al pan, las formulaciones obtenidas por estos mismos autores, su hidrólisis del almidón estuvo por debajo del pan en todos los tiempos analizados, cosa que no ocurre en este estudio.

Cuando comparamos los datos obtenidos con estudios *in vivo*, estos están por encima los resultados reportados por ejemplo por Foster-Powell et al. (2002) en digestiones *in vivo* en productos extruidos de maíz y arroz (índice glucémico = 106). Por otro lado, Johnston et al. (2021) determinó el IG *in vivo* en personas, obtuvo 110 mmol·min/L (minuto 0-120) utilizando mezclas de un 40% de garbanzo con maíz, también estando por debajo de los resultados de este estudio. En general en este estudio los resultados pueden estar sobreestimados si lo comparamos con estudios *in vivo*.

En resumen, los resultados obtenidos, evidencia una mejora en la reducción parcial de la hidrólisis de almidón e índice glucémico estimado (IGe), siendo la F60, junto con la F30, la que mejores datos obtuvieron. Los valores aun indicando mejoras siguen siendo elevados en comparación con el pan blanco. Por lo que es necesario seguir investigando estrategias para reducir estos parámetros, además

de validar los resultados con modelos *in vivo*, para evitar posibles problemas de sobrestimación.

Tabla 45. Índice glucémico estimado de las fórmulas seleccionadas

ÍNDICE GLUCÉMICO ESTIMADO	FORMULACIÓN			
	FC	F30	F60	BC
IGe₁₂₂	139.93 ± 0.43 ^a	120.10 ± 1.28 ^c	115.03 ± 1.11 ^d	124.30 ± 2.90 ^b
IGe₁₄₂	93.85 ± 0.20 ^a	89.86 ± 0.12 ^{ab}	84.26 ± 4.15 ^c	85.86 ± 0.39 ^{bc}
IGe₂₄₂	96.32 ± 1.61 ^a	85.71 ± 0.69 ^b	83.32 ± 1.02 ^b	83.27 ± 1.75 ^b

Valores medios (n=3) ± desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre sí ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes.

4.3.3. Bioaccesibilidad de minerales

El contenido mineral es mayor en legumbres que en cereales como el maíz (Shah et al., 2017), según lo que se ha podido observar en los capítulos anteriores. Por lo que su aporte en la dieta se incrementa en productos extruidos que incorporan legumbres (Neder-Suarez et al., 2024; Xhabiri et al 2023; Manosalvas et al., 2019). Sin embargo, aunque el aporte suele aumentar con la mayor presencia de legumbres como el garbanzo, también lo hace el contenido de ácido fítico, que es un quelante de minerales. A pesar que el proceso de extrusión suele reducir los niveles de ácido fítico (Hegazy et al., 2017; Wani & Kumar, 2016), su contenido sigue siendo elevado (Figura 17). La presencia de antinutrientes como el ácido fítico (PA) en las legumbres favorece su efecto quelante sobre minerales como Ca, Cu, Fe, Mg, Mn y Zn, lo que puede reducir su bioaccesibilidad tras la digestión y, por tanto, su absorción (Idate et al., 2021; Han et al., 2018; Wani & Kumar, 2016; Gupta et al., 2015).

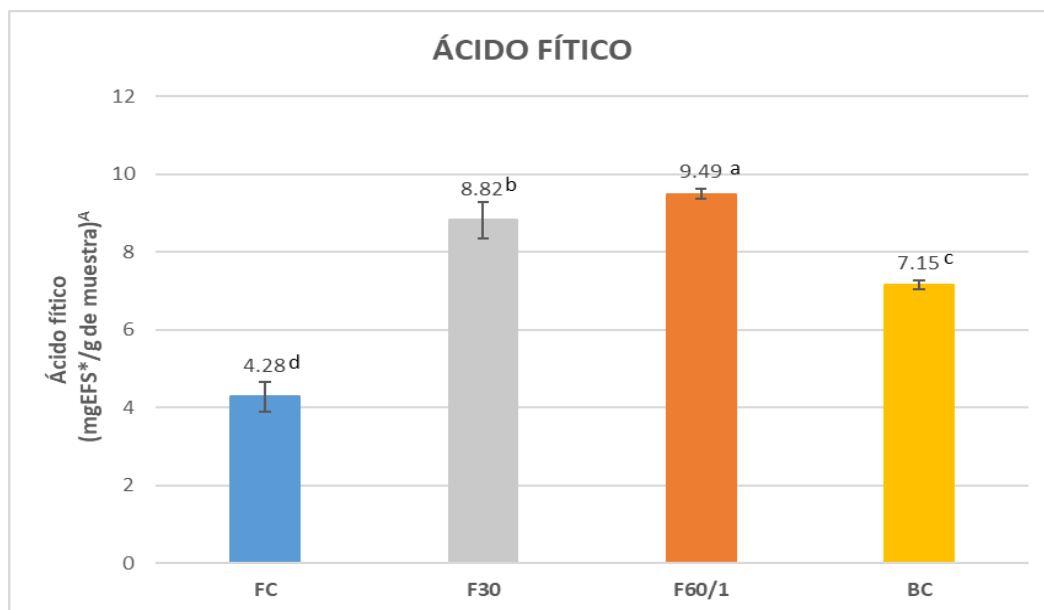


Figura 17. Contenido ácido fítico en formulaciones seleccionadas. Valores medios (n=3). Los valores con la misma letra, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. ^A Base húmeda. EFS: equivalentes de fitato de sodio. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes

Como se puede observar en la Tabla 46, después del minuto 242 de digestión *in vitro*, no se observó la presencia de Ca en ninguna de las formulaciones extruidas analizadas. Para otros minerales como Cu, la bioaccesibilidad fue de 43.22 ± 3.02 % en F30 a 36.06 ± 2.68 % en F60, lo que podría ser un efecto de la mayor presencia de ácido fítico en la formulación con mayor contenido de garbanzo (F60) que con menor contenido de F30. El mismo efecto se observó para P, donde aquellas formulaciones con menor contenido de garbanzo tuvieron el mayor porcentaje de bioaccesibilidad 88.14 ± 15.39 % en FC y 44.67 ± 3.64 % en F60. Un efecto similar se observó para Zn, donde la mayor bioaccesibilidad se observó en el extruido F30 ($98.43 \pm 30.6\%$) en comparación con F60, donde la bioaccesibilidad más baja fue 44.67 ± 3.64 %. Por otro lado, para otros minerales como el Fe, esta tendencia cambió, siendo tanto en la cantidad tras la digestión *in vitro* como en el % de bioaccesibilidad mayor en aquellas muestras con garbanzo 71.96 ± 6.68 % (BC) y siendo menor en el FC ($6.97 \pm 2.81\%$). En el caso del Mn, el comportamiento fue similar al del Fe, aquellas formulaciones con garbanzo obtuvieron un % MB mayor que aquellas con menor % de garbanzo, obteniendo en la formulación BC el mayor % MB de Mn ($51.02 \pm 5.23\%$) y el menor en FC ($15.94 \pm 1.11\%$). En el caso del Mg, no se observaron diferencias significativas

($p>0.05$) en cuanto a % MB, pero su contenido fue mayor en aquellas formulaciones con garbanzo tras 242 min de digestión *in vitro*, siendo de 65.17 ± 11.6 g/100 g de muestra en la F60 frente a FC (14.91 ± 2.11 g/100 g).

Tabla 46. Bioaccesibilidad de minerales de las formulaciones seleccionadas

BIOACCESIBILIDAD DE MINERALES		FORMULACIÓN			
		FC	F30	F60	BC
Ca	I ₀ (µg/g)	7.19 ± 2.39^d	18.58 ± 2.43^c	28.93 ± 4.65^b	62.17 ± 2.69^a
	I ₂₄₂ (µg/g)	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
	% MB	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
	% VNR	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Cu	I ₀ (µg/g)	0 ± 0^c	0.22 ± 0.02^b	0.37 ± 0.02^a	0.26 ± 0.03^b
	I ₂₄₂ (µg/g)	0 ± 0^d	0.1 ± 0^b	0.14 ± 0.01^a	0.07 ± 0.02^c
	% MB	0 ± 0^c	43.22 ± 3.02^a	36.06 ± 2.68^{ab}	27.82 ± 10.96^b
	% VNR	0 ± 0^d	0.51 ± 0.01^b	0.73 ± 0.07^a	0.38 ± 0.12^c
Fe	I ₀ (µg/g)	1.17 ± 0.06^d	1.72 ± 0.23^c	2.84 ± 0.14^a	2.52 ± 0.13^b
	I ₂₄₂ (µg/g)	0.08 ± 0.03^b	1.09 ± 0.71^a	1.26 ± 0.43^a	1.81 ± 0.14^a
	% MB	6.97 ± 2.81^b	62.77 ± 36.67^a	43.87 ± 12.75^{ab}	71.96 ± 6.68^a
	% VNR	0.02 ± 0.01^b	0.23 ± 0.15^a	0.26 ± 0.09^a	0.37 ± 0.03^a
Mg	I ₀ (µg/g)	19.66 ± 1.01^d	64.56 ± 1.61^c	94.86 ± 0.54^a	73.91 ± 1.19^b
	I ₂₄₀ (µg/g)	14.91 ± 2.11^c	43.04 ± 2.4^b	65.17 ± 11.6^a	53.83 ± 3.31^{ab}
	% MB	76.24 ± 13.64	66.68 ± 3.68	68.66 ± 11.84	72.88 ± 5.51
	% VNR	0.21 ± 0.03^c	0.61 ± 0.03^b	0.92 ± 0.16^a	0.76 ± 0.05^{ab}
Mn	I ₀ (µg/g)	0.13 ± 0^d	1.41 ± 0.05^c	1.79 ± 0.05^b	2.02 ± 0.05^a
	I ₂₄₂ (µg/g)	0.02 ± 0^d	0.23 ± 0.03^c	0.42 ± 0.03^b	1.03 ± 0.1^a
	% MB	15.94 ± 1.11^c	16.24 ± 1.89^c	23.47 ± 2.41^b	51.02 ± 5.23^a
P	I ₀ (µg/g)	63.27 ± 2.01^c	185.77 ± 10.58^b	256.94 ± 3.06^a	199.45 ± 12.78^b
	I ₂₄₂ (µg/g)	61.5 ± 19.09^b	105 ± 12.2^b	165.2 ± 39.72^a	155.3 ± 7.33^a
	% MB	88.14 ± 15.39^a	56.53 ± 5.79^c	44.67 ± 3.64^{bc}	76.37 ± 3.29^{ab}
	% VNR	0.40 ± 0.14^b	0.55 ± 0.06^b	0.87 ± 0.21^a	0.82 ± 0.04^a
Zn	I ₀ (µg/g)	0.86 ± 0.22^c	1.75 ± 0.05^b	2.53 ± 0.18^a	1.85 ± 0.17^b
	I ₂₄₂ (µg/g)	0.67 ± 0.04^c	1.71 ± 0.49^a	1.13 ± 0.04^{bc}	1.41 ± 0.11^{ab}
	% MB	80 ± 16.16^{ab}	98.43 ± 30.69^a	44.67 ± 3.64^b	76.37 ± 3.29^{ab}
	% VNR	0.23 ± 0.01^c	0.60 ± 0.17^a	0.40 ± 0.02^{bc}	0.50 ± 0.04^{ab}

Valores medios (n=3) $\pm$ desviación estándar. Los valores en la misma fila que comparten la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. % VNR: % Valor nutricional diario de referencia en la población Mexicana establecida en NOM-0510-SCF1/SSA1-2010 cubierto por 35 g. de producto respecto a I₂₄₂. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes. I₀: contenido mineral total la botana; I₂₄₂: contenido mineral soluble tras 242 min de digestión *in vitro*; MB: % de bioaccesibilidad mineral.

Aunque el % MB se vio afectado en todos los minerales, en general, a mayor contenido en garbanzo, mayor es la presencia en todos los minerales tras la digestión *in vitro* tras min. 242 en el sobrenadante (Figura 18), excepto para Ca. Por lo tanto, la presencia de ácido fítico puede afectar la bioaccesibilidad de Ca, Mg, P, Zn, pero su efecto sobre Cu, Fe y Mn es menos claro. En cuantos a los datos reportados para BC, los resultados pueden verse afectados por la presencia de la cobertura de grasa y saborizantes (24%), donde puede ir incluidos minerales no procedentes del garbanzo.

Otros autores como Pastor-Cavada et al. (2011) donde trabajaron sustituyendo un 15% del contenido de extruidos con arroz y maíz por legumbre, obtuvieron 9.8% y 10% para extruidos de arroz y por otro lado 7.1% y 12.1% de bioaccesibilidad para el hierro en extruidos de maíz, siendo inferiores a los porcentajes obtenidos en este estudio (14.0-14.6%). En el caso del zinc reportaron niveles de bioaccesibilidad de zinc para extruidos de arroz de 14.0-14.6% y de 16.1-18.6% para extruidos de maíz, siendo también inferiores a lo reportado en este trabajo (44.67-98.43%). En cuanto al porcentaje cubierto de valor nutricional diario recomendado (VNR), de los valores de bioaccesibilidad de hierro y zinc, ellos reportan niveles de 0.23-0.45% para hierro y 0.52-0.91% para el zinc, siendo inferiores en este estudio 0.23-0.37% para el hierro y 0.40-0.60% en el zinc. Un estudio posterior de los mismos autores (Pastor-Cavada et al., 2013) reportó resultados con una tendencia similar, reafirmando las diferencias observadas. Estos datos aun siendo bajos, se trata de la cantidad de mineral bioaccesible, dato que ya tienen en cuenta para establecer el VNR, por lo que el porcentaje de VNR cubierto por esta ración puede ser mayor. Drago et al. (2010) reporta mejoras en la bioaccesibilidad del hierro al incluir legumbres en extruidos de maíz, concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

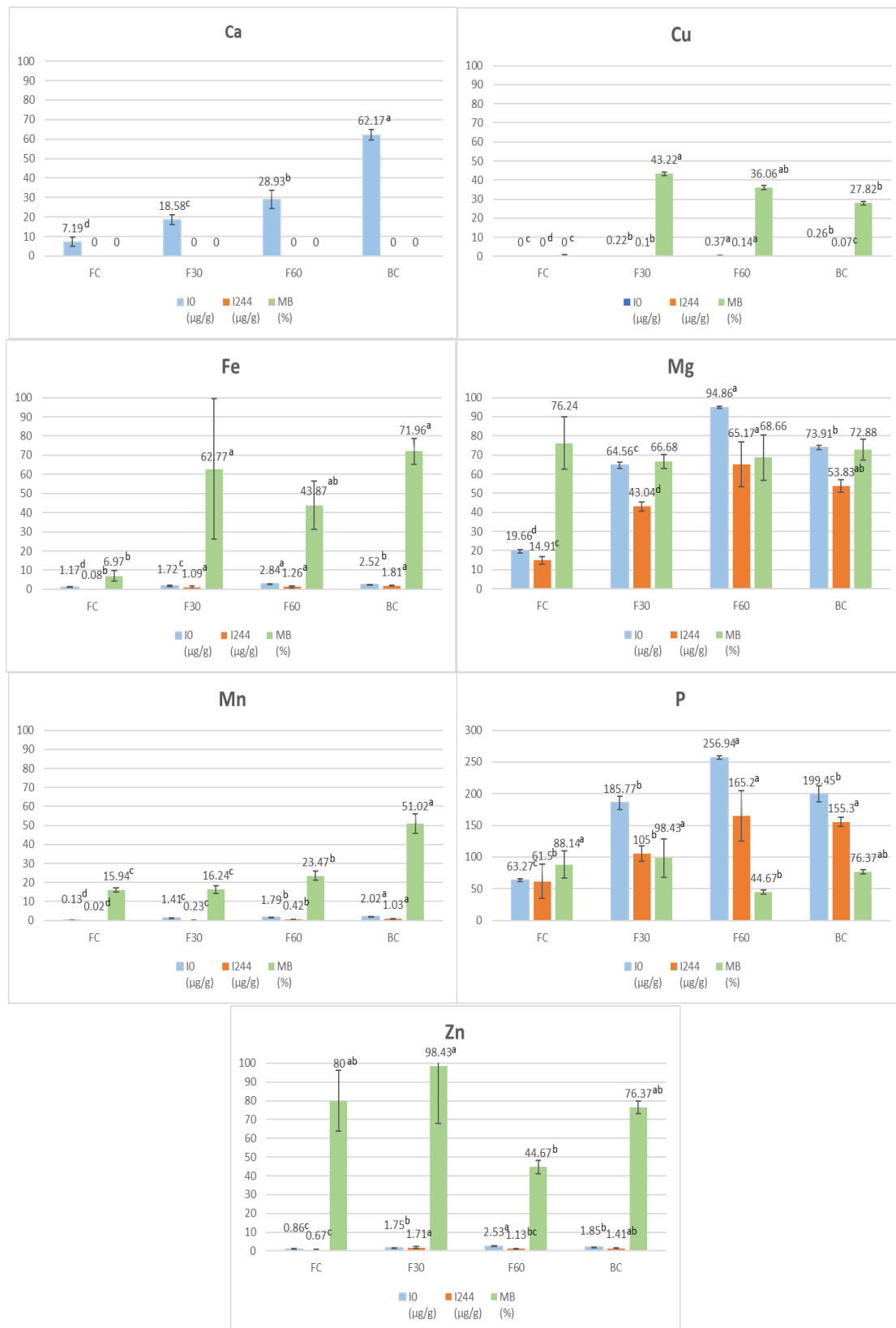


Figura 18. Bioaccesibilidad de minerales de las formulaciones seleccionadas. Valores medios (n=3). Los valores que comparten barras del mismo color con la misma letra, o que carecen de ella, no poseen diferencias significativas entre si ($p>0.05$), de acuerdo a la prueba Tukey. FC: 100% maíz; F30: 30% garbanzo, 50% arroz, 20% maíz; F60: 60% garbanzo, 35% arroz, 5% maíz; BC: 45.6% garbanzo, 26.6% arroz, 3.8% maíz, 24% cobertura de grasa y saborizantes

4.4. CONCLUSIÓN

La incorporación de garbanzo en una botana de maíz extruido incrementó la ingesta proteica, con un alto porcentaje de digestibilidad en todas las formulaciones y, por tanto, alta susceptibilidad a la absorción. Aunque la digestibilidad proteica fue ligeramente mejor en la botana 100% maíz en comparación con aquellos con garbanzo, el mayor contenido proteico inicial de las botanas con garbanzo es más efectivo que el porcentaje de digestibilidad. En cuanto a la hidrólisis del almidón, se observó una mejora en la formulación con garbanzo, ya que el aumento de la hidrólisis durante la digestión *in vitro* se suavizó con respecto al extruido 100% de maíz, y el menor contenido de almidón en las formulaciones con garbanzo favoreció la reducción de la hidrólisis, aunque todavía fue alto con respecto al alimento control, el pan. En cuanto a la bioaccesibilidad mineral, la presencia de garbanzo incrementó el mayor aporte de minerales bioaccesibles al final de la digestión *in vitro*, aun observándose un posible efecto quelante del ácido fítico sobre minerales como Ca, Mg, P y Zn. Por lo tanto, desde el punto de vista nutricional, la incorporación de garbanzo en botanas de maíz extruido tiene un efecto positivo sobre la digestibilidad de las proteínas, la hidrólisis del almidón y la bioaccesibilidad de minerales.

4.5. REFERENCIAS

- Alonso, R., Aguirre, A. & Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68(2), 159-165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7)
- AOAC International. (1995). *Official methods of analysis of AOAC International* (Official Method 920.87, Protein (Total) in Flour). AOAC International
- AOAC Official Method 996.11. (2000). Starch (Total) in Cereal Products. Amyloglucosidase-alpha-Amylase Method.
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Bohn, T., McDougall, G. J., Alegría, A., Alminger, M., Arrigoni, E., Aura, A. M., ... & Santos, C. N. (2015). Mind the gap—deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of phytochemicals and their metabolites—a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(7), 1307-1323. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400745>
- Boutrou, R., Gaudichon, C., Dupont, D., Jardin, J., Airinei, G., Marsset-Baglieri, A., ... & Leonil, J. (2013). Sequential release of milk protein-derived bioactive peptides in the jejunum in healthy humans. *The American journal of clinical nutrition*, 97(6), 1314-1323. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.055202>
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., et al (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, 14(4), 991-1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
- Chen, X., Zhang, Z., Yang, H., Qiu, P., Wang, H., Wang, F., ... & Nie, J. (2020). Consumption of ultra-processed foods and health outcomes: a systematic review of epidemiological studies. *Nutrition journal*, 19(1), 86. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00604-1>
- Drago, S., Zuleta, A., De Greef, M., Torres, R., González, R., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2010). Disponibilidad de minerales de extrudidos elaborados con granos enteros de maíz y/o leguminosa (*Phaseolus vulgaris*). *Utilización de recursos naturales tropicales para el desarrollo de alimentos*, 208-223.
- FAO/WHO (1998). *Carbohydrates in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Fardet, A. (2016). *Minimally processed foods are more satiating and less hyperglycemic than ultra-processed foods: a preliminary study with 98 ready-to-eat foods*. <https://doi.org/10.1039/c6fo00107f>
- Félix-Medina, J. V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J. A., López-Ángulo, G., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K. & Montes-Ávila, J. (2021). Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 142, 111053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Findings and recommendations of the 2011 FAO expert consultation on protein quality evaluation in human nutrition. En *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation* (FAO Food and Nutrition Paper, No. 92). FAO.
- Forouzanfar, M. H., Afshin, A., Alexander, L. T., Anderson, H. R., Bhutta, Z. A., Biryukov, S.,

- ... & Carrero, J. J. (2016). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The lancet*, 388(10053), 1659-1724
- Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Partida-Preciado, R. A., Espinoza-Moreno, R. J., Preciado-Ortiz, R., & Gutiérrez-Dorado, R. (2021). Gluten-free healthy snack with high nutritional and nutraceutical value elaborated from a mixture of extruded underutilized grains (quality protein maize/tepyary bean). *Acta universitaria*, 31. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3024>
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*, 17(3), 427-437. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9).
- Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of food science and technology*, 52(2), 676-684. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y>
- Han, N., Miao, H., Yu, T., Xu, B., Yang, Y., Wu, Q., ... & Huang, Z. (2018). Enhancing thermal tolerance of *Aspergillus niger* PhyA phytase directed by structural comparison and computational simulation. *BMC biotechnology*, 18(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12896-018-0445-y>
- Hardacre, A. K., Clark, S. M., Riviere, S., Monro, J. A. & Hawkins, A. J. (2006). Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture studies* 37(1), 94-111. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2006.00041.x>
- Hegazy, H. S., El-Bedaway, A. E. A., Rahma, E. H. & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion processs on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 4(1), 59-66
- Hussein, E. H. (2000). Chemical and nutritional evaluation of high protein extrudates. Doctoral dissertation, Doctor of Philosophy Thesis, Faculty Home Economic, Minufiya University, Egypt.
- Idate, A., Shah, R., Gaikwad, V., Kumathekar, S., & Temgire, S. (2021). A comprehensive review on antinutritional factors of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pharma Innov*, 10(5), 816-23. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5k.6306>
- Jensen, M. L., & Schwartz, M. B. (2021). Junk food consumption trends point to the need for retail policies. In *The American journal of clinical nutrition* (Vol. 114, Issue 3, pp. 837–838). NLM (Medline). <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab189>
- Johnston, A. J., Mollard, R. C., Dandeneau, D., MacKay, D. S., Ames, N., Curran, J., ... & Jones, P. J. (2021). Acute effects of extruded pulse snacks on glycemic response, insulin, appetite, and food intake in healthy young adults in a double blind, randomized, crossover trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 46(7), 704-710. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0572>
- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D. & Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology* 53, 561-570. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>
- Livesey, G., Taylor, R., Livesey, H. F., Buyken, A. E., Jenkins, D. J., Augustin, L. S., ... & Brand-Miller, J. C. (2019). Dietary glycemic index and load and the risk of type 2 diabetes: a

- systematic review and updated meta-analyses of prospective cohort studies. *Nutrients*, 11(6), 1280. <https://doi.org/10.3390/nu11061280>
- Lucas-González, R., Pérez-Álvarez, J. Á., Moscaritolo, S., Fernández-López, J., Sacchetti, G., & Viuda-Martos, M. (2021). Evaluation of polyphenol bioaccessibility and kinetic of starch digestion of spaghetti with persimmon (*Diospyros kaki*) flours coproducts during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 338, 128142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128142>
- Manosalvas, A., Taimal, R., & Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. *Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764*, 4(3), 67-80. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911
- Mao, T., Huang, F., Zhu, X., Wei, D., & Chen, L. (2021). Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Functional Foods*, 82, 104500. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104500>
- Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T. O. R. S. T. E. N., Bourlieu, C., ... & Brodkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. *Food & function*, 5(6), 1113-1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>
- Natabirwa, H., Nakimbugwe, D., Lung'aho, M., Tumwesigye, K. S. & Muyonga, J. H. (2020). Bean-based nutrient-enriched puffed snacks: Formulation design, functional evaluation, and optimization. *Food Science & Nutrition* 8(9), 4763-4772. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1727>
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F. & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021b). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT – Food Science and Technology* 146, 111414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111414>
- Neder-Suárez, D., Vázquez-Rodríguez, J. A., González-Martínez, B. E., Meléndez-Pizarro, C. O., Hernández-Ochoa, L. R., Murowaniecki-Otero, D., Rodríguez-Roque, M.J. & Quintero-Ramos, A. (2024). Effect of using alternative flours on the development and characteristics of a third-generation snacks. *Food Chemistry Advances* 4, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100571>
- Nongmaithem, R., Meda, V., Niranjana, T., Shukla, R. M., Hashmi, S. & Dwivedi, M. (2024). Effect of extrusion process on germinated lentil (*Lens culinaris*) based snack foods: Impact on starch digestibility, physio-functional, and antioxidant properties. *Measurement: Food* 13, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100132>
- Papakonstantinou, E., Oikonomou, C., Nychas, G., & Dimitriadis, G. D. (2022). Effects of diet, lifestyle, chrononutrition and alternative dietary interventions on postprandial glycemia and insulin resistance. *Nutrients*, 14(4), 823. <https://doi.org/10.3390/nu14040823>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., & Vioque, J. (2011). Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry* 128(4), 961-967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.126>
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M. & Vioque, J. (2013). Physical and nutritional properties of extruded products based on whole grain with the addition of wild legumes (*Vicia lutea* subsp. *lutea* var. *hirta* and *Vicia sativa* subsp.

- sativa*). *International Journal of Food Science & Technology* 48(9), 1949-1955. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12175>
- Pérez-Navarrete, C., Gonzalez, R., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(14), 2477-2484. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2661>
- Rico, D., Cano, A. B., & Martín-Diana, A. B. (2021). Pulse-cereal blend extrusion for improving the antioxidant properties of a gluten-free flour. *Molecules*, 26(18), 5578. <https://doi.org/10.3390/molecules26185578>
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT-Food Science and Technology* 41(10), 1799-1807. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.005>
- Shah, F. U. H., Sharif, M. K., Butt, M. S., & Shahid, M. (2017). Development of protein, dietary fiber, and micronutrient enriched extruded corn snacks. *Journal of texture studies*, 48(3), 221-230. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12231>
- Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J. B., Dolan, K. D. & Nyombaire, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT-Food Science and Technology* 50(1), 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.024>
- Sosa-Moguel, O., Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., González, R., Drago, S., Betancur-Ancona, D. & Chel-Guerrero, L. (2009). Effect of extrusion conditions and lipoxygenase inactivation treatment on the physical and nutritional properties of corn/cowpea (*Vigna unguiculata*) blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60(sup7), 341-354. <https://doi.org/10.1080/09637480903156251>
- Sullivan, L. M., Kehoe, J. J., Barry, L., Buckley, M. J., Shanahan, F., Mok, K. H., & Brodtkorb, A. (2014). Gastric digestion of α -lactalbumin in adult human subjects using capsule endoscopy and nasogastric tube sampling. *British journal of nutrition*, 112(4), 638-646. <https://doi.org/10.1017/S0007114514001196>
- Tsitsou, S., Athanasaki, C., Dimitriadis, G., & Papakonstantinou, E. (2023). Acute effects of dietary fiber in starchy foods on glycemic and insulinemic responses: a systematic review of randomized controlled crossover trials. *Nutrients*, 15(10), 2383. <https://doi.org/10.3390/nu15102383>
- Wang, S., Nosworthy, M. G., House, J. D., Ai, Y., Hood-Niefer, S., & Nickerson, M. T. (2019). Effect of barrel temperature and feed moisture on the physical properties of chickpea–sorghum and chickpea–maize extrudates, and the functionality and nutritional value of their resultant flours—Part II. *Cereal Chemistry*, 96(4), 621-633. <https://doi.org/10.1002/cche.10162>
- Wani, S. A. & Kumar, P. (2016). Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks. *Journal of Food Processing and Preservation* 40(2), 166-173. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12593>
- Weickert, M. O., Möhlig, M., Schöfl, C., Arafat, A. M., Otto, B., Viehoff, H., ... & Pfeiffer, A. F. (2006). Cereal fiber improves whole-body insulin sensitivity in overweight and obese women. *Diabetes care*, 29(4), 775-780. <https://doi.org/10.2337/diacare.29.04.06.dc05-2374>
- Xhabiri, G., Sana, M., Hoxha, I., & Sinani, A. (2023). Influence of chickpea and white bean flour on nutritional values and sensory properties of flips.

ANEXOS

a) Tablas de correlaciones de Pearson de harinas

Tabla 47. Correlaciones de Pearson entre propiedades químicas de las harinas

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Humedad	-	0.5747	0.2626	-0.5705	0.1278	0.1737	0.1737	0.7846**	0.4695
Proteína		-	0.8685***	-0.9924***	0.6816**	0.8650**	-0.0737	0.7770**	0.9594***
Grasa			-	-0.8231**	0.4599	0.7934**	0.2234	0.3739	0.9085***
HC				-	-0.7549**	-0.8811**	0.1004	-0.8245**	-0.9422***
FDT					-	0.8380**	-0.1522	0.6877*	0.6338*
FDI						-	-0.0826	0.6089*	0.8297**
FDS							-	-0.3810	0.0077
Ceniza								-	0.6612*
AF									-
PT	-0.9080***	-0.6200*	-0.4960	0.5714	0.0423	-0.1906	0.0565	-0.5728	-0.5577
DPPH	-0.0864	0.2060	0.1557	-0.2369	0.4084	0.3159	-0.3895	0.2104	0.3065
ABTS	0.0124	0.3756	0.5741	-0.3670	0.1898	0.4148	0.3239	0.0625	0.4375

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico; PT: polifenoles totales

Tabla 48. Correlaciones de Pearson entre propiedades físicas de las harinas

Variables	Aw	L^*	a^*	b^*	Chroma	Hue	ΔE
Aw	-	-0.9667***	-0.5551	0.8609**	0.8722**	0.1046	-0.5572
L^*		-	0.7135**	-0.7494**	-0.7646**	0.1068	0.3483
a^*			-	-0.0858	-0.1095	0.7679**	-0.2936
b^*				-	0.9997***	0.5627	-0.7901*
Chroma					-	0.5432	-0.7772*
Hue						-	-0.8941*
ΔE							-

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Aw: actividad de agua; L^* : blancura/oscuridad; a^* : rojez/verdor; b^* : amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE : diferencia total de color

Tabla 49. Correlaciones de Pearson entre propiedades químicas y físicas de las harinas

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE
Humedad	0.2882	-0.3885	-0.8019**	-0.2149	-0.1949	-0.7442**	0.2355
Proteína	0.6491*	-0.5500	-0.3170	0.4520	0.4591	0.1108	-0.9399**
Grasa	0.3077	-0.1372	0.1597	0.2989	0.2949	0.4155	-0.9576***
HC	-0.7280**	0.6325*	0.3763	-0.5224	-0.5307	-0.1007	0.8966**
FDT	0.9308***	-0.8170**	-0.3039	0.9069***	0.9122***	0.3514	-0.7460*
FDI	0.7640**	-0.6108*	-0.0947	0.7601**	0.7611**	0.4634	-0.9410**
FDS	-0.3463	0.4661	0.4893	-0.1917	-0.2030	0.2964	-0.1608
Ceniza	0.8167**	-0.8479**	-0.8270**	0.4301	0.4491	-0.3647	-0.3844
AF	0.5577	-0.4416	-0.1769	0.4234	0.4271	0.2173	-0.9482***

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color

Tabla 50. Correlaciones de Pearson entre propiedades tecnológicas y propiedades físicas/antioxidantes de las harinas

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE	PT	DPPH	ABTS
IAA	0.0052	0.1944	0.5081	0.1569	0.1450	0.6018*	-0.8273**	-0.3076	0.0443	0.5186
ISS	0.6786*	-0.5814*	-0.3269	0.4870	0.4942	0.1233	-0.9262**	-0.5917*	0.2241	0.3555
IAAC	0.7298**	-0.7484**	-0.6905*	0.4047	0.4205	-0.2639	-0.4934	-0.5962*	0.2972	-0.0093
CH	0.3648	-0.5006	-0.6192*	0.2020	0.2159	-0.4511	0.4945	0.3114	0.0008	-0.4618
DA	-0.1157	-0.1058	-0.6026*	-0.3795	-0.3647	-0.8031**	0.8852**	0.0321	-0.1301	-0.4580
AE	0.8372**	-0.7889**	-0.5581	0.5773*	0.5897*	-0.0280	-0.7426*	-0.5301	0.2987	0.2440
EE	-0.8531**	0.7676**	0.3997	-0.7092**	-0.7174**	-0.1766	0.7656*	0.3117	-0.3167	-0.2491
CE	0.5027	-0.4189	-0.2754	0.2955	0.3021	0.0353	-0.8934**	-0.6927*	0.0300	0.3236
EES	0.5141	-0.4578	-0.1892	0.4414	0.4447	0.1794	-0.7666*	-0.2548	0.5638	0.2346
SYN	0.5758	-0.4370	-0.1159	0.4794	0.4816	0.2976	-0.9740***	-0.5156	0.2881	0.4600
Gel móvil	0.8464**	-0.7132**	-0.0325	0.9889***	0.9875***	0.6148	-0.8591	0.3063	0.4698	0.1826
Gel estable	0.8667**	-0.8952***	-0.5292	0.8086**	0.8191**	0.0420	-0.2313	0.3465	0.4129	-0.1805

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; AE: actividad de emulsión; EE: estabilidad de emulsión; CE: capacidad de espuma; EES: estabilidad de espuma; SYN: sinéresis; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; PT: polifenoles totales

Tabla 51. Correlaciones de Pearson entre propiedades antioxidantes de las harinas

Variables	PT	DPPH	ABTS
PT	-	0.1838	-0.1896
DPPH	0.1838	-	0.0480
ABTS	-0.1896	0.0480	-

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$; PT: polifenoles totales

Tabla 52. Correlaciones de Pearson entre el contenido de minerales y propiedades tecnológicas de las harinas

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	AE	EE	CE	EES	SYN	Gel móvil	Gel estable
Ca	0.9546***	0.8207**	0.4329	-0.7658**	-0.8842***	0.6125*	-0.5994*	0.8164**	0.5311	0.9090***	0.3983	-0.2401
Fe	0.9356***	0.8519**	0.4756	-0.7240**	-0.8788**	0.6594*	-0.6491*	0.8340**	0.5607	0.9295***	0.4578	-0.1679
K	0.6971*	0.9922***	0.7679**	-0.4087	-0.6277*	0.9143***	-0.8558**	0.9357***	0.6429*	0.9822***	0.5554	0.1446
Mg	0.7189**	0.9862***	0.7680	-0.4570	-0.6325*	0.8934***	-0.8250**	0.9419***	0.6448*	0.9773***	0.4983	0.0784
Mn	0.8337**	0.6716*	0.3837	-0.7989**	-0.6293*	0.4475	-0.3449	0.7557**	0.3873	0.7364**	-0.0620	-0.5553
Na	0.8669***	0.9232***	0.5932*	-0.6203*	-0.8098**	0.7720**	-0.7502**	0.8904***	0.6079*	0.9733***	0.5267	-0.0361
P	0.5990*	0.9921***	0.8273**	-0.3219	-0.5034	0.9445***	-0.8555**	0.9446***	0.6347*	0.9512***	0.4941	0.1750
Zn	0.7833**	0.9029***	0.6267*	-0.5912*	-0.6303*	0.7593**	-0.6668*	0.9177***	0.5432	0.9273***	0.2798	-0.1735
Cu	0.7345**	0.3047	-0.0793	-0.5737	-0.8957***	0.1286	-0.3077	0.2218	0.3093	0.4700	0.6324*	-0.0042

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; AE: actividad de emulsión; EE: estabilidad de emulsión; CE: capacidad de espuma; EES: estabilidad de espuma; SYN: sinéresis

Tabla 53. Correlaciones de Pearson entre propiedades fisicoquímicas y contenido de minerales/propiedades antioxidantes de las harinas

Variables	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn	Cu	PT	DPPH	ABTS
Humedad	0.2127	0.2206	0.5117	0.5337	0.4636	0.3169	0.6296*	0.5562	-0.5863	-0.9080***	-0.0864	0.0124
Proteína	0.8343**	0.8623**	0.9956***	0.9904***	0.7000*	0.9310***	0.9961***	0.9223***	0.2926	-0.6200*	0.2060	0.3756
Grasa	0.9885***	0.9882***	0.9074***	0.9143***	0.8553**	0.9826***	0.8498**	0.9393***	0.5755	-0.4960	0.1557	0.5741
HC	-0.7788**	-0.8122**	-0.9836***	-0.9676***	-0.6170*	-0.8980***	-0.9883***	-0.8829***	-0.2681	0.5714	-0.2369	-0.3670
FDT	0.4079	0.4631	0.6744*	0.6118*	0.0369	0.5747	0.6495*	0.4268	0.3989	0.0423	0.4084	0.1898
FDI	0.7554**	0.7995**	0.8786**	0.8437**	0.4301	0.8560**	0.8405**	0.7284**	0.5531	-0.1906	0.3159	0.4148
FDS	0.2244	0.1782	-0.0188	-0.0220	0.2635	0.1324	-0.0815	0.1522	0.2790	0.0565	-0.3895	0.3239
Ceniza	0.3036	0.3523	0.7192**	0.6947*	0.2415	0.4963	0.8002**	0.5645	-0.2370	-0.5728	0.2104	0.0625
AF	0.8767**	0.8980***	0.9671***	0.9665***	0.7250**	0.9422***	0.9441***	0.9026***	0.3993	-0.5577	0.3065	0.4375
Aw	0.2407	0.3101	0.6163*	0.5586	-0.0784	0.4480	0.6387*	0.3377	0.1524	-0.0347	0.4100	0.0901
L*	-0.0645	-0.1369	-0.4988	-0.4490	0.1810	-0.2874	-0.5545	-0.2184	0.0610	0.0782	-0.4176	0.0175
a*	0.2355	0.1951	-0.4988	-0.2154	0.1203	0.0463	-0.3682	-0.1163	0.7060*	0.4840	-0.0945	0.2058
b*	0.2355	0.3309	0.4577	0.3960	-0.1927	0.4089	0.4061	0.1617	0.5593	0.3802	0.4774	0.0914
Chroma	0.2616	0.3261	0.4627	0.4008	-0.1945	0.4075	0.4145	0.1648	0.5413	0.3673	0.4780	0.0863
Hue	0.4562	0.4620	0.1875	0.1636	0.0721	0.3886	0.0397	0.1041	0.9657***	0.5641	0.2379	0.2965
ΔE	-0.9447***	-0.9650***	-0.9681***	-0.9739***	-0.7236*	-0.9928***	-0.9208**	-0.9670***	-0.8976**	0.8542**	-0.2817	-0.4186

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fólico; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; PT: polifenoles totales

Tabla 54. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades físicas de las harinas

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE
Asp	0.6125*	-0.4853	-0.1863	0.4794	0.4833	0.2375	-0.9721***
Ser	0.5381	-0.3847	-0.0400	0.4716	0.4720	0.3548	-0.9942***
Glu	0.7135**	-0.5821**	-0.1950	0.6118*	0.6155*	0.3069	-0.9422***
Gly	0.3418	-0.1997	0.0031	0.2418	0.2418	0.2531	-0.9848***
His ^A	0.3579	-0.2184	0.0152	0.2686	0.2682	0.2786	-0.9722***
Arg	0.4156	-0.2787	-0.0358	0.3140	0.3148	0.2646	-0.9896***
Thr ^A	0.5550	-0.4206	-0.1181	0.4445	0.4468	0.2741	-0.9853***
Ala	0.5525	-0.3687	0.1005	0.5871*	0.5838*	0.5347	-0.9910***
Pro ^A	0.5930*	-0.4011	0.1517	0.6836*	0.6788*	0.6288*	-0.9924***
Tyr ^B	0.6083*	-0.5974*	-0.6105*	0.2401	0.2547	-0.2735	-0.7240*
Cys ^B	0.9077***	-0.9685***	-0.8450**	0.5900*	0.6088*	-0.3097	-0.2456
Val ^A	0.5012	-0.3584	-0.0799	0.3972	0.3987	0.2780	-0.9940***
Met ^A	-0.0792	0.2325	0.3261	-0.0762	-0.0832	0.3143	-0.7610*
Lys ^A	0.6541*	-0.5399	-0.2760	0.4789	0.4849	0.1614	-0.9484***
Ile ^A	0.4846	-0.3416	-0.0505	0.3946	0.3955	0.3006	-0.9911***
Leu ^A	0.7363**	-0.5677	-0.0072	0.7788*	0.7776**	0.5509	-0.9644***
Phe ^A	0.4393	-0.2876	0.0053	0.3725	0.3721	0.3336	-0.9952***
Puntuación química	0.7210**	-0.6331*	-0.3942	0.5051	0.5139	0.0749	-0.8892**
IEEP	0.7663**	-0.5938*	0.0497	0.8790*	0.8760**	0.6445 *	-0.9503***

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color

Tabla 55. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades químicas de las harinas

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Asp	0.4672	0.9888***	0.9212***	-0.9762***	0.6828*	0.8955***	0.0101	0.6884*	0.9618***
Ser	0.3565	0.9591***	0.9618***	-0.9373***	0.6468*	0.8960***	0.0776	0.5774*	0.9555***
Glu	0.3866	0.9689***	0.8791**	-0.9726***	0.7823**	0.9429***	-0.0234	0.7027*	0.9409***
Gly	0.4320	0.9234***	0.9788***	-0.8786**	0.4540	0.7736**	0.1430	0.4982	0.9313***
His ^A	0.4044	0.9197***	0.9817***	-0.8758**	0.4589	0.7861**	0.1581	0.4868	0.9235***
Arg	0.4325	0.9471***	0.9745***	-0.9081***	0.5119	0.8157**	0.1063	0.5425	0.9455***
Thr ^A	0.4328	0.9770***	0.9479***	-0.9562***	0.6368*	0.8801**	0.0506	0.6311**	0.9614***
Ala	0.1609	0.8915***	0.9428***	-0.8769**	0.7007*	0.9305***	0.1286	0.4682	0.9004***
Pro ^A	0.0395	0.8379**	0.8938***	-0.8321**	0.7461**	0.9449***	0.1097	0.4215	0.8537**
Tyr ^B	0.8314**	0.9221***	0.6739*	-0.9214***	0.5314	0.6668*	-0.1896	0.8968***	0.8391**
Cys ^B	0.5880*	0.5844*	0.1270	-0.6589*	0.7354	0.5310	-0.4868	0.9324***	0.4610
Val ^A	0.4297	0.9671***	0.9627***	-0.9416***	0.6042*	0.8564**	0.0909	0.5972**	0.9589***
Met ^A	0.2422	0.6744*	0.9161***	-0.5928*	0.0899	0.5103	0.3413	0.1140	0.7301**
Lys ^A	0.5305	0.9962***	0.8857***	-0.9918***	0.7056*	0.8887***	-0.0307	0.7537**	0.9570***
Ile ^A	0.4060	0.9591***	0.9692***	-0.9297***	0.5855*	0.8551**	0.0981	0.5705	0.9536***
Leu ^A	0.1058	0.8599**	0.8240**	-0.8745**	0.8530**	0.9664***	0.0210	0.5506	0.8526**
Phe ^A	0.3724	0.9433***	0.9787***	-0.9081***	0.5566	0.8405**	0.1087	0.5250	0.9512***
Puntuación química	0.5936*	0.9933***	0.8154**	-0.9979***	0.7371**	0.8714**	-0.1186	0.8325**	0.9384***
IEEP	-0.0586	0.7422**	0.7091**	-0.7721**	0.8899	0.9381***	0.0127	0.4689	0.7385**

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fólico

Tabla 56. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y contenido de minerales

Variables	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn	Cu
Asp	0.8911***	0.9152***	0.9972***	0.9910***	0.7283**	0.9696***	0.9786***	0.9372***	0.4112
Ser	0.9428***	0.9612***	0.9808***	0.9757***	0.7570**	0.9938***	0.9408***	0.9351***	0.5208
Glu	0.8407**	0.8739**	0.9770***	0.9586***	0.6146*	0.9407***	0.9540***	0.8735**	0.4586
Gly	0.9691***	0.9710***	0.9479***	0.9589***	0.8850***	0.9815***	0.9139***	0.9786***	0.4347
His ^A	0.9679***	0.9719***	0.9464***	0.9563***	0.8710**	0.9849***	0.9119***	0.9726***	0.4570
Arg	0.9611***	0.9701***	0.9679***	0.9777***	0.8545**	0.9898***	0.9372***	0.9732***	0.4495
Thr ^A	0.9235***	0.9432***	0.9920***	0.9894***	0.7648**	0.9857***	0.9652***	0.9479***	0.4500
Ala	0.9275***	0.9483***	0.9252***	0.9112***	0.6683*	0.9706***	0.8612**	0.8585**	0.6700*
Pro ^A	0.8805***	0.9074***	0.8754**	0.8528**	0.5593	0.9285***	0.7995**	0.7716**	0.7402**
Tyr ^B	0.6202**	0.6473*	0.8890***	0.8885***	0.6222*	0.7466**	0.9474***	0.8411**	-0.0928
Cys ^A	0.0558*	0.1210	0.5200	0.4823	-0.0886	0.2776	0.6001*	0.2780	-0.2328
Val ^B	0.9421	0.9559***	0.9853***	0.9851***	0.8017**	0.9908***	0.9543***	0.9632***	0.4557
Met ^A	0.9368***	0.9085***	0.7223**	0.7556**	0.9541***	0.8521**	0.6640**	0.8733**	0.4729
Lys ^A	0.8473**	0.8741**	0.9970***	0.9855***	0.6933*	0.9427***	0.9908***	0.9278***	0.3305
Ile ^A	0.9513***	0.9650***	0.9795***	0.9824***	0.8097**	0.9943***	0.9459***	0.9601***	0.4798
Leu ^A	0.7976**	0.8358**	0.8836*	0.8519**	0.4554	0.8881***	0.8243**	0.7301**	0.6616*
Phe ^A	0.9696***	0.9803***	0.9678***	0.9735***	0.8260**	0.9976***	0.9257***	0.9542***	0.5132
Puntuación química	0.7736**	0.8076**	0.9814***	0.9707***	0.6289*	0.8919***	0.9910***	0.8841***	0.2499
IEEP	0.6829*	0.7269**	0.7690**	0.7261**	0.2799	0.7800**	0.6987*	0.5774*	0.7161**

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica

Tabla 57. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades tecnológicas

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	AE	EE	CE	EES	SYN	Gel móvil	Gel estable
Asp	0.7222**	0.9859***	0.7424*	-0.4327	-0.6599*	0.8998***	-0.8523***	0.9285***	0.6489*	0.9876***	0.5787*	0.1419
Ser	0.8115**	0.9543***	0.6495*	-0.5319	-0.7631**	0.8320**	-0.8065**	0.9027***	0.6282*	0.9867***	0.5811*	0.0621
Glu	0.6674*	0.9732***	0.7365**	-0.3429	-0.6480*	0.9163***	-0.8964***	0.8770**	0.6680*	0.9747***	0.6996*	0.2828
Gly	0.8609**	0.9077***	0.5885*	-0.6542*	-0.7505**	0.7433**	-0.6826*	0.9076***	0.5625	0.9492***	0.3661	-0.1668
His ^A	0.8617**	0.9051***	0.5879*	-0.6689*	-0.7587**	0.7425**	-0.6895*	0.9148***	0.5806*	0.9476***	0.3913	-0.1475
Arg	0.8381**	0.9358***	0.6364*	-0.6161*	-0.7419**	0.7883**	-0.7335**	0.9236***	0.6034*	0.9679***	0.4328	-0.0859
Thr ^A	0.7728**	0.9719***	0.7033*	-0.5056	-0.7070*	0.8634**	-0.8201**	0.9297***	0.6406*	0.9867***	0.5509	0.0738
Ala	0.8329**	0.8916***	0.5414	-0.5324	-0.8384**	0.7626**	-0.7871**	0.8164**	0.6143*	0.9555***	0.6918*	0.1192
Pro ^A	0.7990**	0.8433**	0.4892	-0.4815	-0.8518**	0.7278**	-0.7843**	0.7471**	0.6014*	0.9129***	0.7785**	0.2046
Tyr ^B	0.3670	0.9155***	0.8890***	-0.1459	-0.2230	0.9272***	-0.7811**	0.8957***	0.5566	0.8147**	0.3052	0.1898
Cys ^A	-0.2311	0.6099*	0.8316**	0.5160	0.2067	0.8201**	-0.7512**	0.4722	0.4347	0.4368	0.5566	0.8050**
Val ^B	0.8041**	0.9590***	0.6717*	-0.5447	-0.7265**	0.8341**	-0.7887**	0.9223***	0.6189*	0.9856***	0.5092	0.0109
Met ^A	0.9446***	0.6458*	0.2515	-0.8818***	-0.8004**	0.3910	-0.3411	0.7194**	0.3702	0.7521**	0.0632	-0.5520
Lys ^A	0.6568*	0.9934***	0.7809**	-0.3537	-0.5885*	0.9320***	-0.8710**	0.9295***	0.6391*	0.9762***	0.5710	0.1910
Ile ^A	0.8208**	0.9513***	0.6575*	-0.5732	-0.7454**	0.8188**	-0.7774**	0.9210***	0.6243*	0.9822***	0.5082	-0.0057
Leu ^A	0.6726*	0.8719**	0.5955*	-0.3227	-0.7417**	0.8130**	-0.8656**	0.7489**	0.6325*	0.9070***	0.8551**	0.3786
Phe ^A	0.8542**	0.9346***	0.6195*	-0.6099*	-0.7819**	0.7860**	-0.7495**	0.9037***	0.6063*	0.9757***	0.4907	-0.0522
Puntuación química	0.5540	0.9953***	0.8507**	-0.2411	-0.4888	0.9717***	-0.8999***	0.9156***	0.6503*	0.9497***	0.5833*	0.2859
IEEP	0.5803*	0.7614**	0.4999	-0.2202	-0.7070**	0.7287**	-0.8236**	0.6123*	0.5848*	0.8043**	0.9359***	0.4914

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; AE: actividad de emulsión; EE: estabilidad de emulsión; CE: capacidad de espuma; EES: estabilidad de espuma; SYN: sinéresis

b) Tablas de correlaciones de Pearson de formulaciones

Tabla 58. Correlaciones de Pearson entre propiedades antioxidantes e ingredientes de las formulaciones

Variables	PT	DPPH	ABTS	FRAP	Garbanzo	Arroz	Maíz	APC
PT	-	-01426	0.0596	-0.3453	0.3283	0.3014	0.3658	0.3537
DPPH		-	-0.0238	-0.0340	0.0669	0.0018	-0.0467	-0.0137
ABTS			-	-0.3509	-0.2238	-0.3822	0.3553	-0.1387
FRAP			-0.3509	-	0.2744	0.2384	-0.3289	0.3321

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$. PT: polifenoles totales; APC: aislado de proteína de chícharo

Tabla 59. Correlaciones de Pearson entre parámetros de extrusión y propiedades químicas de las formulaciones

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Humedad Pre-extrusión	0.5563**	-0.7194*	0.2244	0.5929*	-0.3086	-0.5008*	0.1747	-0.7953***	-0.8775***
Densidad de las harinas	-0.5361*	0.7218*	-0.1591	-0.5777**	0.2659	0.4298	-0.2113	0.7676***	0.9238***
Velocidad de alimentación	0.5393*	-0.8508***	-0.0471	0.7403***	-0.4134	-0.5876*	0.1378	-0.8889***	-0.9167***
Velocidad de tornillo	0.3631	0.0417	0.6315**	-0.1109	0.1290	0.0074	0.1856	-0.1496	-0.3135
Tasa de inyección de agua	-0.0389	-0.3386	-0.8198***	0.5215*	-0.5812**	-0.5714*	-0.4357*	-0.3165	0.2505
Temperatura de tornillo	-0.2615	-0.2091	0.2072	0.1912	-0.0906	-0.1826	0.1122	-0.2186	-0.3190
Presión tornillo	0.6251**	-0.6691**	-0.0673	0.5503**	-0.2897	-0.4005	0.0988	-0.6728**	-0.6957**
Temperatura de barril	-0.5393*	0.8508***	0.0471	-0.7403***	0.4134	0.5876**	-0.1378	0.8889***	0.9167***
Sección 1									
Temperatura de barril	0.5393*	-0.8508***	-0.0471	0.7403***	-0.4134	-0.5876**	0.1378	-0.8889***	-0.9167***
Sección 2									
Temperatura de barril	-0.5393*	0.8508***	0.0471	-0.7403***	0.4134	0.5876**	-0.1378	0.8889***	0.9167***
Sección 3									
Temperatura de barril	-0.5393*	0.8508***	0.0471	-0.7403***	0.4134	0.5876**	-0.1378	0.8889***	0.9167***
Sección 4									
Temperatura de barril	0.5042*	-0.1103	0.4393*	0.0054	0.1062	-0.0076	0.2510	-0.2718	-0.4712*
Sección 5									
Humedad Post-extrusión	0.6128**	-0.7956***	-0.2968	0.7415***	-0.4986*	-0.6268**	-0.0377	-0.8135***	-0.6367**
Temperatura de secado	0.5487*	0.5525*	0.3334	-0.5459*	0.3481	0.3705	0.0291	0.3334	0.3404
Velocidad de cuchilla	-0.1872	0.7609***	0.4039	-0.6584**	0.3334	0.3728	-0.0990	0.6256**	0.7372***
SME	0.7509***	-0.7228**	0.0157	0.6699*	-0.4584*	-0.6647**	0.0187	-0.8692***	-0.6826**

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; SME: energía mecánica específica; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico

Tabla 60. Correlaciones de Pearson entre parámetros de extrusión/ingredientes y análisis sensorial/ingredientes de las formulaciones

Variables	Color	Sabor	Dureza	Aceptación global	Garbanzo	Arroz	Maíz	APC
Humedad Pre-extrusión	-0.3234	-0.4593*	-0.6286**	-0.5581**	-0.6490**	-0.8274***	0.8759***	-0.1568
Densidad de las harinas	0.3802	0.3738	0.6367**	0.5829**	0.6128**	0.9137***	-0.8999***	0.2627
Velocidad de alimentación (kg/h)	-0.4271	-0.4447*	-0.7503***	-0.7165**	-0.7634***	-0.8382***	0.9614***	-0.1667
Velocidad de tornillo	-0.0503	-0.0522	0.0385	0.0593	-0.0707	-0.4336*	0.2619	0.0939
Tasa de inyección de agua	-0.1730	-0.2956	-0.3632	-0.4091	-0.3392	0.4465*	-0.0162	0.5053*
Temperatura de tornillo	-0.0944	-0.1202	-0.0372	0.0080	-0.1303	-0.0781	0.1359	-0.1100
Presión tornillo	-0.2829	-0.3780	-0.6624**	-0.6216**	-0.5942**	-0.7504***	0.8012***	-0.1968
Temperatura de barril Sección 1	0.4271	0.4447*	0.7503***	0.7165**	0.7634***	0.8382***	-0.9614***	0.1667
Temperatura de barril Sección 2	-0.4271	-0.4447*	-0.7503***	-0.7165**	-0.7634***	-0.8382***	0.9614***	-0.1667
Temperatura de barril Sección 3	0.4271	0.4447*	0.7503***	0.7165**	0.7634***	0.8382***	-0.9614***	0.1667
Temperatura de barril Sección 4	0.4271	0.4447*	0.7503***	0.7165**	0.7634***	0.8382***	-0.9614***	0.1667
Temperatura de barril Sección 5	-0.1543	0.0120	-0.1130	-0.1441	-0.2494	-0.6379**	0.4949*	-0.0172
Humedad Post-extrusión	-0.3436	-0.4956*	-0.7799***	-0.7556***	-0.7441***	-0.6001**	0.8186**	0.0098
Temperatura de secado	0.1383	0.3140	0.3293	0.2197	0.2034	-0.0831	-0.1218	0.4011
Velocidad de cuchilla	0.4242	0.2432	0.6701**	0.6475**	0.5031*	0.6588**	-0.7055**	0.4452*
SME	-0.3089	-0.5232*	-0.6930**	-0.6770**	-0.8137***	-0.6508**	0.8819***	0.2033
Garbanzo	0.3490	0.4880*	0.7522***	0.8065***	-			
Arroz	0.3096	0.2351	0.5065*	0.4370*	0.3713	-		
Maíz	-0.3997	-0.4514*	-0.7772***	-0.7729***	-0.8656***	-0.7848***	-	
APC	0.0242	-0.1130	-0.0090	-0.1420	-0.3027	0.4373*	-0.0641	-

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; SME: energía mecánica específica; APC: aislado de proteína de chícharo

Tabla 61. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y parámetros de extrusión de las formulaciones

Variables	Humedad Pre-extrusión	Densidad de las harinas	Velocidad de alimentación	Velocidad de tornillo	Tasa de inyección de agua	Temperatura de tornillo	Presión tornillo	Temperatura de barril Sección 1	Temperatura de barril Sección 2	Temperatura de barril Sección 3	Temperatura de barril Sección 4	Temperatura de barril Sección 5	Humedad Post-extrusión	Temperatura de secado	Velocidad de cuchilla	SME
Asp	-0.7137**	0.5886**	-0.7093**	0.1150	-0.3310	-0.0456	-0.7550***	0.7093**	-0.7093**	0.7093**	0.7093**	0.0935	-0.8682***	0.5681**	0.5016*	-0.7997***
Ser	-0.5638**	0.4343*	-0.5864**	0.2881	-0.4446*	0.1404	-0.7529***	0.5864**	-0.5864**	0.5864**	0.5864**	0.2209	-0.8829***	0.4928**	0.4540**	-0.7414***
Glu	-0.5150*	0.3637	-0.5076*	0.2966	-0.5214*	0.0190	-0.6194**	0.5076*	-0.5076*	0.5076*	0.5076*	0.3491	-0.7824***	0.6751**	0.3920	-0.6393**
Gly	-0.6447**	0.5775**	-0.6993**	0.2499	-0.3137	0.1301	-0.8418***	0.6993**	-0.6993**	0.6993**	0.6993**	0.1122	-0.9165***	0.4926*	0.6408**	-0.7317**
His ^A	-0.6126**	0.4623*	-0.6105**	0.1704	-0.4524*	0.0344	-0.6979**	0.6105**	-0.6105**	0.6105**	0.6105**	0.1600	-0.8517***	0.4833**	0.3830	-0.7922***
Arg	-0.7744***	0.6753**	-0.7938***	0.0225	-0.3287	-0.0467	-0.7926***	0.7938***	-0.7938***	0.7938***	0.7938***	-0.0365	-0.9097***	0.4482*	0.5520**	-0.8749***
Thr ^A	-0.6549**	0.5292*	-0.6378**	0.1953	-0.2545	0.1142	-0.8161***	0.6378**	-0.6378**	0.6378**	0.6378**	0.9190***	-0.2056	0.4793*	0.4767*	-0.7604***
Ala	0.3013	-0.5135*	0.4097	0.7073**	-0.5478	0.4297	-0.0880	-0.4097	0.4097	-0.4097	-0.4097	0.9190***	-0.2056	0.4793*	-0.2705	0.0846
Pro ^A	0.5711**	-0.7238**	0.6609**	0.7342**	-0.4285	0.3458	0.2270	-0.6609**	0.6609**	-0.6609**	-0.6609**	0.9628***	0.1503	0.4801*	-0.3683	0.4607*
Tyr ^B	0.7838***	-0.8617***	0.8479***	0.6030**	-0.1869	0.2473	0.5300*	-0.8479***	0.8479***	-0.8479***	-0.8479***	0.7830***	0.5170*	0.2531	-0.5046*	0.7459***
Cys ^B	-0.4016	0.2248	-0.2695	0.1043	-0.4701*	0.1683	-0.4921*	0.2695	-0.2695	0.2695	0.2695	0.3560	-0.6206**	0.3617	0.0925	-0.5210*
Val ^A	-0.5877	0.4831*	-0.6126	0.3080	-0.3835	0.1778	-0.8141***	0.6126**	-0.6126**	0.6126**	0.6126**	0.2249	-0.9080***	0.5187*	0.5442*	-0.7115**
Met ^A	-0.1317	0.0327	-0.1243	0.4552*	-0.0095	0.4684*	-0.5694**	0.1243	-0.1243	0.1243	0.1243	0.2485	-0.5190*	0.1012	0.1490	-0.3234
Lys ^A	-0.7429***	0.6779**	-0.7979***	0.1010	-0.3076	-0.0523	-0.7926***	0.7979***	-0.7979***	0.7979***	0.7979***	-0.0039	-0.8928***	0.5312*	0.6541**	-0.7968***
Ile ^A	-0.6989**	0.5771**	-0.6949**	0.1263	-0.2880	-0.0486	-0.7459***	0.6949**	-0.6949	0.6949**	0.6949**	0.0907	-0.8447***	0.5727**	0.4989*	-0.7737***
Leu ^A	0.1215	-0.3474	0.2463	0.5948**	-0.5539**	0.2209	-0.1206	-0.2463	0.2463	-0.2463	-0.2463	0.8687***	-0.2626	0.6744**	-0.1814	-0.0238
Phe ^A	-0.6263**	0.5136*	-0.6446**	0.2299	-0.3153	0.0548	-0.7643***	0.6446**	-0.6446**	0.6446**	0.6446**	0.1478	-0.8576***	0.5422**	0.5113*	-0.7328**
Puntuación química	-0.8800***	0.8230***	-0.8532***	-0.1746	0.1343	-0.0133	-0.8960***	0.8532***	-0.8532***	0.8532***	0.8532***	-0.3185	-0.8549***	0.2103	0.5710**	-0.8749***
IEEP	0.8653***	-0.9372***	0.9880***	0.3346	-0.0350	0.3172	0.6703**	-0.9880***	0.9880***	-0.9880***	-0.9880***	0.5619**	0.6969**	-0.2041	-0.7745***	0.7845***

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; SME: energía mecánica específica

Tabla 62. Correlaciones de Pearson entre composición de aminoácidos y propiedades físicas de las formulaciones

Variables	Aw	L*	a*	b*	Chroma	Hue	ΔE	ER	EL
Asp	-0.7248***	-0.5354*	0.6812**	-0.0658	-0.0422	-0.7679***	0.5354*	-0.7020**	0.0900
Ser	-0.6195**	-0.3900	0.5549**	-0.1568	-0.1355	-0.6458**	0.4056	-0.5257*	0.1845
Glu	-0.5348*	-0.4794*	0.5970**	0.0551	0.0743	-0.6297**	0.4170	-0.5188*	0.0697
Gly	-0.7328**	-0.3842	0.6449**	-0.1316	-0.1080	-0.7436***	0.3960	-0.5633**	0.2849
His ^A	-0.6282**	-0.4922*	0.5860**	-0.1026	-0.0814	-0.6646**	0.4933*	-0.6027**	0.0782
Arg	-0.8053***	-0.5807**	0.7349***	-0.0428	-0.0182	-0.8228***	0.5943**	-0.7376***	0.1069
Thr ^A	-0.6579**	-0.3346	0.5441*	-0.2285	-0.2065	-0.6653**	0.3758	-0.5986**	0.2370
Ala	0.3663	0.2624	-0.2425	-0.1029	-0.1072	0.2572	-0.3564	0.2418	0.1137
Pro ^A	0.6205**	0.3773	-0.4137	0.0085	-0.0032	0.4844*	-0.5200*	0.4793*	0.0442
Tyr ^B	0.8180***	0.5068*	-0.6145**	0.0094	-0.0089	0.6956**	-0.5871**	0.6710**	-0.0227
Cys ^B	-0.2670	-0.2531	0.3356	0.1786	0.1864	-0.3221	0.0965	-0.3941	0.0488
Val ^A	-0.6494**	-0.3479	0.5828**	-0.1359	-0.1141	-0.6732**	0.3392	-0.5087*	0.2650
Met ^A	-0.1593	0.3105	-0.0896	-0.7161**	-0.7057**	-0.0957	-0.1678	-0.0003	0.4515*
Lys ^A	-0.8213***	-0.5658**	0.7688***	-0.0153	0.0101	-0.8487***	0.5755**	-0.6966**	0.1464
Ile ^A	-0.7116**	-0.5035*	0.6590**	-0.0976	-0.0741	-0.7534***	0.5299*	-0.6748**	0.1216
Leu ^A	0.2255	0.0173	-0.0322	0.0394	0.0393	0.0690	-0.1665	0.0369	0.0129
Phe ^A	-0.6703**	-0.4079	0.5890**	-0.1796	-0.1568	-0.6922**	0.4355*	-0.5913**	0.1960
Puntuación química	-0.8369***	-0.3549	0.5996**	-0.3398	-0.3151	-0.7678***	0.4400*	-0.7064**	0.3124
IEEP	0.9936***	0.6887**	-0.8688***	-0.0710	-0.0972	0.9493***	-0.7685***	0.7992***	-0.0452

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; Aw: actividad de agua; L*: blancura/oscuridad; a*: rojez/verdor; b*: amarillez/azul; Chroma: valores de saturación; Hue: tono; ΔE: diferencia total de color; ER: expansión radial; EL: expansión longitudinal

Tabla 63. Correlaciones de Pearson entre contenido de aminoácidos y propiedades tecnológicas/ingredientes de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA	Garbanzo	Arroz	Maíz	APC
Asp	-0.7033**	0.7011**	-0.5857**	0.6066**	0.6327**	0.8031***	0.4356*	-0.7810***	0.0633
Ser	-0.5808**	0.5957**	-0.4538*	0.4414*	0.4943*	0.8096***	0.3050	-0.7137**	-0.0500
Glu	-0.5308*	0.5068*	-0.3891	0.3916	0.4953*	0.6810**	0.2084	-0.5791**	0.0111
Gly	-0.6531**	0.6945**	-0.5681**	0.5458*	0.4643*	0.7571***	0.5044*	-0.7894***	0.1679
His ^A	-0.6339**	0.6237*	-0.4895*	0.5027*	0.5957**	0.8421***	0.2861	-0.7216**	-0.1452
Arg	-0.7873***	0.7978***	-0.6850**	0.6650**	0.6670**	0.8659***	0.5171*	-0.8611***	-0.0203
Thr ^A	-0.5949**	0.6229**	-0.4994*	0.5315*	0.5321*	0.7345***	0.4484*	-0.7426***	0.1160
Ala	0.3909	-0.4155	0.5129*	-0.4265	-0.1879	-0.0568	-0.4900*	0.2897	-0.0727
Pro ^A	0.6398**	-0.6797**	0.7204**	-0.6229**	-0.4228	-0.3916	-0.6585	0.5984**	0.0893
Tyr ^B	0.8312***	-0.8552***	0.8298***	-0.7712***	-0.5791**	-0.6220**	-0.7701***	0.8136***	0.1099
Cys ^B	-0.2661	0.2461	-0.1583	0.2193	0.3025	0.2354	0.2059	-0.2612	-0.1089
Val ^A	-0.5756**	0.6064**	-0.4614*	0.4707*	0.4269	0.7235**	0.4097	-0.7151**	0.1091
Met ^A	-0.0786	0.1335	0.0355	0.1476	0.0570	0.4333*	0.0928	-0.3527	0.0835
Lys ^A	-0.7755***	0.7920***	-0.6874**	0.6385**	0.6027**	0.8295***	0.5378*	-0.8542***	0.1258
Ile ^A	-0.6780**	0.6840**	-0.5802**	0.5835**	0.6232**	0.7908***	0.4301	-0.7718***	0.1017
Leu ^A	0.2032	-0.2643	0.3503	-0.2247	0.0296	0.0236	-0.3872	0.1772	0.0162
Phe ^A	-0.6229**	0.6380**	-0.5236*	0.5267*	0.5395*	0.7882***	0.3912	-0.7502***	0.0972
Puntuación química	-0.7795***	0.8243***	-0.7185**	0.8204***	0.6549**	0.7282**	0.7867***	-0.9144***	0.2291
IEEP	0.9501***	-0.9845***	0.9553***	-0.8203***	-0.6495**	-0.8072**	-0.7877***	0.9657***	-0.1521

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente; APC: aislado de proteína de chícharo

Tabla 64. Correlaciones de Pearson entre contenido de minerales/sensorial y propiedades tecnológicas de las formulaciones

Variables	IAA	ISS	IAAC	CH	DA
Ca	-0.4370*	0.4549*	-0.3523	0.1566	0.1598
Fe	-0.7361***	0.8138***	-0.7538***	0.6185**	0.4166
K	-0.7702***	0.7995***	-0.6964**	0.5134*	0.5088*
Mg	-0.8062***	0.8529***	-0.7477***	0.5626**	0.4954*
Mn	-0.8750***	0.9425***	-0.8745***	0.7169**	0.5754**
Na	-0.0976	0.0773	-0.1024	-0.1080	-0.1242
P	-0.8281***	0.8614***	-0.7680***	0.6176**	0.5163*
Zn	-0.8458***	0.9001***	-0.8180***	0.7109**	0.5096*
Cu	-0.7847***	-0.7847***	-0.6809**	0.7525***	0.6891**
Color	-0.3834	0.4207	-0.3122	0.3936	0.2301
Sabor	-0.4968*	0.4251	-0.3183	0.3436	0.4353*
Dureza	-0.7405***	0.7667***	-0.6461**	0.6048**	0.4907*
Aceptación global	-0.6973**	0.7523***	-0.6368**	0.5368*	0.4110

Los valores en negrita representan correlación significativa. $*p \leq 0.05$; $**p \leq 0.01$; $***p \leq 0.001$; IEPP: índice estimado de eficiencia proteica; IAA: índice de absorción de agua; ISS: índice de sólidos solubles; IAAC: índice de absorción de aceite; CH: capacidad de hinchamiento; DA: densidad aparente

Tabla 65. Correlaciones de Pearson entre contenido de aminoácidos y propiedades químicas de las formulaciones

Variables	Humedad	Proteína	Grasa	HC	FDT	FDI	FDS	Ceniza	AF
Asp	-0.3096	0.9038***	0.3060	-0.8612***	0.5709**	0.7315**	0.0169	0.8750***	0.6872**
Ser	-0.3300	0.8441***	0.4269	-0.8353***	0.5887**	0.7091**	0.1505	0.8231***	0.5383*
Glu	-0.1440	0.8202***	0.4297	-0.8249***	0.6005**	0.7207**	0.0732	0.7517***	0.4971*
Gly	-0.3271	0.8939***	0.3798	-0.8343***	0.5369*	0.6762**	0.0034	0.8260***	0.7081**
His ^A	-0.3726	0.8423***	0.3871	-0.8513***	0.6274**	0.7697****	0.1084	0.8579***	0.5352*
Arg	-0.4542*	0.9275***	0.3129	-0.8875***	0.5984**	0.7672***	0.0536	0.9380***	0.7191**
Thr ^A	-0.3260	0.8195***	0.2671	-0.7536***	0.4602*	0.5900**	0.1173	0.7850***	0.6408**
Ala	0.3239	0.0254	0.3230	-0.0994	0.1476	0.0901	0.3095	-0.0824	-0.3295
Pro ^A	0.6256**	-0.2375	0.2610	0.1561	-0.0311	-0.1368	0.1133	-0.4084	-0.4853*
Tyr ^B	0.7639***	-0.5401*	0.1261	0.4783*	-0.3257	-0.4708*	0.1341	-0.6961**	-0.6760**
Cys ^B	-0.2793	0.4200	0.1065	-0.4364*	0.3957	0.4521*	0.1724	0.4234	0.2253
Val ^A	-0.3037	0.8515***	0.3673	-0.8119***	0.5482*	0.6606**	0.0448	0.7877***	0.6090**
Met ^A	-0.1731	0.3108	0.1415	-0.2717	0.1475	0.2132	-0.0618	0.2749	0.1968
Lys ^A	-0.3479	0.9591***	0.3580	-0.9032***	0.5846**	0.7348***	0.0214	0.9157***	0.7703***
Ile ^A	-0.2709	0.8883	0.3022	-0.8302***	0.5118*	0.6567**	0.0839	0.8502***	0.6801**
Leu ^A	0.3419	0.1912	0.3234	-0.2565	0.2577	0.2445	0.1536	0.0611	-0.1261
Phe ^A	-0.2658	0.8670***	0.3741	-0.8245***	0.5362*	0.6861**	0.0317	0.8197***	0.6550**
Puntuación química	-0.5600**	0.7861***	-0.0498	-0.6551**	0.3394	0.4941	-0.1340	0.8045***	0.8515***
IEEP	0.4981*	-0.8764***	-0.1399	0.7771***	-0.4420*	-0.6116**	0.1090	-0.9029***	-0.8929***

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; HC: carbohidratos; FDT: fibra dietética total; FDI: fibra dietética insoluble; FDS: fibra dietética soluble; AF: ácido fítico

Tabla 66. Correlaciones de Pearson entre contenido de aminoácidos y sensorial/propiedades antioxidantes de las formulaciones

Variables	Color	Sabor	Dureza	Aceptación global	PT	DPPH	ABTS	FRAP
Asp	0.3209	0.5574**	0.7699***	0.7304**	0.1665	0.1928	-0.1432	0.1627
Ser	0.2495	0.5281*	0.7077**	0.6837**	0.0882	0.2542	-0.1537	0.2369
Glu	0.2883	0.5609**	0.6953**	0.6188**	0.1786	0.2225	-0.1041	0.0840
Gly	0.3064	0.4772*	0.7563***	0.7203**	0.1366	0.2343	-0.2679	0.2815
His^A	0.2988	0.5976**	0.7516***	0.7068**	0.1602	0.2284	-0.1122	0.1839
Arg	0.3599	0.5614**	0.8100***	0.7777***	0.2743	0.1684	-0.2181	0.1628
Thr^A	0.1904	0.4216	0.6377**	0.6324**	0.0507	0.2104	-0.1792	0.2042
Ala	-0.1998	0.0773	-0.0733	-0.0702	-0.2136	0.2806	0.2373	-0.1749
Pro^A	-0.2411	-0.0574	-0.2583	-0.3018	-0.3405	0.2623	0.3117	-0.1698
Tyr^B	-0.4075	-0.4228	-0.6021**	-0.5628**	-0.4821*	0.0868	0.2595	-0.2101
Cys^B	0.2275	0.4653*	0.4488*	0.3596	0.4603*	0.2336	0.0788	-0.3750
Val^A	0.3060	0.5283*	0.7285**	0.6749**	0.1102	0.2542	-0.1724	0.2580
Met^A	-0.0489	0.1282	0.2084	0.2504	-0.4265	0.1396	-0.1195	0.5461
Lys^A	0.3611	0.5425*	0.8130***	0.7633***	0.2203	0.1826	-0.2483	0.2491
Ile^A	0.2484	0.4683*	0.6901**	0.6702**	0.0924	0.1631	-0.1785	0.1808
Leu^A	-0.0424	0.2464	0.1478	0.0504	-0.1028	0.2815	0.1626	-0.1700
Phe^A	0.2265	0.4842**	0.7056***	0.6845**	0.0314	0.2407	-0.1716	0.2578
Puntuación química	0.3059	0.4557*	0.6853**	0.6117*	0.0724	0.0548	-0.3418	0.3649
IEEP	-0.4178	-0.4244	-0.7460	0.6117***	-0.3329	0.0133	0.3037	-0.2893

Los valores en negrita representan correlación significativa. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^Aaminoácidos esenciales; ^Baminoácidos esenciales en determinadas circunstancias. Asp: ácido aspártico; Ser: Serina; Glu: ácido glutámico; Gly: glicina; His: histidina; Tau: taurina; Arg: arginina; Thr: Treonina; Ala: alanina; Pro: prolina; Tyr: tirosina; Cys: cisteína; Val: valina; Met: metionina; Lys: lisina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Phe: fenilalanina; IEEP: índice estimado de eficiencia proteica; PT: polifenoles totales