

UNIVERSIDAD PRIVADA JUAN BAUTISTA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO DE LA EXTRUSIÓN
TERMOPLÁSTICA PARA OBTENER SNACKS EXPANDIDOS DE HARINA
DE TARWI (LUPINUS MUTABILIS) Y PECANA (CARYA ILLINOINENSIS)**

TESIS

PRESENTADA POR BACHILLER

GONZALES PÉREZ SANDRA SOFÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

ICA – PERÚ

2024

ASESOR

COMETTANT RABANAL RAUL

ORCID: 0000-0001-5485-1271

TESISTA

GONZALES PÉREZ SANDRA SOFÍA

ORCID: 0000-0002-9983-4384

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Productos Agroindustriales y Vitivinícolas

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por protegerme y darme la fuerza para seguir adelante en todo mi proceso educativo.

Agradezco al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados - PROCIENCIA que mediante el concurso de “Proyectos de investigación aplicada” – E041 – 2022 – 02 me otorgo el financiamiento bajo el contrato N°PE501079609 – 2022, el cual me permitió realizar este trabajo de investigación de forma exitosa.

A mi familia por su amor, sacrificio y motivación diría en todos estos 5 años de formación universitaria y de vida.

A la Universidad Privada San Juan Bautista principalmente a la escuela profesional de ingeniería agroindustria de la filial de Ica por compartir sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

A mi asesor Dr. Raul Comettant Rabanal, por brindarme sus conocimientos, tiempo y apoyo durante la ejecución del proyecto. Asimismo, al Dr. Davy William Hidalgo Chávez y al Dr. Carlos Wanderlei Piler Carvalho por su contribución en la parte de análisis de datos.

DEDICATORIA

A mi abuela Mary Pérez Gonzales que mientras estuvo en vida siempre me motivo a ser mejor cada día, a mis padres por el apoyo y formación en el transcurso de mi vida hasta el día de hoy y en todo mi proceso educativo y a mis docentes.

RESUMEN

Con el propósito de obtener extruidos expandidos con mayor contenido proteico y en bioactivos, se incorporó tarwi desamargado integral y nuez de pecana molida. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la adición de harina de harina de tarwi y pecana, así como evaluar la influencia de las variables de proceso tales como humedad (13, 15 y 17%) y velocidad de giro de tornillo (324, 360 y 396 rpm) para producir extruidos nutritivos y saludables. Se determinaron las características de expansión, hidratación y texturales de los prototipos enriquecidos con tarwi y pecana. El proceso de extrusión se llevó a cabo en un sistema de cocción de doble tornillo corrotante con control en dos zonas de calentamiento (primera zona = 100 °C y segunda zona = 150 °C). El índice de expansión seccional (IES) en los 12 prototipos obtenidos oscilo entre 10.99 a 18.58, siendo el tratamiento T5 aquel con mayor IES de 18.58 y menor densidad aparente (DA) entre todas las muestras ($p < 0.05$). Los índices de absorción (IAA) y solubilidad (ISA) del T5 fue de 4.64 a 5.27 en IAA y de 12.99 a 21.06 en ISA, siendo estos valores significativamente menores al control ($p < 0.05$), e indicando una menor fragmentación del almidón y posible menor digestibilidad del almidón. La fuerza de perforación (F) del análisis de textura oscilo de 0.46 a 3.34 siendo el T5 estadísticamente semejante al control ($p < 0.05$). Conclusión los extruidos obtenidos tuvieron buena expansión lo cual permite su viabilidad como prototipos comerciales, nutritivos y saludables.

Palabras clave: Extruidos expandidos, humedad, velocidad de giro de tornillo, Tarwi, pecana, IES, DA, ISA, IAA y textura.

ABSTRACT

In order to obtain expanded extrudates with a higher protein and bioactive content, whole unbittered tarwi and ground pecan nuts were incorporated. The objective of this work was to study the effect of the addition of tarwi and pecan flour, as well as to evaluate the influence of process variables such as moisture (13, 15 and 17%) and screw speed (324, 360 and 396 rpm) to produce nutritious and healthy extrudates. The expansion, hydration and textural characteristics of the prototypes enriched with tarwi and pecan were determined. The extrusion process was carried out in a twin-screw co-rotating cooking system with control in two heating zones (first zone = 100 °C and second zone = 150 °C). The sectional expansion index (SEI) in the 12 prototypes obtained ranged from 10.99 to 18.58, with the T5 treatment having the highest SEI of 18.58 and the lowest bulk density (DB) among all samples ($p < 0.05$). The water absorption (WAI) and solubility (WSI) indexes of T5 were 4.64 to 5.27 in IAA and 12.99 to 21.06 in WSI, being these values significantly lower than the control ($p < 0.05$) and indicating a lower starch fragmentation and possible lower starch digestibility. The perforation force (F) of the texture analysis ranged from 0.46 to 3.34, with T5 being statistically similar to the control ($p < 0.05$). Conclusion The extrudates obtained had good expansion, which allows their viability as commercial, nutritious and healthy prototypes.

Keywords: Expanded extrudates, moisture, screw speed, Tarwi, pecan, IES, DA, ISA, IAA and texture.

INTRODUCCIÓN

Los cereales listos para el consumo (RTE), son bocadillos de fácil preparación, los cuales están ganando una creciente aceptación entre los consumidores tanto en niños como jóvenes y adultos, ya que, estos alimentos son atractivos a la vista, económicos y están diseñados principalmente para saciar el hambre de una manera rápida y sencilla (Brennan et al., 2013; Thienhirun & Chung, 2018). Para la fabricación de estos alimentos se han empleado distintas tecnologías como alimentos extruidos, de panadería, fermentados o congelados (Temgire et al., 2021). Entre los cereales típicamente usados son el maíz, trigo y arroz para elaborar este tipo de alimentos. Sin embargo, estos no aseguran la calidad nutricional necesaria para volverlo un producto nutritivo y funcional (Collantes et al., 2022b; Rhee et al., 2004), puesto que aseguran una fuente importante de carbohidratos, pero en el caso de nutrientes como proteínas, lípidos, fibras, minerales, vitaminas y fitoquímicos el aporte es muy limitado (Brennan et al., 2013).

El proceso de extrusión, es una tecnología la cual engloba una serie de operaciones unitarias como mezcla, calentamiento y cizallamiento que en conjunto permiten obtener un producto novedoso de baja humedad, permitiendo así que estos productos adopten características estructurales porosas de baja densidad con una crocancia típica y con un tiempo de vida útil extendido (Navale et al., 2015; Shah et al., 2022). Entre los granos usados en extrusión se encuentran los cereales tradicionales que desde sus inicios han dominado el mercado de alimentos extruidos y estos se emplean en su estado refinado (sin germen y pericarpio) de preferencia. En los últimos años la demanda de incorporar ingredientes nutritivos y funcionales ha conllevado a añadir diversas materias primas en este proceso tales como, cereales no convencionales (pigmentados), pseudocereales, tubérculos, semillas (oleaginosas), leguminosas y con productos (Berrios, 2010; Offiah et al., 2019). Sin embargo, estas adiciones

generan cambios drásticos en la expansión de los extruidos, no obstante, modulando los parámetros de proceso de extrusión se pueden desarrollar snacks con buena expansión y con mejores propiedades nutritivas y funcionales (Abdullahi et al., 2021; Paraman et al., 2015).

Entre aquellos ingredientes no convencionales se encuentran las leguminosas, las cuales poseen mayor contenido proteico que los cereales y se destacan por contener importantes cantidades de fibras y minerales. Entre ellas el tarwi (*Lupinus mutabilis*) o también conocido como lupinus Andino es un grano subutilizado, que puede ser una alternativa importante en la nutrición, dado a su gran contenido de proteína (~50%), tornándolo así como una fuente de proteína vegetal (plant-based), además contiene significantes cantidades de grasa (lípidos) alrededor de ~20%, convirtiendo así a esta materia prima en un muy buen sustituto de la soya, asimismo es una buena fuente de fibra (7%) (Rodríguez-Ortega et al., 2023). Además, el lupinus contiene compuestos bioactivos como oligosacáridos, compuestos fenólicos y alcaloides, estas biomoléculas se encargan de proteger y prevenir enfermedades como el cáncer, la diabetes, las enfermedades neurodegenerativas y las cardiovasculares (Ruiz-López et al., 2019). Por lo tanto, debido a su gran valor nutricional, el tarwi es considerado como un co-ingrediente óptimo para ser empleado dentro del proceso de extrusión termoplástica para la elaboración de snack expandido enriquecido.

Las nueces son materias primas ricas principalmente en lípidos que contienen ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFAS), contienen cantidades importantes de proteína de alto valor biológico y además so una valiosa fuente fibras, fitoquímicos de naturaleza fenólica, minerales y vitaminas (Öz et al., 2022). Entre las nueces, la pecana (*Carya illinoensis*) son ricas en ácidos grasos monoinsaturados y polisaturados, además de ser una fuente importante de compuestos fenólicos como flavonoides (epigallocatequina-3-

galato), que contribuye a combatir las enfermedades cardiovasculares (Atanasov et al., 2018; McKay et al., 2018). A pesar de ser una materia prima con grandes beneficios nutricionales, estas por si solas no son las óptimas para ser empleados como co-ingredientes en el proceso de extrusión, dado a su alto contenido de lípidos (~70%). Este componente compromete proporciona durante el proceso de extrusión un efecto lubricante, esto reduce la fricción entre el material y el tornillo y evita la despolimerización del almidón, reduciendo así el fenómeno de expansión de los extruidos (Collantes et al., 2022b).

Escasos estudios previos como los realizados por Fernández Mejía and Guivar Delgado (2020); Pérez-Ramos et al. (2017) han usado tarwi o lupinus para enriquecer extruidos a base de arveja con kiwicha y quinua, camote y almidón de maíz, respectivamente. Por otro lado, limitados esfuerzos realizados por Allai et al. (2023); Okafor and Ugwu (2014); Prinyawiwatkul et al. (1995) han incluido nueces como coco, maní y castaña de indias para enriquecer extruidos. Por lo tanto, el presente trabajo pretende desarrollar extruidos enriquecidos con tarwi integral y nuez de pecana y al mismo tiempo estudiar el efecto de la humedad de alimentación y la velocidad de tornillo durante el proceso de extrusión.

INDICE

CARATULA.....	I
ASESOR Y TESISISTA	II
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	VIII
INDICE	XI
INFORME ANTIPLAGIO.....	XIV
LISTA DE GRÁFICOS	XVI
LISTA DE IMÁGENES	XVII
LISTA DE ANEXOS.....	XVIII
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2

1.2.1 PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6 OBJETIVOS	6
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.7 PROPÓSITO	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	8
2.2. BASES TEÓRICAS	13
2.3 MARCO CONCEPTUAL	18
2.4 HIPÓTESIS.....	27
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	27
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	27
2.5 VARIABLES	28
2.6 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE TERMINOS	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO	32
3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	32
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.3 TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	34
3.4 DISEÑO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	39
3.6 ASPECTOS ÉTICOS	41
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
4.1 RESULTADOS.....	42
4.2 DISCUSIONES.....	45
4.3 MODELOS DE REGRESIÓN DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA GENERADOS MEDIANTE EL DISEÑO D-ÓPTIMO.....	58
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1 CONCLUSIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60
ANEXOS.....	69

INFORME ANTIPLAGIO

TESIS_GONZALES PEREZ SANDRA SOFIA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upsjb.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%



INFORME DE VERIFICACIÓN DE SOFTWARE ANTIPLAGIO

FECHA: 15-09-2024

NOMBRE DEL AUTOR (A) / ASESOR (A):

Sandra Sofía Gonzales Pérez / Raúl Comettant Rabanal

TIPO DE PROINVESTIGACIÓN:

- PROYECTO ()
- TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ()
- TESIS (X)
- TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ()
- ARTICULO ()
- OTROS ()

INFORMO SER PROPIETARIO (A) DE LA INVESTIGACIÓN VERIFICADA POR EL SOFTWARE ANTIPLAGIO TURNITIN, EL MISMO TIENE EL SIGUIENTE TÍTULO: ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO DE LA EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA PARA OBTENER SNACKS EXPANDIDOS DE HARINA DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y PECANA (*Carya illinoensis*)

CULMINADA LA VERIFICACIÓN SE OBTUVO EL SIGUIENTE PORCENTAJE: 13 %

Conformidad Autor:

Nombre: Sandra Sofía Gonzales Pérez

DNI: 77658996

Huella:

Conformidad Asesor:

Nombre: Raúl Comettant Rabanal

DNI: 43176798

LISTA DE GRÁFICOS

Tabla 1. Composición proximal de los grits de maíz.	13
Tabla 2. Composición química (g/100 g de materia seca) de semillas amargas de L. mutabilis, tres accesiones de L. albus y una de L. angustifolius.....	15
Tabla 3. Contenido de tocoferol (mg/kg) de semillas amargas de 33 L. mutabilis, tres accesiones de L. albus y una de L. angustifolius.	16
Tabla 4. Composición proximal de cinco cultivos de nuez de pecana.	18
Tabla 5. Definición de la variable independiente.	29
Tabla 6. Definición de la variable dependiente.	29
Tabla 7. Variable independiente.	30
Tabla 8. Variable dependiente.....	31
Tabla 9. Esquema de análisis estadístico D-óptimal.....	40
Tabla 10. Propiedades de expansión de los extruidos enriquecidos con harina integral de tarwi y nuez de pecana molida.	44
Tabla 11. Índice de solubilidad (IAA) y absorción (ISA) de los extruidos.	46
Tabla 12. Resultados de análisis de textura.	49
Tabla 13. Modelos de regresión para la predicción para las propiedades de expansión, hidratación y textura de los extruidos enriquecidos.....	51

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1. Diseño esquemático de una extrusora de usillo simple.	19
Figura 2. Tipo de tolvas de extrusora.	20
Figura 3. Extrusora de doble tornillo corrotativo.	22
Figura 4. Diagrama de bloques de proceso de extrusión.	36
Figura 5. Captura de imágenes de los extruidos expandidos. (a) control a base de 100% grit y (b-ñ) extruidos enriquecidos con harina integral de tarwi (HIT) y pecana molida (NPM).	57

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Obtención de materias primas.	69
Anexo 2. Acondicionamiento de las materias primas.	69
Anexo 3. Proceso de extrusión.	70
Anexo 4. Análisis fisicoquímicos.....	70
Anexo 5. Modelos de regresión para las variables de expansión.	71
Anexo 6. Matriz de consistencia.....	75

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de cereales emplea generalmente niveles de agua por encima del 40% para la generación de productos a base de granos, pero en la actualidad existen tecnologías multivariadas, sofisticadas y amigables con el medio ambiente como la extrusión termoplástica, que solo usa alrededor de 15% de agua en comparación a otras tecnologías para generar una amplia gama de snacks expandidos altamente calóricos y de rápido consumo (Bouvier & Campanella, 2014; Collantes et al., 2022b) Además, pueden generar trastornos metabólicos (síndrome metabólico) que están asociados al consumo de productos a base de cereales refinados que contienen primordialmente altos niveles de almidón, ya que estos son desprovistos de sus fracciones externas e internas tales como el afrecho y el germen, los cuales aportan nutrientes y al mismo tiempo modulan la digestibilidad del almidón y su consecuente incremento de glucosa en sangre (Gulati et al., 2020).

Estos productos generalmente se basan en ingredientes ricos en almidón (por ejemplo, sémola de maíz y arroz) y se consideran poco saludables porque a menudo presentan una alta densidad de energía, azúcar y lípidos (Martin et al., 2022). Por lo tanto, es complicado incorporar nuevos ingredientes al proceso de extrusión ya que los ingredientes usados tradicionalmente favorecen la expansión debido al alto contenido de fibra, proteína y lípidos que limitan la gelatinización del almidón y por ende disminuyen la tendencia a la formación de estructuras porosas típicas de los extruidos baja densidad (Wójtowicz et al., 2019). Por ello, incorporar materias primas que no contribuyan con estas características de calidad en snacks expandidos, comprometen de manera negativa las propiedades de físicas de expansión en este tipo de productos.

El estudio de los efectos de los parámetros de procesamiento de extrusión, tales como, la humedad de alimentación (FM), la velocidad del tornillo del extrusor (FM), y la temperatura del barril (BT), y los co-ingredientes en las características de calidad del producto, es una preocupación importante para desarrollar un producto alimenticio con mejor calidad nutritiva (Yadav et al., 2022). Por ello, encontrar una combinación de variables sujeta a parámetros no explorados, abren la posibilidad de incluir materias primas no convencionales como lo son la harina de tarwi (Pérez-Ramos et al., 2017) y pecana, los cuales, bajo ciertos parámetros de estudio, nos permitirán alcanzar niveles de expansión que sean semejantes a los convencionales.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles serán las variables de proceso y la proporción de harina de tarwi y pecana para generar un snack expandido semejante a los convencionales

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál será la proporción de ingredientes más óptima que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?

¿Cuál será la velocidad de tornillo óptima que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?

¿Cuál es el porcentaje de humedad óptimo que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La incorporación de ingredientes que no contienen almidón tales como el tarwi y la nuez de pecana pueden disminuir la densidad del almidón en los extruidos y al mismo tiempo reducir la absorción del mismo, dado a la influencia de sus componentes, los cuales pueden interactuar con el almidón y formar complejos con este polímero, evitando así su absorción y digestibilidad. Asimismo, desarrollar un snack expandido con incorporación de harina de tarwi y pecana constituye un desafío tecnológico desde el punto de vista de propiedades físicas de expansión y estructurales. Por ello, el uso de la tecnología de extrusión podría a través de la modificación de sus parámetros de proceso, alcanzar snacks con aceptables atributos físicos y mecánicos semejantes a los existentes (Bokić et al., 2022). Además, mantener un balance entre los parámetros de extrusión modificará las características físicas del producto, lo que beneficiará drásticamente en las y estructurales del snack expandido. Esto debido a que, la incorporación de ingredientes que presenten niveles bajos de almidón o que puedan causar algún tipo de alteración de las fuentes de almidón, afectarán las propiedades de los alimentos extruidos expandidos, debido a que compromete las propiedades de expansión causado principalmente por las interacciones con los almidones hinchados (Martin et al., 2022).

Algunas variables importantes que influyen en las características de un producto extruido incluyen la configuración del tornillo, la velocidad del tornillo, la temperatura de extrusión y, ciertamente, la mezcla que se alimenta (Zambrano et al., 2022). Sin embargo, actualmente no existe una

investigación en concreto que permita relacionar estas variables con la incorporación de ingredientes no convencionales con variables de proceso.

En este sentido, realizar un estudio en el que se vincule las variables de proceso y proporción de materias primas permitirá formular parámetros que posibiliten la inclusión de ingredientes no convencionales tales como harina de tarwi y pecana, logrando alcanzar niveles de expansión similares a los de un snack expandido comercial. Por lo tanto, optimizar las variables de proceso y la proporción de ingredientes no convencionales, permitirá alcanzar mayores niveles de nutrientes nitrogenados (proteínas) en snacks altamente calóricos, lo cual contribuirá con la reducción de malnutrición y anemia en países en vías de desarrollo como el Perú.

Importancia

La importancia de generar alimentos innovadores con aporte nutricional añadido radica principalmente en el uso de materias primas no convencionales que se destacan por tener importantes cantidades de proteína, fibras, lípidos, vitaminas y minerales, así como aporte significativo en bioactivos. De tal sentido, el uso del tarwi (*Lupinus mutabilis*), también denominado chocho en el idioma quechua es estratégico ya que es una leguminosa que cumple con los componentes anteriormente mencionados. Asimismo, este grano es una materia prima ancestral de alto valor nutricional y su uso en alimentos procesados con tecnologías innovadoras de vanguardia, permiten dar valor agregado a esta materia prima y al mismo tiempo desarrollar alimentos nutritivos y saludables.

1.4 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Delimitación espacial:

Se realizará en las instalaciones de la Universidad Privada San Juan Bautista de Ica.

Delimitación temporal:

Se realizará evaluando las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de los extruidos a base de haría de tarwi y pecana.

Delimitación social:

Se realizará productos extruidos enriquecidos a base de tarwi y pecana, para aquellos grupos de la población que pueden carecer de compuestos nutricionales en su dieta.

Delimitación conceptual:

Este estudio nos permitirá evaluar la combinación entre variables de proceso y la inclusión de harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y pecana (*Carya illinoensis*) sobre las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de snacks obtenidos por extrusión.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Limitación Administrativa:

El acceso a las instalaciones de la Universidad Privada San Juan Bautista es limitado para estudiantes por lo cual se tendrá que recurrir a permisos por parte del asesor.

Limitación económica:

A pesar de que esta tesis posee financiamiento externo por parte de Prociencia, dicho financiamiento ha permitido viabilizar diversos análisis de rutina, adquisición de materias primas, traslados y costear algunos análisis de composición. Sin embargo, el fondo suministrado para obtener ensayos más robustos se requieren mayor inversión monetaria para adquirir los recursos necesarios.

Limitación temporal:

La recolección de datos estará sujeta a los horarios y permisos establecidos la dirección y la Universidad.

Limitación personal:

No habrá limitaciones en este aspecto puesto que el investigador es capaz de llevar el estudio.

1.6 OBJETIVOS**1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la combinación entre variables de proceso y la inclusión de harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y pecana (*Carya illinoensis*) sobre las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de snacks obtenidos por extrusión.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto de la inclusión de harina de tarwi y pecana sobre las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de snacks obtenidos por extrusión.
- Evaluar la velocidad de tornillo óptima que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana.

- Evaluar el porcentaje de humedad óptimo que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana.

1.7 PROPÓSITO

El propósito fue incrementar el valor nutritivo y saludable del snack expandido empleando el proceso de extrusión, incorporando ingredientes no convencionales como harina de tarwi y pecana para enriquecer alimentos a base de cereales mediante complementación proteica y lipídica. Asimismo, se evaluó y caracterizaron los prototipos de extruidos obtenidos mediante ensayos físicos de expansión, hidratación y textura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

N. Hashemi et al. (2017). En su investigación “Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour”, estudió la superficie de respuesta (RSM) para investigar los efectos de las condiciones de extrusión bajo los siguientes parámetros de proceso: humedad (12–16 %), velocidad del tornillo (120–220 rpm) y diferentes niveles de PDAP (10–30 %). El contenido de humedad fue el parámetro más importante en todos los extruidos, pues gracias a ello se determinó que, el aumento de la humedad de la alimentación conduce a una menor densidad, dureza, IC y mayor expansión, mientras que el aumento de la velocidad del tornillo provocó una reducción de la densidad aparente y la dureza del extruido. Se concluyó que, las condiciones más óptimas del proceso fueron las siguientes: Las mezclas de PDAP:CF (21:79), velocidad de tornillo de 219 rpm y contenido de humedad de alimentación del 16%.

Gojiya et al. (2022). En su investigación “Process standardization for formulating protein-augmented corn-based extrudates using defatted sesame flour (DSF): Sesame oil industry waste valorization”, realizó la elaboración de un snack expandido a base de harinas de maíz y sésamo. La parte experimental de la investigación radica en la implementación de un diseño giratorio compuesto central a través de cuatro variables de proceso: humedad de alimentación (10–18 %, b.b.), harina de sésamo desgrasada (10–40 %), temperatura del cabezal (100–160 °C) y la velocidad del tornillo (200–300 rpm). Por otro lado, para determinar la calidad del extruido, se examinó el contenido de proteína, la dureza del extruido, el índice de

solubilidad en agua y el índice de absorción del producto, así como la densidad aparente, relación de expansión y sensorial atributo. Las condiciones óptimas de extrusión fueron de: 15,60 % FMC, 22 % DSF, 130 °C DHT, 250 rpm. El extruido elaborado bajo estos parámetros de proceso dieron como resultado, un producto con alto contenido de proteína (19,21 g/100g).

Castellanos-Gallo et al. (2019), menciona que “El mayor inconveniente en la elaboración de estos snacks es la obtención de propiedades de textura similares a las ya establecidas en los mercados.” Asimismo, señala que, una de las alternativas para la elaboración de snacks es la extrusión de termoplásticos, el cual es un proceso que permite la mezcla de diferentes materias primas favoreciendo la obtención de productos enriquecidos y la retención de nutrientes debido a la combinación de altas temperaturas y corto tiempo, provocando cambios en la estructura de almidones y proteínas principalmente.

Unsaeng et al. (2019). En su investigación “Effects of extrusion variables on extrudate characteristics from corn-based enriched with soybean residue”, estudió el efecto de las variables de extrusión, incluida la velocidad del tornillo, el residuo de soja y la humedad del alimento, sobre las características del extruido a base de maíz enriquecido con residuo de soja, incluida la relación de expansión, la densidad, el WAI, el WSI y la dureza. El residuo de soja (SR) se mezcló con sémola de maíz al 20 %, 30 % y 40 % en peso y se extruyó con una extrusora de un solo tornillo. La velocidad del tornillo se ajustó a 370, 400 y 430 rpm, mientras que la temperatura de extrusión se fijó en 100°C. Se concluyó que el residuo de soja y la velocidad del tornillo afectaron significativamente las características del extruido. El residuo de soja tuvo un efecto importante en la relación de expansión, el

índice de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua y la dureza, mientras que la velocidad del tornillo tuvo un efecto importante en la relación de expansión, la densidad y la dureza.

Aussanasuwannakul et al. (2022), en su investigación “Effect of the Addition of Soybean Residue (Okara) on the Physicochemical, Tribological, Instrumental, and Sensory Texture Properties of Extruded Snacks”, busca mejorar las características físicas y texturales de un snack extruido empleando residuos de soya en un rango de 0 a 50% el cual a su vez será complementando con otras harinas (frijol y arroz) en proporciones mayores (20 a 70% y 20 a 80% respectivamente). Sometieron a las diferentes proporciones de ingredientes a un extrusor de doble tornillo bajo los siguientes parámetros de proceso: Una velocidad de tornillo de 400 rpm, humedad de alimentación de 15 a 17 %, temperatura de fusión de 152 a 155 °C. Se concluyó que, mediante el proceso de extrusión termoplástica, la harina elaborada de residuos de soya incorporada en un rango de 29 a 40% y sometida bajo los parámetros de proceso antes mencionados, da por resultado un snack extruido de alta calidad nutricional, con características físicas aceptables y precepción sensorial deseable.

Brishti et al. (2021), en su investigación “Texturized mung bean protein as a sustainable food source: Effects of extrusion on its physical, textural and protein quality”, emplean el frijol mungo para producir proteínas destinadas a la elaboración de productos alimenticios como snacks expandidos. Con la finalidad de alcanzar propiedades físicas aceptables, se empleó una serie de parámetros de procesos durante la extrusión. Para ello, se utilizó una humedad de alimentación del 49.33%, una velocidad de tornillo de 80.66% y una temperatura del cilindro del 144.37 °C. Se concluyó que el producto

realizado, muestra características físicas y nutriciones óptimas para ser empleadas en alimentos.

Costantini et al. (2021), en su investigación “Effect of Die Configuration on the Physico-Chemical Properties, Anti-Nutritional Compounds, and Sensory Features of Legume-Based Extruded Snacks”, realizaron un snack extruido empleando en su totalidad harinas a base de leguminosas (lentejas rojas, habas, arveja parda y frijol común). Con la finalidad de alcanzar características físicas adecuadas, emplearon los siguientes parámetros de proceso: una velocidad de tornillo de 230 rpm, una temperatura de 160 °C y 16 g/100 g de humedad de alimentación. Asimismo, con la finalidad de analizar las propiedades que adquirirían los extruidos, emplearon matrices con 2 formas (circular y de estrella). Se concluyó que, bajo los parámetros estudiados, los extruidos con matriz de estrella, obtuvieron una expansión radial bajo, pero una dimensión a granel y una textura crujiente más alta a comparación de la matriz esférica. Por otro lado, los extruidos con matriz esférica, mostraron mejor trabajo de crocancia como también una mejor calidad sensorial.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Pérez-Ramos et al. (2017), en su investigación denominada “Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.)”, elaboro un bocadito extruido empleando quinua, tarwi y fécula de camote. Con el objetivo de elaborar un bocadito con alto contenido proteico, realizando 16 formulaciones, empleando los siguientes parámetros de proceso: velocidad de tornillo 800 rpm, temperatura de 30 a 150 °C y una humedad de 15%. Se concluyó, que dichas formulaciones tuvieron una baja expansión, pero un alto contenido proteico.

Delgado-Soriano et al. (2020), en su investigación “Características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión” determino las características físico-químicas de la semilla de pajuro y el efecto de la humedad y temperatura en los parámetros de proceso de los prototipos. Emplearon tres condiciones de temperatura (110, 120 y 130 °C) y dos niveles de humedad (13 y 18%), obteniendo como resultado un índice de expansión (IE) de 2,58 cm, índice de absorción de agua (IAA) de 7,57% e índice de solubilidad en agua (ISA) de 38,85%. Se concluyó que el aumento de la temperatura y la humedad, afecto positivamente al IE e ISA.

Valderrama-Amasifuen et al. (2021), En su investigación denominada “Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales”, elaboro un snack extruido a base de maíz morado, quinua y kiwicha, con el objetivo de evaluar sus características física como: el índice de expansión, densidad aparente, porosidad, textura y crujido. Concluyendo que, al incrementar las porciones de quinua, aumentaba el índice de expansión, una densidad menor y una textura menor.

Fernández Mejía and Guivar Delgado (2020), en su estudio denominado “Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de: arveja (*Pisum sativum*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus Mutabilis*)”, Realizo un snack extruido empleando primas harinas de arveja, kiwicha y tarwi, con la finalidad de evaluar las características de las materias primas mediante métodos físico-químicos. Analizaron las composiciones de los índices de hidratación IAA e ISA. En conclusión, la mezcla extruida presento las siguientes características físico-químicas: 24,29 % de proteína, 56% de un índice de solubilidad y 76 del índice de absorción.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. GRITS DE MAÍZ

El grits es una sémola de maíz que se forma por el fraccionamiento del endospermo duro, que es rico en almidón y no posee la grasa propia del grano de maíz. Para su elaboración se utiliza el grano de maíz amarillo de endospermo duro, ya que el mismo se torna favorable para la extracción del grits en su forma más pura. Para obtener en grits se pasa por un proceso de descarado, des-germinación y molido. Se utiliza la molienda seca en donde se quiebran los granos y se generan partículas de diferente tamaño, dado a que el grano posee diferentes partes anatómicas (pericarpio, germen y endosperma), los cuales por su composición y estructura se fragmentan en diferentes tamaños. Seguidamente, ocurre la separación del endospermo mediante procesos sucesivos de tamizado, en donde se segregan tanto al germen y el pericarpio de maíz, dejando así al grits de maíz (endospermo) compuesto principalmente por almidón y zeinas para la fabricación de snacks o botanas, hojuelas de maíz (Burbano Ormaza, 2018).

Lázaro & Sotelo (2017). Plantean la composición de los grits de maíz de la siguiente forma:

Tabla 1. Composición proximal de los grits de maíz.

Componente (%)	Grits de maíz
Humedad	12.820 ± 0.012
Proteína	12.259 ± 0.009
Grasa	3.731 ± 0.035
Carbohidratos	60.756 ± 0.022

Fibra dietética	8.199 ± 0.043
Cenizas	1.235 ± 0.002

Fuente: Lázaro & Sotelo (2017)

2.2.2 LUPINUS

El Lupinus, es una planta silvestre con más de 300 especies que se divide en dos grandes grupos: Lupinus del viejo mundo localizados en el Mediterráneo/Norte y África Oriental, los cuales se les denomina *L. albus* y *L. luteus* y del nuevo mundo, son aquellos encontrados en América del norte y sur, dentro de los cuales resalta el *L. mutabilis* el cual fue domesticado por las antiguas civilizaciones precolombinas en el Perú (Wolko et al., 2010). El lupinus es usado para la alimentación humana y que está en los primeros lugares a nivel global como un alimento alto en aceites y proteínas (Laguna & Sifuentes, 2019). En el Perú existen más de 70 especies de lupinus el cual pueden ser encontradas en zonas relativamente altas a 2000 y 3500 ms.n.m en los departamentos de Arequipa, Cajamarca, Cusco, Moquegua y Puno (Tapia, 2015).

2.2.3 TARWI O CHOCHO

El tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*) es un tipo de lupinus, conocido como Lupinus andino. Es una leguminosa no convencional nativa del Perú, que además se cultiva en los valles interandinos de Ecuador y Bolivia y se caracteriza por su bajo o inexistente contenido de almidón, alto contenido de proteína e importantes cantidades de lípidos y fibra, tornándola así una materia prima con un perfil nutricional semejante a la soja (Czubinski et al., 2021). Berru et al. (2021), plantea la siguiente composición química del tarwi.

Tabla 2. Composición química (g/100 g de materia seca) de semillas amargas de *L. mutabilis*, tres accesiones de *L. albus* y una de *L. angustifolius*.

Componente (%)	<i>L. mutabilis</i>	<i>L. albus</i>	<i>L. angustifolius</i>
Humedad	9.99 ± 0.14 (8.19 – 13.80)	9.79 ± 0.75 (7.98 – 11.04)	11.15 ± 0.06
Proteína	40.87 ± 0.40 (32.03 – 46.90)	31.02 ± 0.56 (29.93 – 32.20)	29.16 ± 0.39
Lípidos	16.12 ± 0.14 (13.60 – 18.5)	8.41 ± 0.71 (7.56 – 9.52)	5.15 ± 0.04
Cenizas	3.58 ± 0.06 (2.70 – 4.40)	3.37 ± 0.03 (3.25 – 3.50)	3.22 ± 0.04
Carbohidratos	29.45 ± 0.43 (24.85 – 33.90)	47.41 ± 0.52 (45.70 – 49.68)	51.31 ± 0.35

Fuente: Berru et al. (2021)

Tabla 3. Contenido de tocoferol (mg/kg) de semillas amargas de 33 *L. mutabilis*, tres accesiones de *L. albus* y una de *L. angustifolius*.

Componente (%)	<i>L. mutabilis</i>		<i>L. albus</i>		<i>L. angustifolius</i>	
	Amargo	Desamargado	Amargo	Desamargado	Amargo	Desamargado
α -tocoferol	0.63 ± 0.03 (0.27 – 1.24)	0.84 ± 0.05 (0.18 – 1.72)	1.07 ± 0.20 (0.88 – 1.22)	1.58 ± 0.06 (1.45 – 1.76)	2.08 ± 0.01	1.60 ± 0.08
β -tocoferol	2.08 ± 0.11 (0.70 – 3.77)	2.38 ± 0.14 (0.75 – 5.06)	0.42 ± 0.06 (0.34 – 0.50)	0.74 ± 0.25 (0.29 – 0.99)	0.24 ± 0.03	0.97 ± 0.75
γ -tocoferol	199.7 ± 2.4 (168.6 – 244.8)	288.0 ± 5.5 (222.7 – 369.6)	131.49 ± 11.09 (108.5 – 150.7)	172.06 ± 15.84 (131.0 – 218.4)	88.9 ± 3.7	100.4 ± 4.7
δ -tocoferol	1.86 ± 0.10 (0.43 – 3.36)	3.41 ± 0.13 (1.33 – 5.01)	1.61 ± 0.20 (1.38 – 1.94)	2.25 ± 0.45 (2.08 – 2.44)	0.67 ± 0.02	0.27 ± 0.01
Total, tocoferol	204.3 ± 2.4 (172.1 – 249.8)	294.6 ± 5.5 (227.0 – 378.2)	134.60 ± 11.15 (111.7 – 153.5)	176.63 ± 16.22 (135.9 – 222.7)	91.95 ± 3.7	103.2 ± 4.0
(α + β)-caroteno	0.27 ± 0.02 (0.06 – 0.60)	0.36 ± 0.03 (0.09 – 1.22)	0.56 ± 0.08 (0.39 – 0.82)	0.71 ± 0.02 (0.39 – 0.89)	1.10 ± 0.11	0.86 ± 0.02
β -criptoxantina	0.02 ± 0.00 (0.00 – 0.03)	0.04 ± 0.00 (0.02 – 0.07)	0.01 ± 0.001 (0.011 – 0.017)	0.04 ± 0.004 (0.025 – 0.057)	0.02 ± 0.00	0.05 ± 0.00
Luteína	1.22 ± 0.05 (0.43 – 2.20)	1.19 ± 0.05 (0.43 – 2.28)	2.49 ± 0.25 (0.85 – 3.74)	2.84 ± 0.21 (0.84 – 5.07)	3.93 ± 0.16	3.39 ± 0.04
Zeaxantina	0.10 ± 0.00 (0.43 – 2.20)	0.10 ± 0.00 (0.04 – 0.19)	0.85 ± 0.13 (0.65 – 1.02)	0.76 ± 0.12 (0.34 – 1.17)	1.45 ± 0.01	1.25 ± 0.03
Carotenoides totales	1.61 ± 0.06 (0.69 – 2.89)	1.68 ± 0.07 (0.68 – 3.25)	3.91 ± 0.46 (1.90 – 5.26)	4.34 ± 0.32 (1.60 – 7.14)	6.49 ± 0.26	5.55 ± 0.09

Fuente: Berru et al. (2021).

2.2.4 HARINA DE TARWI

Las características de esta harina van principalmente por el valor proteico que tiene y asciende hasta un 49%, también esta harina contiene hasta un 28% de lípidos. Como característica visual de esta harina, el color es ligeramente amarillo (Laguna & Sifuentes, 2019). La harina de tarwi presenta una alternativa para la sustitución parcial de la harina de trigo en la elaboración de productos extruidos, además de contribuir a mejorar la calidad alimentaria de personas y sobre todo niños en etapa de crecimiento (Choque, 2009).

2.2.5 PECANA

La nuez pecana (*Carya illinoensis*) pertenece a la familia de los *Juglandaceae*, es nativa del sur de los Estados Unidos y el norte de México, pero también se cultiva en otras regiones del mundo, como Australia, Sudáfrica, Israel y Sudamérica (Rodríguez Xavier, 2019). Las nueces pecanas son beneficiosas para la salud y tienen un alto valor nutricional, contienen una cantidad H, también es rica en micronutrientes: vitamina E y minerales como el magnesio, el cobre, el fosforo, el zinc y el selenio, el alto contenido en fibra de la nuez es beneficioso en el proceso de digestión, además de ayudar al buen funcionamiento del sistema cardiovascular (Salvador et al., 2016; Xavier Rodríguez, 2019). La nuez de pecana cuenta con diferentes componentes fitoquímicos como son los flavonoides, taninos, ácidos fenólicos, ácidos orgánicos, los cuales son esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo humano y además son fuertes antioxidantes, sin embargo, la cascara de semilla puede contener muchos elementos químicos dando lugar a un sabor más amargo (Li et al., 2022).

Tabla 4. Composición proximal de cinco cultivos de nuez de pecana.

Cultivos	Humedad	Ceniza	Proteína	TDF	Lípidos	Carbohidratos
Bartón	5,28 ± 0.32	1.46 ± 0.03	9.26 ± 0.33	8.97 ± 0.03	65.54 ± 2.28	9.49 ± 0.19
Importada	4.56 ± 0.01	1.50 ± 0.02	7.28 ± 0.28	13.18 ± 0.02	65.23 ± 1.35	8.25 ± 0.29
Jackson	5.05 ± 0.06	1.34 ± 0.05	7.38 ± 0.27	8.24 ± 0.01	68.43 ± 0.21	9.56 ± 0.05
Mahan	4.86 ± 0.16	1.50 ± 0.07	7.72 ± 0.29	15.18 ± 0.01	65.44 ± 2.24	5.30 ± 0.18
Melhorada	5.05 ± 0.06	1.69 ± 0.03	7.59 ± 0.06	5.55 ± 0.02	69.60 ± 0.79	10.52 ± 0.69

Fuente: Ribeiro et al. (2020)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 SISTEMA Y PROCESO DE COCCIÓN POR EXTRUSIÓN

La cocción por extrusión es un proceso el cual se añade ingredientes ricos en almidón, ya que este polímero es aquel que produce la expansión del producto deseado este se lleva a cabo en un equipo que combina múltiples operaciones unitarias (transporte, mezcla, reducción de tamaño y cocción) al cual se le denomina extrusora. En el proceso de extrusión unos de los parámetros más importantes a tomar en cuenta es la baja humedad (10 a 40%) y las altas temperaturas (100 a 180 °C) con la que se extruye, transformando la materia prima en un fluido que es sometido a diferentes tipos de operaciones con la finalidad de modificar sus características (humedad, textura, color) y crear a través de ello una nueva formulación de alimentos de rápido consumo (Guy, 2001).

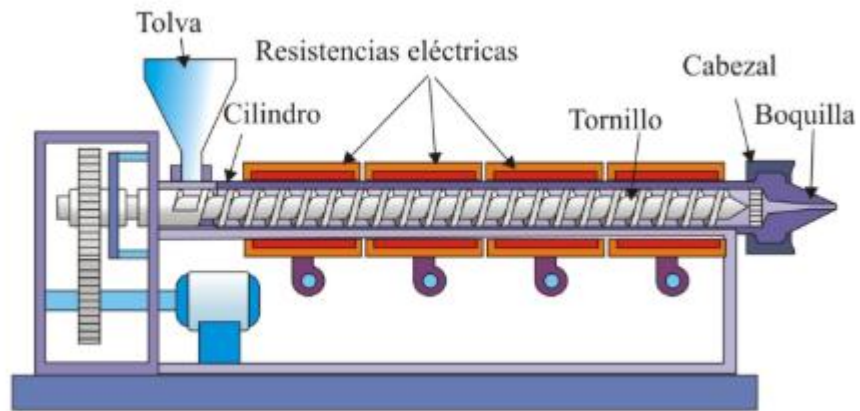


Figura 1. Diseño esquemático de una extrusora de usillo simple.

Fuente: Beltrán Rico and Marcilla Gomis (2012).

Entre los componentes generales del sistema de extrusión tenemos:

a. LA TOLVA

Es un sistema que recibe y dosifica las harinas dentro a la extrusora, la tolva debe contar con una garganta de alimentación y una boquilla de entrada amplia para proporcionar el flujo constante del material (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

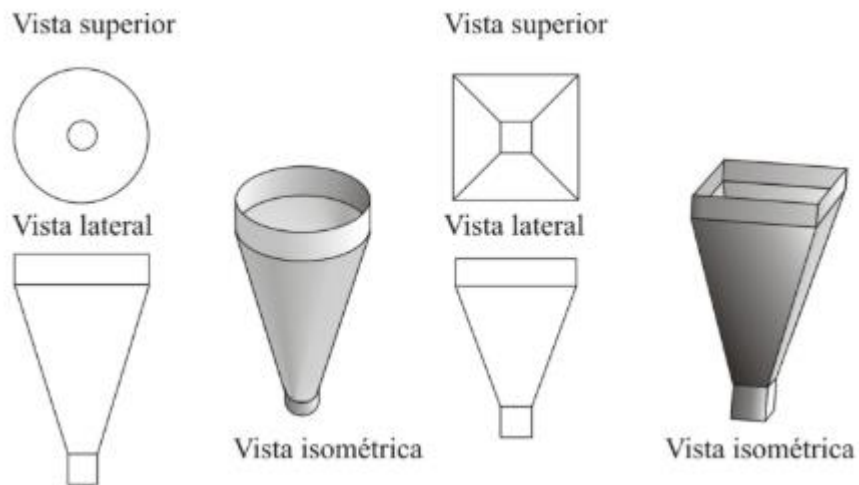


Figura 2. Tipo de tolvas de extrusora.

Fuente: Beltrán Rico and Marcilla Gomis (2012)

En los últimos años este sistema ha evolucionado, clasificado las extrusoras según el número de tornillos, tornillo simple (uno solo) o tornillo doble.

2.3.2 EL CILINDRO

En el interior del cilindro se encuentra el tornillo, además cuenta con una superficie áspera para aumentar la fuerza de cizalla para permitir la fluides del material dentro de la extrusora. El cilindro suele dividirse como mínimo en tres zonas de calentamiento, cada una con control independiente, permitiendo la creación de un gradiente de temperatura adecuado desde el ingreso al extrusor hasta la matriz/boquilla de salida. Los controles de temperatura quedan posicionados en el cilindro, esto lleva a que la temperatura del material sea superior a lo que dictan los controles (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

2.3.3 EL TORNILLO DE EXTRUSIÓN

Constituye una de las partes más importante de la extrusora. El tornillo realiza funciones vitales dentro del proceso de extrusión pues cuenta con la capacidad de trasportar, mezclar, amasar y dosificar la materia primo dentro del cilindro, además la calidad del snack extruido diseño del tornillo, ya que este cuenta con distintas dimensiones (longitud, diámetro, ángulo y rosca) el cual permite que los ingredientes sufran diferentes reacciones dentro del proceso (Ganjyal, 2020). Así mismo la velocidad de giro del tornillo constituye una de la variables relacionadas con el proceso de extrusión y la composición de las materias primas intervinientes, generan la aceptabilidad de los atributos sensoriales de los extruidos (Pérez-Navarrete et al., 2006). Las extrusoras se clasifican según su número de tornillos, las más conocidas son las extrusora de husillo simple (un solo tornillo) y husillo doble (dos tornillos) (Harper, 1990).

- **Tornillo simple**

Es una extrusora que se divide en tres zonas, transporte, amasado y cocción/degradación. Es caracterizada según el tipo de tornillo que emplea (tornillo paralelo o de diámetro variable), el tornillo y el cilindro tiene un papel importante en la generación de cizallamiento, el corte es generado por la fricción de la materia prima contra el cilindro y la superficie del tornillo. La extrusión de un solo usillo es ideal para generar alientos como pastas, cereales y alimentos para mascotas, convirtiéndolo en un método atractivo debido a su bajo costo de producción (Alam et al., 2016; Ganjyal, 2020). Sin embargo, tiene una capacidad de procesamiento limitada es por ello que con el paso del tiempo los fabricantes han realizado mejoras dando como solución una extrusora de un solo usillo más ventilada con el objetivo de extraer el bajo peso molecular de la materia prima fundida (Bouvier & Campanella, 2014).

- **Tornillo doble**

Una extrusora de doble usillo cuenta con tornillos con aleta de forma espiral que produce una presión elevada del troquel. Se clasifica segundo la dirección en la que rota el tornillo, corrotante (giran en un mismo sentido) y contrarrotativo (giran en dirección opuesta), además se pueden subdividir según la posición del tornillo, enlazado y entrelazados. El extrusor de doble tornillo actúa como una bomba de desplazamiento de la materia prima hacia la matriz generando la capacidad de extruir materias primas ricas en fibra, glucosa, proteína y lípidos (Ganjyal, 2020; Guy, 2001). La extrusora de doble usillo cuenta con un mayor nivel de flexibilidad al momento de la extrusión, esto se debe a los tornillos y cilindros extraíbles teniendo un desplazamiento positivo de sus tornillos (Bouvier & Campanella, 2014).

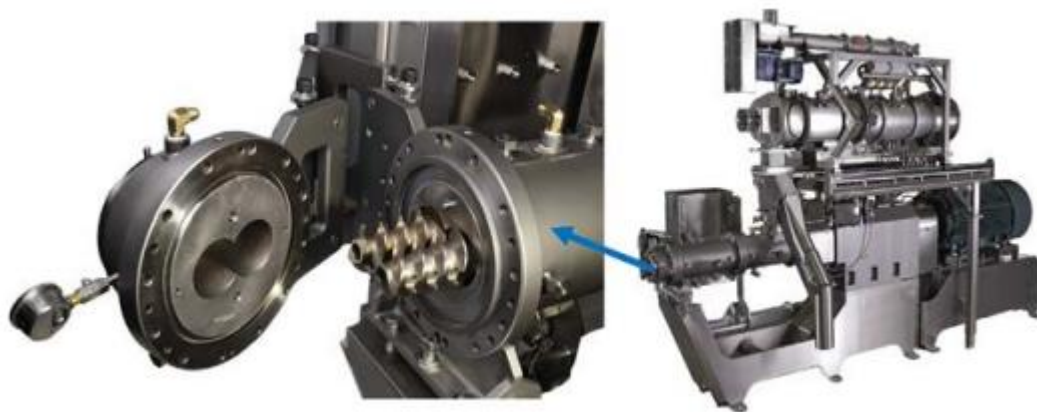


Figura 3. Extrusora de doble tornillo corrotativo.

Fuente: (Ganjyal, 2020).

2.3.4 PROCESO DE EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

El proceso de extrusión termoplástica, es la tecnología la cual engloba una serie de operaciones (mezcla, cocción y corte) con la finalidad de obtener snacks expandidos. Para obtener las características deseadas del snack expandido es necesario ajustar los parámetros de las variables de proceso tales como la humedad, la temperatura del cilindro, la velocidad de tornillo, la presión, entre otros. (Yi et al., 2022). Por otro lado, la tecnología de extrusión se ha utilizado ampliamente en la producción de refrigerios RTE (ready to eat) de cereales debido a su facilidad de operación y capacidad para producir una variedad de texturas y formas que atraen a los consumidores. Muchos de los productos listos para el consumo existentes tienen un contenido relativamente alto de azúcar y sal, por lo que se consideran alimentos ricos en energía, pero pobres en nutrientes.

Los avances en el proceso de extrusión permiten que las condiciones de los parámetros del proceso varían según la naturaleza de las materias primas y los requisitos del producto final Sahu et al. (2022b). Por otro lado, la calidad del snack expandido dependerá también de la ejecución de una combinación

correcta de todos los parámetros del proceso de extrusión, así como de la combinación de mezcla que debe estudiarse (Sahu et al., 2022b).

2.3.5 VARIABLES DE PROCESO

Son esenciales para definir las características que deseamos otorgarles a los snacks expandidos. Las variables más importantes por considerar dentro del proceso de extrusión son: la temperatura, humedad, presión, proporción de ingredientes, la velocidad o rotación de tornillo, velocidad de alimentación, y diámetro de matriz de salida, así como la tasa de compresión comprendida por la relación entre longitud y diámetro interno del barril de cocción. Todas estas variables influyen directa y fuertemente en el proceso de fusión de la masa dentro del barril de cocción, repercutiendo a nivel molecular en el grado de conversión del almidón y consecuentemente en las características del producto expandido extruido (Owusu-Ansah et al., 1982; Sahu et al., 2022a).

Dentro del proceso de extrusión, cuando se emplean materias primas refinadas tradicionales ricas en almidón (maíz, trigo y arroz), los parámetros de proceso se pueden estandarizar de una manera preestablecida dentro de los rangos de temperatura (120-180 °C), velocidad de tornillo (200-500 rpm) y humedad (13-18%) típicos para estos productos. Sin embargo, cuando se aplican ingredientes no convencionales, estos parámetros tienden que modificarse debido a que estos ingredientes poseen otros componentes tales como proteínas, fibras, lípidos y fitoquímicos en proporciones no favorables para el proceso de expansión de los extruidos. Por lo tanto, la adición óptima de estos ingredientes es importante y el estudio de las variables de proceso es vital para alcanzar buenos extruidos expandidos (Alvarez, 2020; Luo et al., 2020).

- **TEMPERATURA**

Desempeña un papel importante dentro del proceso de extrusión. En principios generales, dentro de la extrusora, la temperatura está sujeta al cilindro que contiene el tornillo y esta desempeña un papel importante al momento de determinar la humedad del snack extruido como también de su capacidad de expansión (Lisset et al., 2020). Los parámetros de temperatura como también de la presión que se ejercerá a través de ella, depende netamente de las propiedades reológicas de los ingredientes (Pansawat et al., 2008). Incorporar leguminosas en la mezcla de ingredientes puede jugar un papel importante en el proceso de producción y en la calidad del producto final (Santacruz, 2022). Durante el proceso de extrusión, la temperatura utilizada puede influir en la textura, sabor y apariencia del producto (Karun et al., 2023). Las leguminosas necesitan una temperatura más alta para lograr una expansión adecuada y una textura crujiente en los snacks extruidos, sin embargo, si la temperatura es demasiado alta, es posible que se quemen los ingredientes, lo que puede afectar negativamente el sabor y la calidad del producto final (Blandino et al., 2023).

- **HUMEDAD**

El contenido de humedad dentro del proceso de extrusión puede ocurrir de diferentes formas. La primera es simple y convencional, en donde se acondicionan las harinas mediante la adición de agua hasta alcanzar los niveles o porcentajes deseados. La segunda puede llevarse a cabo mediante la adición de agua en la primera zona de alimentación por dosificación controlada y la tercera puede ser por inyección de agua dentro del extrusor bajo condiciones de flujo controlado en la zona de mezcla para alcanzar los niveles de humedad requeridos para el producto expandido (Shelar & Gaikwad, 2019; Singh et al., 2007). Sin

embargo, la cantidad de humedad que se genere dentro del proceso muchas veces compromete a la calidad del producto, pues si el contenido de humedad no es sometido a un correcto proceso de secado o enfriado, el snack extruido se compactara irregularmente en zonas del producto en donde ocurra la condensación del agua y este se tornará gelatinoso y posteriormente de alta dureza, comprometiendo totalmente su principal característica textural de crujiente (Singh et al., 2007). El porcentaje de humedad del material de alimentación (granos, sémolas, harinas o sus mezclas) tiene una influencia significativa en la viscosidad aparente de la masa durante el proceso de extrusión y en la expansión de producto final. Mayores contenidos de humedad y elevadas temperaturas causan la gelatinización del almidón y aumenta la viscosidad del producto (Guy, 2002).

- **VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN**

Este es un parámetro operativo significativo, ya que la alimentación no solo regula el rendimiento de la extrusora, sino que también afecta la estabilidad del proceso y el estado de la masa fundida. En algunos procesos se puede contar con un sistema de refrigeración para mantener bajas temperaturas evitando que las partículas de grasa de las materias primas se adhieran a las paredes internas de la extrusora (Beltrán, 2011). La velocidad de alimentación o dosificación del material hacia la extrusora puede ocurrir de forma gravimétrica y volumétrica. En la gravimétrica el flujo de ingreso de material es regulado por un sistema rotativo comprendido por un tornillo sin fin o por dispositivos de mezcla. En la volumétrica, estas ofrecen una mayor precisión en la alimentación del material al extrusor.

- **VELOCIDAD DE GIRO DE TORNILLO**

En la extrusión dentro de los parámetros importantes asociados al tornillo se encuentran la velocidad de alimentación, velocidad y configuración del tornillo, geometría y diámetro del dado, todas ellas influyen directamente en el tiempo de residencia del producto y tienen un impacto marcado en la calidad de producto terminado (Pérez-Navarrete et al., 2006). La velocidad de giro del tornillo se controla con el torque de la extrusora, el cual es un indicador del funcionamiento seguro de la máquina y una medida del trabajo requerido para empujar el material de alimentación fuera de la abertura del troquel durante la operación, el torque suele funcionar de dos maneras, la primera para trabajo del producto y segunda para girar el tornillo en condiciones de carga completa y sin carga (De Pilli et al., 2012).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

H0: La inclusión de harina de tarwi y pecana tienen un efecto significativo sobre las propiedades físicas del extruido y el estudio de las variables de extrusión permiten alcanzar las características físicas, estructurales y texturales de un snack convencional.

HG1: La inclusión de harina de tarwi y pecana no tienen un efecto significativo sobre las propiedades físicas del extruido y el estudio de las variables de extrusión no permiten alcanzar las características físicas, estructurales y texturales de un snack convencional.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La proporción de harina de tarwi y pecana ejerce un efecto significativo sobre las propiedades físicas del extruido.
- La proporción de harina de tarwi y pecana no ejerce un efecto significativo sobre las propiedades físicas del extruido.
- La rotación de tornillo ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.
- La rotación de tornillo no ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.
- La humedad ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.

- La humedad no ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

V1: Proporción de harina de tarwi (g/100g).

V2: Proporción de harina de pecana (g/100g).

V3: Porcentaje de humedad de las harinas crudas (g/100g)

V4: Velocidad de rotación del tornillo (rpm)

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

VD1: Tamaño de partícula (%).

VD2: Índice de expansión seccional/radial (IES, adimensional).

VD3: Densidad aparente (DA, g.cm⁻³).

VD4: índice de expansión Longitudinal (IEL)

VD5: Índice de expansión volumétrico (IEV)

VD6: Índice de absorción de agua (IAA).

VD7: índice de solubilidad en agua (ISA).

VD8: Frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr, mm⁻¹).

VD9: Fuerza especifica media de rupturas estructurales (Fsr, N).

VD10: Fuerza de compresión (Fc, N).

VD11: Trabajo de crocancia (Wc, N.mm).

VD12: Porosidad (%).

VD13: Circularidad.

2.6 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE TERMINOS

A continuación, en la tabla 5 se muestra y resumen las variables independientes que fueron los factores de estudio bajo el arreglo de diseño de mezclas D-óptimo, el cual generó 14 combinaciones.

Tabla 5. Definición de la variable independiente.

Variable independiente	Tipo de variable
Proporción de harina de tarwi	Cuantitativa continua
Proporción de harina de pecana	Cuantitativa continua
Porcentaje de humedad de las harinas crudas	Cuantitativa continua
Velocidad de rotación del tornillo	Cuantitativa continua

En la tabla 6 se muestran las variables dependientes que se utilizaron para caracterizar los 14 prototipos generados.

Tabla 6. Definición de la variable dependiente.

Variable dependiente	Tipo de variable
Granulometría	Cuantitativa continua
Propiedad de expansión	Cuantitativa continua
Propiedad de hidratación	Cuantitativa continua
Propiedad textural	Cuantitativa continua

2.6.1 TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

ALUMNO: GONZALES PÉREZ SANDRA SOFÍA

LOCAL: FILIAL ICA

TEMA: ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO DE LA EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA PARA OBTENER SNACKS EXPANDIDOS DE HARINA DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y PECANA (*Carya illinoensis*)

En la tabla 7 se muestran los instrumentos e indicadores utilizados para medir la variable independiente.

Tabla 7. Variable independiente.

DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
Proporción de harina de Tarwi	%	Balanza de precisión
Proporción de harina de pecana	%	Balanza de precisión
Porcentaje de humedad	%	Gravimetría (balanza analítica)
Velocidad angular	rpm	Sensor de torque

Nota. Las dimensiones se consideran si la investigación lo requiere

En la tabla 8 se aprecia los instrumentos e indicadores utilizados para medir la variable dependiente.

Tabla 8. Variable dependiente.

DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
Granulometría	μm	Kit de tamices
Propiedad de expansión	aparente	Calibre de metal
Propiedad de hidratación	ISA/IAA	Valorador volumétrico
Propiedad textural	N.mm/s	Sensor de torque

Nota. Las dimensiones se consideran si la investigación lo requiere

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación es de naturaleza experimental cuantitativa debido a que se emplearan datos estadísticos con la finalidad de medir los diferentes resultados obtenidos y determinar la validez de las hipótesis planteadas en la investigación.

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación a realizar es del tipo aplicada Cívicos Juárez & Hernández Hernández (2011). Explican que, la investigación aplicada o práctica se caracteriza por la forma en que analiza la realidad social y aplica sus descubrimientos en la mejora de estrategias y actuaciones concretas, en el desarrollo y mejoramiento de éstas, lo que, además, permite desarrollar la creatividad e innovar.

3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es del nivel explicativo, debido a que se demostrara la valides de las hipótesis mediante un proceso experimental con un estudio prospectivo. Hernández-Sampieri et al., (2014). Explica que, los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

- La especie de *Lupinus mutabilis* extraído de la provincia de Ancash.

- La variedad de *Carya illinoensis* extraído del fundo Paracas Verde en la ciudad de Ica.

MUESTRA

- 200 kg de tarwi.
- 150 kg de pecana

3.2.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

MATERIALES

- Grits de maíz.
- Harina de tarwi integral desamargado.
- Nuez de pecana.

EQUIPOS

- Extrusora de doble tornillo
- Mezcladora
- Balanza analítica
- Kit de tamices entre 100 a 850 μm
- Molino
- Agitador
- Centrifuga
- Estufa
- Soporte universal
- Vernier
- Escáner

REACTIVOS

- No se emplearán reactivos en el presente trabajo de investigación.

3.3 TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 Obtención de las materias primas

Los grits de maíz descascarado, desgerminado y quebrado se adquirió de la empresa Corina S.A.C en la ciudad de Lima la cual tuvo una composición proximal declarada por el proveedor de 11.8% de humedad, 0.8% de cenizas, 0.6% de grasa total, 0.9% de fibra y 7.1% de proteína total. La harina de tarwi fue adquirida de la empresa TARWICORP S.A.C en la ciudad de Lima, la que tuvo un porcentaje de proteína del 48.5%, grasas totales 22.4%, carbohidratos 22.0%, fibra dietética 17.5%, cenizas 2.1% y una humedad de 7.5%, esta leguminosa, cuya ausencia de almidón lo distingue de otras variedades de legumbres, se cultiva y cosecha en condiciones específicas para preservar sus características nutricionales distintivas (Chen et al., 2020; Vera-Vega et al., 2022). La pecana fue obtenida en el mercado local de la ciudad de Ica, la cual tuvo un porcentaje de proteína de 9.5 %, grasas totales 67.7%, carbohidratos 17.3%, fibra cruda 2.9%, cenizas 1.2% y una humedad de 4.3%. La nuez de pecana fue molida en un procesador (CL 50 ultra, Robot coupe, Francia) para reducir el tamaño de partícula y se tamizo con un tamaño de apertura de malla de 1000 μm para obtener la pecana molida granulada.

3.3.2 Acondicionamiento

Las diferentes mezclas a base de grits (GM), harina integral de tarwi (HIT) y nuez molida de pecana (NPM) se acondicionaron según el método descrito por (Collantes et al., 2022b). Previamente se mezclaron las harinas en una mezcladora planetaria para uniformizar la mezcla total, luego se tomó alrededor de 2 gramos y se llevó a una termobalanza para determinar la humedad inicial de la mezcla. Luego se procedió a calcular la cantidad de

agua a incorporar para alcanzar 13, 15, 17% de humedad según la siguiente ecuación (1):

$$W = \frac{(M_f - M_i) \times TM}{100 - M_f} \quad (1)$$

Donde W (mL) es el volumen de agua añadida, M_f es el contenido final de humedad de la mezcla (%), M_i es humedad inicial de la mezcla (%) y TM es el peso total de la mezcla (g).

3.3.3 Proceso de extrusión

El proceso de extrusión se llevó a cabo en un sistema de doble de tornillo corrotante (EB6 – 60X, Galix Tech, Huancayo - Perú) con control en dos zonas de temperatura (primera zona = 100 °C y segunda zona = 150 °C), el largo del barril de cocción tuvo 85 cm, el diámetro interno del tornillo fue de 65.3 mm ($L/D = 13.02$) con una matriz de salida de 6.34 mm y la velocidad de alimentación fue de 66 kg/h. Las harinas ingresaron al extrusor con diferentes proporciones de harina integral de tarwi (HIT) y nuez de pecana molida (NPM) con humedades de 13, 15 y 17% y velocidades de rotación de tornillo de 324, 360 y 396 rpm, las cuales se establecieron según el delineamiento experimental detallado en la sección 3.5.

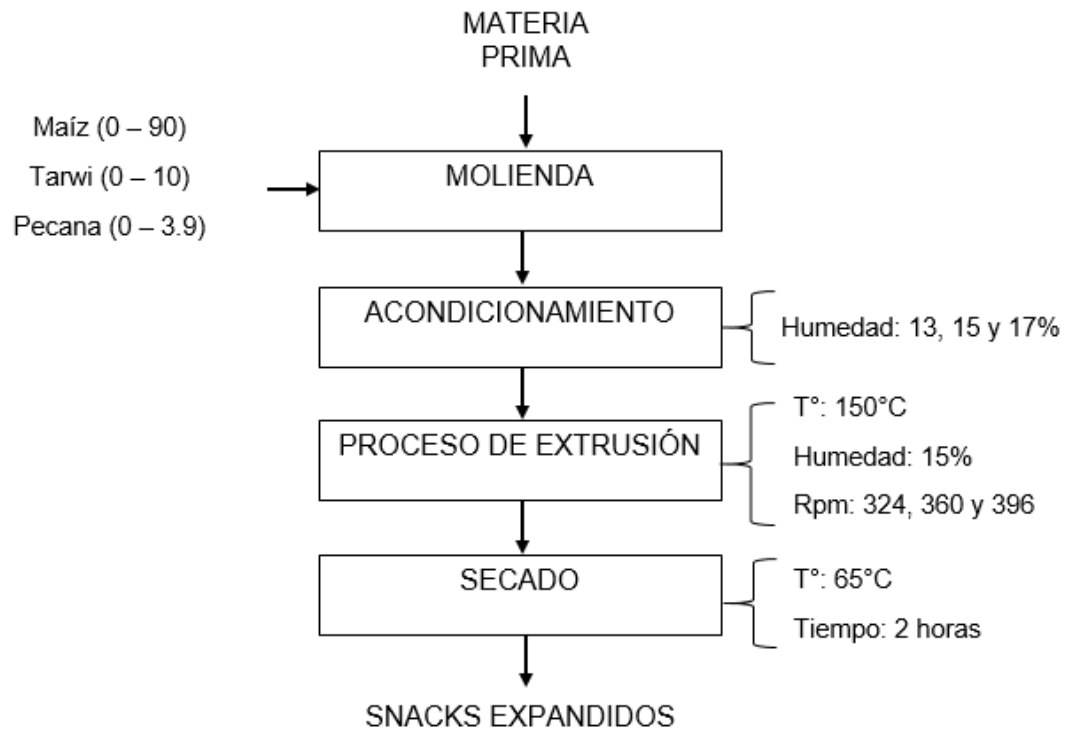


Figura 4. Diagrama de bloques de proceso de extrusión.

3.3.4 ÍNDICE DE EXPANSIÓN SECCIONAL (IES) Y LA DENSIDAD A GRANEL (DA)

El índice de expansión seccional se realizó según el método descrito por Collantes et al. (2022a), en donde se midió el diámetro de los extruidos utilizando un vernier (500-160-30, Mitutoyo, Japón). Se realizaron un total de 20 lecturas por tratamiento en donde se calcularon el índice de expansión seccional (IES) empleando la ecuación (2) descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988). La densidad aparente (DA) se calculó por el método de desplazamiento de semillas descrito por (Pardhi et al., 2019), en donde previamente se pesaron tres extruidos y luego se midió el volumen de los mismos, al ser colocados en un recipiente de 6 x 6 cm usando una probeta

para medir en mililitros las semillas desplazadas por los extruidos. Los resultados se expresaron en gramos por mililitro (g/mL).

$$IES = \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \quad (2)$$

Donde D es el diámetro que adquieren los extruidos después del enfriamiento y D_0 es el diámetro del orificio de inserción.

$$DA = \frac{P}{V}$$

Donde P es el peso del extruido y V es el volumen desplazado por el extruido.

3.3.5 PROPIEDADES DE HIDRATACIÓN DE LOS EXTRUIDOS

Las propiedades de hidratación se determinaron según el método modificado descrito por Vargas-Solórzano et al. (2014). 10 g de muestra por tratamiento se pulverizaron en un molino de cuchillas eléctrico. Terminado el proceso de molienda, el material fue tamizado para obtener partículas entre 106 y 212 μm . Luego se pesó 0.5 g de muestra tamizada en un tubo falcón de 15 mL, al cual se le añadió 10 mL de agua destilada y se homogenizó la muestra en un vortex hasta alcanzar la disolución total de la muestra. Posteriormente, se procedió a agitar en vortex por 1 minuto intermitentemente con espacios e 4 minutos de reposo hasta alcanzar los 30 minutos de agitación intermitente. Luego, se sometieron las muestras a centrifugación a 9000 rpm por 30 minutos, seguidamente se separó el sobrenadante en un recipiente de evaporación y se llevó a deshidratación en horno (UN30, Memmert, Alemania) a 105 °C por 4 horas hasta alcanzar peso constante. El sólido restante se pesó y se determinó el índice de absorción de agua (IAA) según la ecuación 3, mientras que el sobrenadante deshidratado se pesó para

determinar el índice de solubilidad en agua (ISA) según la ecuación 4, las cuales se muestran a continuación:

$$IAA = \frac{g \text{ de agua absorbida}}{g \text{ de muestra seca (1-fracción soluble)}} \quad (3)$$

$$ISA = \frac{g \text{ de materia soluble en agua}}{g \text{ de muestra seca}} \times 100 \quad (4)$$

3.3.6 ANÁLISIS DE TEXTURA DE LOS EXTRUIDOS

La textura se determinó según Collantes et al. (2022a), utilizando el método de punctura descrita por (Bouvier et al., 1997), empleando un analizador de textura (TAXT PLUS), el cual estuvo conectado a una computadora y equipado con una celda de carga de 30 kg y una sonda cilíndrica de acero inoxidable de 2 mm de ancho. Los extruidos se perforaron con una sonda a una profundidad del 50% de su diámetro con una fuerza de compresión de 0.2 N y a una velocidad de 1mm/s por espécimen. Las lecturas fueron generadas por el software Exponent versión 4.0.13.0, empleando los siguientes parámetros para determinar las propiedades texturales de los extruidos, los cuales fueron los siguientes:

- Frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr, mm⁻¹).

$$Nsr = N_0/d \quad (5)$$

Donde N_0 es el número total de picos y d es la distancia de punción (mm).

- Fuerza de rupturas estructurales específica promedio (Fsr, N).

$$Fsr = \sum \frac{\Delta F}{N_0} \quad (6)$$

Donde ΔF son las caídas de fuerzas individuales de cada pico.

- Fuerza de punctura promedio (F, N).

$$F = \frac{A}{d} \quad (7)$$

Donde A es la integral bajo la curva fuerza versus deformación N.mm.

- Trabajo de crocancia (W_c , N.mm).

$$W_c = \left(\frac{F}{N_{ST}} \right) \quad (8)$$

3.4 DISEÑO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El procesamiento de datos se realizó de acuerdo al tipo de variable a estudiar, tal y como se indica a continuación:

- En las variables de expansión se tomarán las medidas de longitud empleando una balanza analítica y un vernier o un calibrador digital.
- Para la densidad, se tomará el peso de cada muestra y su longitud, posteriormente se aplicará la fórmula descrita por (Fan et al., 1996).
- Las propiedades de hidratación serán determinadas mediante el cálculo del índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA).
- La textura será determinada mediante la prueba de punción empleando un analizador de texturas.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos se empleó un planteamiento experimental de diseño de mezclas D-óptimo, el cual generó 12 combinaciones con 2 repeticiones y se incluyó un control para efectos de comparación. Asimismo, se utilizó el software libre R versión 3.2.4 (R Foundation For Statistical Computing, Viena, Austria) para el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparaciones entre los tratamientos generados, mediante la prueba de LSD-Fisher para identificar diferencias significativas con un $\alpha = 5\%$. El arreglo estadístico consideró como factores la proporción de tarwi (Z_1 , %) y pecana (Z_2 ,

%), así como las variables de proceso como humedad de las harinas (X_1 , %) y velocidad de giro de tornillo (X_2 , rpm) a partir de las cuales se generó el arreglo estadístico plasmado en la tabla 3.

Tabla 9. Esquema de análisis estadístico D-óptimal.

Tratamientos	Proporciones (%)		Parámetros	
	HIT	PNM	%H	SS
	(Z_1 , %)	(Z_2 , %)	(X_1 , %)	(X_2 , rpm)
T1	9.5	0.5	17	324
T2	6.1	3.9	17	324
T3	10	0	15	324
T4	7.9	2.1	15	324
T5	6.1	3.9	15	324
T6	9.6	0.4	17	396
T7	9.4	0.6	15	396
T8	8.3	1.7	15	396
T9	7.6	2.4	15	396
T10	9.1	0.9	13	360
T11	9	1	13	360
T12	6.8	3.2	13	360
T13	9.5	0.5	17	324
T14	7.6	2.4	15	396
T15	6.8	3.2	13	360

HIT: harina integral de Tarwi, PNM: nuez de pecana molida, %H: humedad de la mezcla de harinas, SS: velocidad de giro de tornillo.

El modelo lineal (ecuación 9) y cuadrática (ecuación 10), serán empleados para representar los valores de respuestas. La significación estadística de cada término en la ecuación. Se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) a 0.1, 1.0 y 5,0%.

Para ello, las ecuaciones previamente descritas se plantearán de la siguiente forma:

$$Y = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + x_1 \cdot x_1 + x_2 \cdot x_2 \quad (9)$$

$$Y = \alpha + \beta + \alpha \cdot \beta + x_1 + x_2 + x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_1 + x_2 \cdot x_2 + \alpha \cdot x_1 + \alpha \cdot x_2 + \beta \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 \quad (10)$$

Donde Y es la respuesta de predicción (índices de expansión, densidad aparente, propiedades de viscosidad y textura instrumental).

3.6 ASPECTOS ÉTICOS

El presente trabajo de investigación no empleara humanos para realizar estudios organolépticos o sensoriales. Todos los aspectos experimentales serán realizados mediante la manipulación y estudio de las variables físicas químicas.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Propiedades de expansión.

La expansión que adquieren los snacks es una de las características principales durante el proceso de extrusión, el cual existen factores como la temperatura, la velocidad de tornillo, la humedad y las porciones de las materias primas añadidas, que afectan el crecimiento del alimento (Unsaeng, 2019). Los resultados obtenidos de las propiedades físicas de expansión se muestran en la tabla 10, los cuales se tomaron como mejores tratamientos aquellos que fueron los más cercanos o iguales al control.

El índice de expansión seccional (IES) de los extruidos enriquecidos, sus valores oscilaron entre 10.99 y 18.58 y un control 19.30. Entre las muestras evaluadas se destaca el T5 (18.58) que tuvo (HIT 9.6%, NPM 0.4%, humedad 17% y 396 rpm), el T6 (17.99) que tuvo (HIT 9.4%, NPM 0.6, humedad 15% y 396 rpm) y el tratamiento T13 (18.54) que tuvo (HIT 7.6%, NPM 2.4%, 15% humedad y 396 rpm). Por otro lado, los extruidos que tuvieron el IES más bajo fueron los tratamientos T3 (14.06), T4 (13.89), T10 (13.46), T9 (11.59), T11 (10.99) y T14 (12.18), los cuales tuvieron valores menores al control ($p < 0.05$). En donde, el T10 en comparación con los mejores extruidos expandidos (T5, T6 y T13) (Tabla 10), tuvo la humedad de procesamiento más baja (13%) y un porcentaje de HIT elevado (9%), esto demuestra que la combinación entre baja humedad y alto contenido de proteína y fibra afectan la expansión de los extruidos, tal como lo mencionado por Meng et al. (2023).

La densidad aparente (DA) de los extruidos oscilaron entre 0.102 y 0.122 siendo valores estadísticamente mayores a las del control (0.094) ($p < 0.05$). Asimismo, el T5, T6 y T13 fueron los tratamientos que tuvieron el DA más bajo, entre 102 a

0.104 g/cm³) ($p < 0.05$). Los extruidos que tuvieron una menor expansión fueron T1, T2, T3, T4, T7, T8, T9, T10, T11, T12 y T14, los cuales tuvieron una DA que oscilaron entre 0.107 a 0.122, tales resultados fueron mayores al control ($p < 0.05$), esto se debe al efecto de HIT en el incremento de la densidad aparente de (Anexo 5b).

El índice de expansión longitudinal (IEL) de los extruidos enriquecidos oscilaron entre 3.19 a 6.04, los cuales fueron estadísticamente menores al control el cual presento 6.62 de IEL ($p < 0.05$) (Tabla 4). Siendo los tratamientos T4 (6.1 HIT, 3.9 NPM, 15% humedad y 324 rpm) y el T10 (9 HIT, 0.5 NPM, 17% humedad y 360 rpm), aquellos que mostraron los mayores valores de expansión en IEL ($p < 0.05$). Los extruidos que tuvieron una expansión menor en IEL oscilaron entre 3.19 a 5.65, siendo estos valores menores al control ($p < 0.05$). Destacando el tratamiento T4 que tuvo un valor de 6.03 (6.1 de HIT, 3.9 de NPM, 15% de humedad y 324 rpm), aquel tratamiento obtuvo los resultados más alto de IEL, en comparación de todos los tratamientos ($p < 0.05$), y al mismo tiempo fue el más próximo al control.

Respecto al índice de expansión volumétrico (IEV) de los extruidos enriquecidos oscilaron entre 36.92 y 93.63 como lo muestra la Tabla 10. Resaltando el tratamiento T12 (9.5 HIT, 0.5 NPM, 17% de humedad y 324 rpm) que tuvo 93.63 de IEV, el mismo que tuvo el mayor IEV entre todos los tratamientos ($p < 0.05$), seguido del tratamiento T5 (87.29). Los extruidos que tuvieron un IEV menor oscilaron entre 36.92 y 83.74 ($p < 0.05$), siendo el tratamiento que más destaco el T9 (9.1 de HIT, 0.9 de NPM, 13% de humedad y 360 rpm) el cual tuvo 36.92 de IEV, el mismo que tuvo el valor más bajo entre los extruidos menos expandidos ($p < 0.05$). Tales valores de IEV de los extruidos enriquecidos se incrementaron significativamente al aumentar la humedad (Anexo 5d), mientras que el aumento de HIT y NPM causaron reducciones significativas de este parámetro.

Tabla 10. Propiedades de expansión de los extruidos enriquecidos con harina integral de tarwi y nuez de pecana molida.

Tratamientos	Diseño experimental					Propiedades de expansión			
	GM	HIT (Z ₁ , %)	NPM (Z ₂ , %)	Humedad (X ₁ , %)	SS (X ₂ , rpm)	IES	DA (g/cm ³)	IEL	IEV
Control	100	0	0	15	324	19.3 ± 1.52	0.094 ± 0.005 ^a	6.62 ± 0.47	127.47 ± 8.81
T1	90	6.1	3.9	17	324	16.65 ± 1.23 ^{b;α}	0.114 ± 0.008 ^{cdefgh}	4.13 ± 0.42 ^{f;α}	68.79 ± 8.39 ^{e;α}
T2	90	10	0	15	324	15.37 ± 1.4 ^{c;α}	0.111 ± 0.005 ^{bcdef}	4.61 ± 0.24 ^{e;α}	70.61 ± 4.39 ^{e;α}
T3	90	7.9	2.1	15	324	14.06 ± 0.6 ^{d;α}	0.119 ± 0.010 ^{gh}	5.65 ± 0.23 ^{b;α}	79.38 ± 3.5 ^{c;α}
T4	90	6.1	3.9	15	324	13.89 ± 0.57 ^{d;α}	0.108 ± 0.009 ^{bcde}	6.03 ± 0.21 ^{a;α}	83.74 ± 2.89 ^{c;α}
T5	90	9.6	0.4	17	396	18.58 ± 1.73 ^a	0.103 ± 0.007 ^{bc}	4.73 ± 0.65 ^{e;α}	87.29 ± 8.69 ^{b;α}
T6	90	9.4	0.6	15	396	17.99 ± 1.24 ^a	0.102 ± 0.011 ^{ab}	3.93 ± 0.26 ^{f;α}	70.72 ± 6.65 ^{e;α}
T7	90	8.3	1.7	15	396	15.4 ± 1.05 ^{c;α}	0.107 ± 0.008 ^{bcd}	5.33 ± 0.39 ^{c;α}	81.86 ± 5.07 ^{c;α}
T8	90	7.6	2.4	15	396	16.57 ± 0.94 ^{b;α}	0.117 ± 0.009 ^{fgh}	4.94 ± 0.26 ^{d;α}	81.81 ± 6.68 ^{c;α}
T9	90	9.1	0.9	13	360	11.59 ± 0.73 ^{e;α}	0.122 ± 0.014 ^h	3.19 ± 0.17 ^{g;α}	36.92 ± 2.34 ^{g;α}
T10	90	9	1	13	360	13.46 ± 1.19 ^{d;α}	0.107 ± 0.010 ^{bcde}	5.85 ± 0.34 ^{a;α}	78.64 ± 6.8 ^{c;α}
T11	90	6.8	3.2	13	360	10.99 ± 0.65 ^{e;α}	0.115 ± 0.011 ^{defgh}	4.25 ± 0.13 ^{f;α}	46.63 ± 2.55 ^{f;α}
T12	90	9.5	0.5	17	324	16.9 ± 1.27 ^{b;α}	0.117 ± 0.016 ^{efgh}	5.56 ± 0.39 ^{b;α}	93.63 ± 6.22 ^{a;α}
T13	90	7.6	2.4	15	396	18.55 ± 1.28 ^a	0.104 ± 0.011 ^{bc}	4.1 ± 0.24 ^{f;α}	75.93 ± 4.17 ^{d;α}
T14	90	6.8	3.2	13	360	12.18 ± 0.54 ^{e;α}	0.107 ± 0.010 ^{bcde}	5.41 ± 0.18 ^{c;α}	65.88 ± 3.89 ^{e;α}

HIT: harina integral de tarwi, GPN: nuez de pecana trozada, SS: velocidad del tornillo, IES: índice de expansión seccional, DA: densidad aparente, IEL: índice de expansión longitudinal, IEV: índice de expansión volumétrico. Resultados que representan la media ± SD (n = 10). Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas (T1–T14) Tukey (p<0.05) y la letra griega (α) indica no hay diferencias entre los extruidos enriquecidos con el control mediante la prueba de Dunnett (p>0.05).

4.1.2 Propiedades de hidratación

El índice de absorción en agua (IAA) que indica el grado de fragmentación del almidón, además se relaciona con el incremento de grupos hidrofílicos con capacidad de interactuar con las moléculas de agua. Nos muestra que en esta propiedad en los extruidos con adición de HIT y NPM, los valores oscilaron en el rango de 4.64 a 5.27 (Tabla 11), destacando los tratamientos T5, T6 y T13 (5.01, 4.64 y 4.91), en el espacial el T5 ya que, mostro una ligera reducción no significativa frente al control ($p > 0.05$), a diferencia de los tratamientos T6 y T13 que tuvieron una buena expansión mostraron una reducción significativa en el IAA ($p < 0.05$), demostrando que la inclusión de HIT y NPM produjo una menor disrupción del almidón. No obstante, los extruidos con menor expansión mostraron un IAA en su mayoría menores a las del control ($p < 0.05$).

Los valores del índice de solubilidad (ISA) el cual representa la cantidad de material soluble de bajo peso molecular generado a partir de la fragmentación de almidón tras el proceso de extrusión, oscilaron entre 13.86 y 21.06 en los extruidos con adición de HIT y NPM, obteniendo valores significativamente menores que el control 27.81 ($p < 0.05$). Sin embargo, los tratamientos de menor expansión tuvieron en su mayoría menores valores de ISA que los mejores expandidos ($p < 0.05$). Sin embargo, el tratamiento con mayor relevancia fue el T14 (21.06), quién obtuvo un valor próximo y estadísticamente semejante al control (27.81) ($p > 0.05$).

Tabla 11. Índice de solubilidad (IAA) y absorción (ISA) de los extruidos.

tratamientos	Diseño experimental				Propiedades de hidratación	
	HIT (Z ₁ , %)	NPM (Z ₂ , %)	Humedad (X ₁ , %)	SS (X ₂ , rpm)	IAA	ISA
Control					5.22 ± 0.15	27.81 ± 1.29
T1	6.1	3.9	17	324	4.94 ± 0.1 ^{b;α}	15.88 ± 0.96 ^{e;α}
T2	10	0	15	324	4.91 ± 0.05 ^{b;α}	13.86 ± 0.16 ^{f;α}
T3	7.9	2.1	15	324	4.91 ± 0.15 ^{b;α}	15.15 ± 0.54 ^{e;α}
T4	6.1	3.9	15	324	5.27 ± 0.1 ^a	17.23 ± 0.19 ^{d;α}
T5	9.6	0.4	17	396	5.01 ± 0.07 ^b	18.43 ± 0.41 ^{c;α}
T6	9.4	0.6	15	396	4.64 ± 0.07 ^{c;α}	15.25 ± 0.78 ^{e;α}
T7	8.3	1.7	15	396	4.82 ± 0.08 ^{c;α}	16.93 ± 1.15 ^{d;α}
T8	7.6	2.4	15	396	4.79 ± 0.17 ^{c;α}	16.79 ± 0.63 ^{d;α}
T9	9.1	0.9	13	360	4.91 ± 0.16 ^{b;α}	18.06 ± 1.03 ^{c;α}
T10	9	1	13	360	4.74 ± 0.12 ^{c;α}	18.51 ± 0.55 ^{c;α}
T11	6.8	3.2	13	360	4.92 ± 0.03 ^{b;α}	19.56 ± 0.7 ^{b;α}
T12	9.5	0.5	17	324	4.91 ± 0.09 ^{b;α}	17.36 ± 0.68 ^{d;α}
T13	7.6	2.4	15	396	4.91 ± 0.05 ^{b;α}	18.13 ± 0.9 ^{c;α}
T14	6.8	3.2	13	360	5.16 ± 0.08 ^a	21.06 ± 0.47 ^{a;α}

HIT: harina integral de tarwi, NPM: nuez de pecana molida, SS: velocidad del tornillo, IAA: Índice de absorción en agua, ISA: Índice de solubilidad en agua. Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas (T1–T14; $p < 0.05$). Resultados que representan la media ± SD (n = 10). Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas (T1–T14) Tukey ($p < 0.05$) y la letra griega (α) indica no hay diferencias entre los extruidos enriquecidos con el control mediante la prueba de Dunnett ($p > 0.05$).

4.1.3 Propiedades de textura

La frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr) es la frecuencia con la que se rompen las paredes de las burbujas que componen al extruido por distancia recorrida (Van Hecke et al., 1998). Los valores de Nsr oscilaron entre 4.28 a 10.18 mm^{-1} de todos los extruidos enriquecidos (Tabla 12), asimismo estos valores fueron mayores al control, el cual tuvo 2.02 mm^{-1} ($p < 0.05$). Dicho parámetro en los tratamientos con las mejores expansiones fue de 7.32, 8.24 y 6.00 mm^{-1} para T5, T6 y T13, respectivamente. A diferencia de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T7, T8, T9, T10, T11, T12 y T14 que mostraron IES significativamente menores a las del control ($p < 0.05$) (tabla 10), tuvieron un mayor Nsr.

La fuerza de ruptura estructural (Fsr) indica la cantidad de energía necesaria para romper de cada burbuja de aire durante el proceso de extrusión. Los valores de Fsr tuvieron un rango de 0.49 a 0.89 N (Tabla 12), todos estos tratamientos fueron mayores a las del control ($p < 0.05$). En la mayor parte de extruidos este parámetro no varió estadísticamente, por lo que fueron semejantes entre sí y los valores oscilaron en alrededor de ~ 0.55 N ($p > 0.05$).

La fuerza de puntura (F) es un parámetro el cual indica la resistencia del extruido en relación con la dureza (Nascimento et al., 2017). Los valores de F oscilaron entre 0.457 a 3.338 N (Tabla 12) y todos los valores de los extruidos enriquecidos fueron mayores al control el cual tuvo un valor de 0.059 N ($p < 0.05$), teniendo como mejores tratamientos expandidos T5, T6 y T13 (0.457, 1.063 y 1.343 N, respectivamente), destacando únicamente el T5 por ser estadísticamente semejante al control ($p > 0.05$). Mientras que, los extruidos T1, T2, T3, T4, T7, T8, T9, T10, T11, T12 y T14 que mostraron una expansión significativamente menor en IES al control ($p < 0.05$) como se puede observar en la Tabla 10. Estos en su mayoría fueron estadísticamente semejantes entre sí y mostraron valores de F

de ~1.40 N. Cabe resaltar, que el tratamiento T4 a pesar de tener bajo IES (13.89), este extruido fue aquel que tuvo menor valor de F que fue 0.92 N,

El trabajo de crocancia denotado por las siglas Wc es la relación entre la fuerza de puntura (F) y la frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr) (Van Hecke et al., 1998). Este parámetro en los extruidos enriquecidos oscilo entre 0.144 a 0.276 N.mm (Tabla 12), siendo todos ellos mayores al control ($p < 0.05$), el cual que tuvo 0.03 N.mm. Cabe resaltar que la mayor parte de los extruidos en este parámetro fueron estadísticamente semejantes con un valor promedio de ~0.18 N.mm ($p > 0.05$).

Tabla 12. Resultados de análisis de textura.

Tratamientos	Diseño experimental				Textura			
	HIT (Z ₁ , %)	NPM (Z ₂ , %)	Humedad (X ₁ , %)	SS (X ₂ , rpm)	Nsr (mm ⁻¹)	Fsr (N)	F (N)	Wc (N.mm)
Control					2.02 ± 0.47	0.17 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.03 ± 0.00
T1	6.1	3.9	17	324	7.36 ± 1.83 c;α	0.89 ± 0.20 a;α	1.76 ± 1.26 c;α	0.16 ± 0.05 d;α
T2	10	0	15	324	7.05 ± 1.79 c;α	0.66 ± 0.12 c;α	1.24 ± 0.47 c;α	0.18 ± 0.04 d;α
T3	7.9	2.1	15	324	8.71 ± 0.72 b;α	0.57 ± 0.05 c;α	1.38 ± 0.19 c;α	0.16 ± 0.02 d;α
T4	6.1	3.9	15	324	10.18 ± 0.85 a;α	0.59 ± 0.05 c;α	0.92 ± 0.29 d;α	0.18 ± 0.03 d;α
T5	9.6	0.4	17	396	7.32 ± 1.93 c;α	0.75 ± 0.16 b;α	0.46 ± 0.17 d	0.23 ± 0.05 c;α
T6	9.4	0.6	15	396	8.24 ± 0.77 b;α	0.58 ± 0.09 c;α	1.06 ± 0.28 c;α	0.14 ± 0.02 d;α
T7	8.3	1.7	15	396	5.57 ± 1.25 d;α	0.74 ± 0.12 b;α	1.22 ± 0.47 c;α	0.15 ± 0.02 d;α
T8	7.6	2.4	15	396	6.90 ± 0.58 c;α	0.51 ± 0.07 c;α	1.18 ± 0.16 c;α	0.17 ± 0.02 d;α
T9	9.1	0.9	13	360	10.11 ± 0.39 a;α	0.59 ± 0.05 c;α	2.13 ± 0.49 b;α	0.21 ± 0.04 c;α
T10	9	1	13	360	9.76 ± 0.68 a;α	0.49 ± 0.06 c;α	1.40 ± 0.24 c;α	0.18 ± 0.034 d;α
T11	6.8	3.2	13	360	7.81 ± 0.61 c;α	0.59 ± 0.06 c;α	3.34 ± 0.66 a;α	0.41 ± 0.053 a;α
T12	9.5	0.5	17	324	4.28 ± 0.84 e;α	0.70 ± 0.17 b;α	1.27 ± 0.41 c;α	0.28 ± 0.061 b;α
T13	7.6	2.4	15	396	6.00 ± 0.54 d;α	0.72 ± 0.12 b;α	1.34 ± 0.16 c;α	0.21 ± 0.01 c;α
T14	6.8	3.2	13	360	7.74 ± 0.40 c;α	0.58 ± 0.03 c;α	2.13 ± 0.27 b;α	0.26 ± 0.02 b;α

HIT: harina integral de tarwi, NPM: nuez de pecana molida, SS: velocidad del tornillo, Nsr: frecuencia espacial de ruptura, Fsr: fuerza de ruptura estructural, F: fuerza de puntura, WC: trabajo de crocancia (T1–T14; p < 0.05). Resultados que representan la media ± SD (n = 10). Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas (T1–T14) Tukey (p<0.05) y la letra griega (α) indica no hay diferencias entre los extruidos enriquecidos con el control mediante el test Dunnett (p>0.05)

4.1.4 Modelos de regresión de las variables de respuesta generados mediante el diseño d-óptimo.

Todos los modelos de regresión para las variables de expansión tales como densidad aparente (DA), índice de expansión seccional (IES), índice de expansión longitudinal (IEL) e índice de expansión volumétrico (IEV) fueron lineales y significativos ($p < 0.05$) (Tabla 13), los cuales tuvieron coeficientes de determinación ajustados (R^2_{ajust}) entre 0.96 a 0.99, los cuales tuvieron muy buenos ajustes del modelo de regresión.

En las variables de hidratación de índice de absorción (IAA) y solubilidad en agua (ISA) los modelos fueron lineal y cuadrático, respectivamente. Las variables texturales como frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr), la fuerza de ruptura estructural (Fsr), fuerza de puntura (F) y trabajo de crocancia (Wc), los modelos fueron únicamente lineales.

Tabla 13. Modelos de regresión para la predicción para las propiedades de expansión, hidratación y textura de los extruidos enriquecidos.

Variable	Ecuación matemática	Modelo	Significancia del modelo (p-value)	R ² ajust
<i>Expansión</i>				
IES	$-1.83Z_1 - 2.04Z_2 + 1.44X_1 + 0.034X_2$	Lineal	0.0	0.99
DA	$0.015Z_1 + 0.015Z_2 - 0.00076X_1 - 9.15E-5X_2$	Lineal	0.0	0.99
IEL	$0.69Z_1 + 0.76Z_2 + 0.029X_1 - 0.0074X_2$	Lineal	0.00000005	0.96
IEV	$-4.22Z_1 - 4.67Z_2 + 6.87X_1 + 0.038X_2$	Lineal	0.00000003	0.96
<i>Hidratación</i>				
IAA	$0.53Z_1 + 0.58Z_2 + 0.0060X_1 - 0.0016X_2$	Lineal	0.0	0.99
ISA	$14.50Z_1 + 15.00Z_2 - 18.15X_1 + 0.02X_2 + 0.59X_1X_2$	Cuadrática	0.0	0.99
<i>Textura</i>				
NSR	$0.74Z_1 + 12.50Z_2 - 0.95X_1 - 0.29X_2 + 0.03Z_1X_2$	Lineal	0.0	0.98
FSR	$-0.02Z_1 - 0.007Z_2 + 0.05X_1 + 0.0001X_2$	Lineal	0.0	0.98
F	$0.68Z_1 + 0.83Z_2 - 0.28X_1 - 0.003X_2$	Lineal	0.00002	0.88
WC	$0.04Z_1 + 0.05Z_2 - 0.01X_1 - 0.0001X_2$	Lineal	0.00003	0.87

Z₁ = Harina integral de tarwi (HIT), Z₂ = Nuez de pecana molida (NPM), X₁ = % Humedad, X₂ = velocidad de rotación del tornillo (SS, rpm).

4.2 DISCUSIONES

4.2.1 Propiedades de expansión.

Los resultados de IES en los extruidos expandidos fueron estadísticamente semejantes al control ($p < 0.05$) (Tabla 4). Tales valores fueron mayores a los reportados por Choi et al. (2021); Gasparre et al. (2020) los cuales incorporaron proteína de soja y tiger nuts al 10% en extruidos a base de arroz. Mientras que, las muestras que obtuvieron una expansión media fueron los tratamientos T1 (16.65), T8 (16.57), T12 (16.9), T2 (15.37) y T7 (15.4), dichos tratamientos fueron estadísticamente menores al control ($p < 0.05$). Los tratamientos más relevantes fueron el T1 y T12, aquellos tratamientos tuvieron humedades (17%) y rotaciones de tornillos (324 rpm) iguales.

Sin embargo, en comparación con las muestras mejores expandidas, la velocidad de rotación fue menor, lo que tuvo un efecto negativo en IES, ya que el aumento de la velocidad del tornillo generó mayor formación de burbujas, lo que condujo a una estructura más porosa. Tales hallazgos fueron similares a los descrito por Sahu et al. (2022a), quien obtuvo un alimento extrudido a base de maíz, mijo africano y ñame, con una temperatura de cilindro igual a la nuestra (100 a 150 °C). Otro tratamiento que destaco en la expansión fue el T2, debido a que está compuesto por el mayor porcentaje HIT (10%) y sin inclusión de NPM (0%), esto evidencia que el incremento de proteína en el extruido genera una mayor densidad afectando así la expansión (IES). Resultados similares lo obtuvo Martin et al. (2022), quien incorporo aislado de proteína de cuatro especies de legumbres (habas, lenteja, azul y blanca) y harinas de tres pseudocereales diferentes (quinua, amaranto, trigo sarraceno).

Los resultados de DA de los mejores prototipos en términos de expansión fueron semejantes al extruido óptimo a base de maní, alforjón y arroz obtenido por Li et al. (2019). Además, estos fueron menores a los extruidos obtenidos por Muñoz-

Llandes et al. (2023); Sahu et al. (2022a); Sobowale et al. (2021) cuando incorporaron *Lupinus agustifolius* germinado, una mezcla de maíz-mijo - ñame - proteína de soya y mijo integral – nuez africana - almidón de maíz para generar snacks nutritivos. Sin embargo, nuestros resultados obtenidos por DA fueron mayores a los extruidos a base de trigo y maíz integral con adición de castaña de indias obtenidos por Allai et al. (2022), esto indica que el efecto del alto contenido de proteína y fibra suministrado por el tarwi provocó una reducción de la expansión de nuestros prototipos.

Respecto a los extruidos de menor densidad los resultados fueron similares a los reportados por Sahu and Patel (2021) el cual incorporo maíz, mijo africano, soja desgrasada y ñame. Además, cabe señalar que otro parámetro importante que afecto al DA fue la humedad, la cual tuvo un efecto negativo al incremento de este parámetro, lo que provocó una mayor gelatinización y mejor expansión. Resultados similares obtuvo Neda Hashemi et al. (2017), quien elaboró un extruido a base de polvo de almendras desgrasada y harina de maíz.

Los valores de IEL de los extruidos enriquecidos con HIT y NPM fueron mayores a los obtenidos por Allai et al. (2022); Choi et al. (2021); da Silva et al. (2014) quienes incorporaron castaña de indias, proteína de soya y frejol carioca en extruidos a base de cereales integrales, arroz y maíz. Cabe resaltar que el comportamiento de los tratamientos T5 y T12 que tuvieron composiciones similares, teniendo solo como diferencia la velocidad de tornillo (396 y 324 rpm), provocó un mayor tiempo de cocción para el T5 dentro del extrusor, lo que causó una disminución de la viscosidad de la masa, teniendo así, una mayor velocidad de salida e incrementando de esta manera el IEL, mismo efecto fue reportado por Mezreb et al. (2003). Asimismo, el parámetro que favoreció la expansión longitudinal del T4 fue el contenido NPM, tal como se visualiza en el Anexo 5c. Resultados similares los obtuvo Sharifi et al. (2021), al incorporar harina de soja y de maíz a su producto extruido.

Mientras que en el IEV, los tratamientos T5 y T12 que tuvieron los mayores valores de esta propiedad, además ambas muestras tuvieron valores de IEV superiores en comparación de Sharifi et al. (2021), quien elaboró un extruido a base de maíz con harina de soya.

4.2.2 Propiedades de hidratación

Los valores del IAA en los extruidos enriquecidos con HIT y NPM fueron mayores a los valores reportados por Muñoz-Llandes et al. (2023), el cual elaboró extruidos compuestos por *Lupinus agosifolius* germinado con almidón de maíz, utilizando una velocidad de tornillo (396 rpm), que causó un efecto de mayor ruptura de la estructura supramolecular del almidón, provocando una mayor cantidad de grupos hidrofílicos, lo cual permitieron una mayor absorción e interacción con las moléculas de agua (Xu et al., 2023). Además, los resultados obtenidos de IAA fueron menores a los obtenidos por Allai et al. (2023), quien proceso extruidos a base de granos integrales con adición de castaña de india. Esto indica que, nuestros prototipos mostraron menor capacidad de establecer interacción con las moléculas de agua, dado a la menor despolimerización del almidón, sugiriendo así una posiblemente menor digestibilidad del almidón.

Mientras que, los tratamientos T4 (5.27) y T14 (5.16) a pesar de que no tuvieron una buena expansión en IES, fueron estadísticamente semejantes en IAA al control ($p>0.05$). Aquellos tratamientos tuvieron composición de harinas similares, pero diferentes parámetros de proceso, demostrando que el contenido de humedad (15 y 14%) y rpm (324 y 360 rpm) causaron una mayor disrupción del almidón, este hallazgo está de acuerdo con Piayura and Itthivadhanapong (2023), quien elaboró un extruido a base de harina de arroz y harina de coco deshidratado.

Respecto a ISA, los tratamientos T5, T6 y T13 tuvieron valores de 18.43, 15,25 y 18.13, estos extruidos con la mejor expansión generaron altos ISA en

comparación de los extruidos obtenidos por Awol et al. (2024); Muñoz-Llandes et al. (2023), quienes incorporaron lupinus germinado con almidón de maíz y teff y soya, respectivamente. El primer trabajo tuvo parámetros similares al nuestro (152 °C y 16% de humedad) y el segundo trabajó con temperaturas de proceso menores entre (122.4 a 137.6 °C y una humedad de 9.5 a 12.5).

Sin embargo, los tratamientos de menor expansión mostraron valores de ISA menor, en donde se destacó el tratamiento T4 (21,06) que tuvo parámetros de proceso de 13% de humedad y 360 rpm de velocidad de tornillo junto a los porcentajes de HIT (6.8%), los cuales tuvieron un efecto en el ISA. No obstante, nuestros resultados fueron similares a los de Sahu et al. (2022a) quien elaboró un extruido a base de maíz y proteína de soja.

4.2.3 TEXTURA

Entre los resultados de (Nsr) el tratamiento T13 fue aquel que tuvo menor número de picos o burbujas internas por cada milímetro en comparación a T5 y T6 como se puede visualizar en la figura 4. Esto dado a su mayor contenido proteico y de fibra suministrado por HIT y su reducido contenido de grasa conferido por NPM. Mientras que, el tratamiento T6 presentó significativamente el mayor número de picos entre estos extruidos de mejor expansión ($p < 0.05$).

El comportamiento de los tratamientos que tuvieron un mayor Nsr se debe a la mezcla de materias primas utilizadas en la extrusión (HIT y NPM), el cual crea extruidos menos expandidos y más duros como se puede observar en la figura 4, sin embargo, el tratamiento T12 que tuvo valores de 4.28 mm^{-1} , a pesar de tener un porcentaje de HIT de 9.5%, fue el que presentó el valor más bajo de Nsr, en comparación con el tratamiento T13, dado a los parámetros de proceso y el porcentaje de las harinas que causaron la disminución de las burbujas internas en el extruido.

Los menores valores de Fsr correspondieron al tratamiento T6 entre todos los extruidos enriquecidos con mejor expansión ($p < 0.05$), esto dado a la influencia de la humedad de 15%, que generó extruidos con estructura más frágil, esto atribuido al contenido de proteína y alto cizallamiento del tornillo causado por la baja humedad (Devi et al., 2013). El trabajo realizado por García-Segovia et al. (2020) indica que mientras mayor sea el contenido de agua los extruidos serán más duros.

El tratamiento que destacó en la fuerza de puntura (F) fue el T5, el cual tuvo un ligero aumento no relevante en la fuerza de punción. Tales valores obtenidos de T5 a pesar de tener 9.6 de HIT coinciden con los reportados por Devi et al. (2013), quien elaboró un extruido a base de harinas de sorgo, maíz (sin germen) y soya (desgrasada) combinado con aislado de proteína de suero, el cual al incorporar mayores niveles de proteína la fuerza de punción disminuyó, los mismos que fueron menores al control. Por otro lado, destaca el tratamiento T4 a pesar de tener bajo IES (13.89), este extruido fue aquel que tuvo menor valor de F que fue de 0.92 N, esto indica que tuvo una baja dureza instrumental. Este comportamiento se debió al efecto simultáneo de la baja proporción de inclusión de HIT, humedad intermedia de 15% y baja velocidad de rotación de tornillo de 324 rpm. Esta combinación de parámetros tuvo un efecto despolimerizante de la estructura del tratamiento T4, lo que condujo a baja dureza expresada en fuerza de punción (F).

Respecto al trabajo de crocancia (Wc), el tratamiento T6 fue aquel que tuvo el menor Wc de 0.144 N.mm ($p < 0.05$) y por ser uno de los mejores tratamientos con buena expansión en IES, nuestros resultados obtenidos fueron mayores a los reportados por Devi et al. (2013).

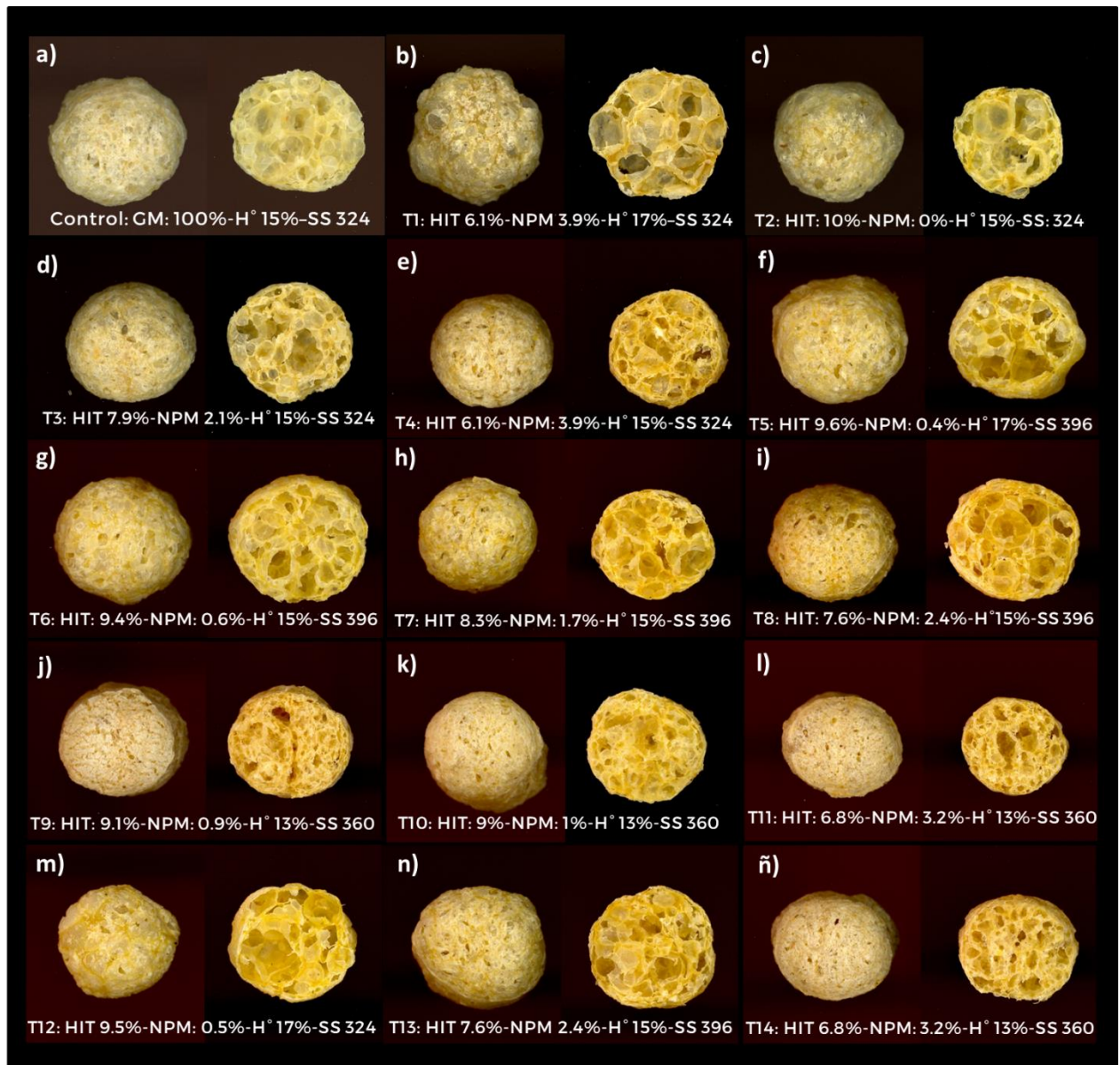


Figura 5. Captura de imágenes de los extruidos expandidos. (a) control a base de 100% grit y (b-ñ) extruidos enriquecidos con harina integral de tarwi (HIT) y pecana molida (NPM).

4.2.4 Modelos de regresión de las variables de respuesta generados mediante el diseño d-óptimo.

En las ecuaciones de los modelos de regresión para las variables de expansión generadas (Tabla 13), el factor HIT tuvo una influencia negativa en el índice de expansión seccional (IES) y volumétrico (IEV), mientras que dicho factor tuvo un efecto positivo en la densidad aparente (DA) e índice de expansión longitudinal (IEL). Respecto al factor NPM, este mostró una influencia positiva en la DA y IEL, no obstante, en el IES y IEV presentó impacto negativo. El factor X_1 influyó negativamente únicamente en la DA, mientras que, en el IES, IEL y IEV tuvo un efecto positivo. Mientras que, el factor X_2 influyó de forma negativa en la DA y IEL, sin embargo, este factor tuvo un efecto positivo en el IES y IEV. Tales comportamientos de IES y IEV fueron diferentes a los reportados por Toledo et al. (2020), en donde obtuvo modelos cuadráticos para estas variables respuesta. Mientras que, IEL y DA de dicho autor coincidieron con nuestros modelos lineales, sin embargo, en IEL su coeficiente de determinación (R^2) no fue el ajustado y al mismo tiempo fue menor que el nuestro, esto indica que el modelo generado en para IEL tuvo mejor ajuste y mayor precisión.

En las variables de hidratación de índice de absorción (IAA) y solubilidad en agua (ISA) los modelos de ambas variables fueron significativas ($p < 0.05$) y tuvieron muy buenos ajustes del modelo ($R^2_{\text{adjust}} = 0.99$). Dichos resultados obtenidos tuvieron mejores ajustes que los reportados por Sahu et al. (2022a) en extruidos enriquecidos con proteína de soya.

Finalmente, únicamente modelos lineales se obtuvieron a partir de las variables texturales como frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr), la fuerza de ruptura estructural (Fsr), fuerza de puntura (F) y trabajo de crocancia (Wc), las cuales todas fueron significativas y tuvieron buenos ajustes del modelo R^2_{adjust} entre 0.87 a 0.98.

APÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las variables de proceso tales como la humedad y la velocidad de rotación del tornillo, tuvieron un impacto en las propiedades físicas de expansión, siendo la humedad el parámetro de mayor influencia, el cual favoreció el índice de expansión seccional (IES) y volumétrico (IEV), no obstante, la humedad tuvo un efecto negativo en el índice de absorción (IAA) y solubilidad (ISA) en agua. Mientras que la velocidad de rotación de tornillo no tuvo efecto significativo en la expansión de los extruidos.
- La inclusión de harina integral de tarwi (HIT) y pecana molida (NPM) en los extruidos, ambos tuvieron un efecto negativo en el índice de expansión seccional (IES) y volumétrico (IEV), comportamiento inverso se observó en la densidad aparente (BD). Mientras que HIT y NPM incrementaron en los índices de absorción (IAA) y solubilidad (ISA) en agua.
- Las humedades óptimas de proceso para alcanzar extruidos con la mejor expansión fueron de 15 y 17% de humedad junto a 396 rpm de velocidad de rotación de tornillo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Dado a que las inclusiones de tarwi y pecana fueron moderadas, estas se pueden en experimentos futuros incrementar con la finalidad de producir extruidos con mayores niveles de proteína y bioactivos.
- Se recomienda en ensayos futuros realizar análisis sensorial direccionado en la aceptabilidad de extruidos con alguna cobertura azucarada para simular condiciones reales de consumo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdullahi, M., Yelmi, B., & Dendegh, T. (2021). Extrusion Technology: A Tool for Value Addition to Food By-Products and Wastes. *Archives of Current Research International*, 21(3), 39-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/acri/2021/v21i330236>
- Alam, M., 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/https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Allai, F. M., Azad, Z., Dar, B., & 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*, 34(3), 105-123. <https://doi.org/https://doi.org/10.15586/ijfs.v34i3.2238>
- Allai, F. M., Junaid, P. M., Azad, Z., Gul, K., Dar, B., Siddiqui, S. A., & Loenzo, J. M. (2023). Impact of moisture content on microstructural, thermal, and techno-functional characteristics of extruded whole-grain-based breakfast cereal enriched with Indian horse chestnut flour. *Food Chemistry: X*, 20, 100959. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100959>
- Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P., & Harper, J. M. (1988). A General Model for Expansion of Extruded Products [<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x>]. *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x>
- Alvarez, J. C. M. (2020). Engineering aspects of extrusion: Extrusion processing as a multiple-input and multiple-output system. In *Extrusion cooking* (pp. 29-71). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00002-X>
- Atanasov, A. G., Sabharanjak, S. M., Zengin, G., Mollica, A., Szostak, A., Simirgiotis, M., Huminiecki, Ł., Horbanczuk, O. K., Nabavi, S. M., & Mocan, A. (2018). Pecan nuts: A review of reported bioactivities and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 246-257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.019>
- 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). <https://doi.org/10.3390/foods11192967>
- Awol, S. J., Kidane, S. W., & Bultosa, G. (2024). The effect of extrusion condition and blend proportion on the physicochemical and sensory attributes of teff-soybean composite flour gluten free extrudates. *Measurement: Food*, 13, 100120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100120>
- Beltrán, M. (2011). Tema 4. Extrusión. *Tecnología de los Polímeros*.

- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). Tecnología de polímeros. https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jxilUUn4_QAC&oi=fnd&pg=PA15&dq=Tecnolog%C3%ADa+de+pol%C3%ADmeros+beltran&ots=eDKz6AnwuD&sig=2_GHM3oRQH2YgWCdVxm_NqQ7rv8
- Berrios, J. (2010). Extrusion cooking: Legume pulses. *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, 2nd ed.*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 453-464. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9070958>
- Berru, L. B., Glorio-Paulet, P., Basso, C., Scarafoni, A., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2021). Chemical composition, tocopherol and carotenoid content of seeds from different Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) ecotypes. *Plant Foods for Human Nutrition, 76*(1), 98-104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11130-021-00880-0>
- Blandino, M., Bresciani, A., Locatelli, M., Loscalzo, M., Travaglia, F., Vanara, F., & Marti, A. (2023). Pulse type and extrusion conditions affect phenolic profile and physical properties of extruded products [Article]. *Food Chemistry, 403*, Article 134369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134369>
- Bokić, J., Kojić, J., Krulj, J., Pezo, L., Banjac, V., Škrobot, D., Tumbas Šaponjac, V., Vidosavljević, S., Stojkov, V., & Ilić, N. (2022). Development of a novel rice-based snack enriched with chicory root: physicochemical and sensory properties. *Foods, 11*(16), 2393. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11162393>
- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion processing technology: Food and non-food biomaterials*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118541685>
- Bouvier, J., Bonneville, R., & Goullieux, A. (1997). Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. *Agro Food Industry Hi-Tech, 8*(1), 16-19.
- 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/https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Brishti, F. H., Chay, S. Y., Muhammad, K., Ismail-Fitry, M. R., Zarei, M., & Saari, N. (2021). Texturized mung bean protein as a sustainable food source: Effects of extrusion on its physical, textural and protein quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 67*. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102591>
- Castellanos-Gallo, L., Galicia-Garcia, T., Estrada-Moreno, I., Mendoza-Duarte, M., Marquez-Melendez, R., Portillo-Arroyo, B., Soto-Figueroa, C., Leal-Ramos, Y., & Sanchez-Aldana, D. (2019). Development of an Expanded Snack of Rice Starch Enriched with Amaranth by Extrusion Process. *Molecules, 24*(13). <https://doi.org/10.3390/molecules24132430>
- Choi, O.-J., Zhao, C.-C., Ameer, K., & Eun, J.-B. (2021). Effects of soy flour types and extrusion-cooking conditions on physicochemical, microstructural and sensory characteristics of puffed rice snack base. *International journal of food engineering, 17*(6), 473-483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0157>

- Collantes, N. F., Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., Chávez, D. W. H., Comettant-Rabanal, R., Bernardo, C. O., & Queiroz, V. A. V. (2022a). Effect of sucrose on the extrusion of varied whole sorghum grits genotypes. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17204>
- Collantes, N. F., Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., Chávez, D. W. H., Comettant-Rabanal, R., Bernardo, C. O., & Queiroz, V. A. V. (2022b). Effect of sucrose on the extrusion of varied whole sorghum grits genotypes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.17204>
- Costantini, M., Sabovics, M., Galoburda, R., Kince, T., Straumite, E., Summo, C., & Pasqualone, A. (2021). Effect of Die Configuration on the Physico-Chemical Properties, Anti-Nutritional Compounds, and Sensory Features of Legume-Based Extruded Snacks. *Foods*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/foods10123015>
- Czubinski, J., Grygier, A., & Siger, A. (2021). Lupinus mutabilis seed composition and its comparison with other lupin species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103875>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.031>
- De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K., & Severini, C. (2012). Starch–lipid complex formation during extrusion-cooking of model system (rice starch and oleic acid) and real food (rice starch and pistachio nut flour). *European Food Research and Technology*, 234, 517-525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00217-012-1662-6>
- Delgado-Soriano, V., Cortés-Avendaño, P., Guevara-Pérez, A., & Vilchez-Perales, C. (2020). Características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 263-273. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.660>
- Devi, N. L., Shobha, S., Tang, X., Shaur, S. A., Dogan, H., & Alavi, S. (2013). Development of protein-rich sorghum-based expanded snacks using extrusion technology. *International Journal of Food Properties*, 16(2), 263-276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10942912.2011.551865>
- Fan, J., Mitchell, J. R., & Blanshard, J. M. V. (1996). The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. The role of the glass transition in determining product density and shape [<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.22-317.x>]. *International Journal of Food Science & Technology*, 31(1), 55-65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.22-317.x>
- Fernández Mejía, J. L., & Guivar Delgado, C. L. (2020). Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de: arveja (*Pisum sativum*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus Mutabilis*). <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12893/8610>

- Ganjyal, G. M. (2020). *Extrusion cooking: cereal grains processing*. Elsevier.
- 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/https://doi.org/10.1007/s00217-020-03441-y>
- Gasparre, N., Pan, J., da Silva Alves, P. L., Rosell, C. M., & De J. Berrios, J. (2020). Tiger nut (*Cyperus esculentus*) as a functional ingredient in gluten-free extruded snacks. *Foods*, 9(12), 1770. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9121770>
- Gojiya, D., Davara, P., Gohil, V., & Dabhi, M. (2022). Process standardization for formulating protein-augmented corn-based extrudates using defatted sesame flour (DSF): Sesame oil industry waste valorization. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17203>
- Gulati, P., Brahma, S., & Rose, D. J. (2020). Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. In *Extrusion cooking* (pp. 415-443). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00013-4>
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking: technologies and applications* (Vol. 61). Woodhead publishing.
- Guy, R. (2002). *Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones*. ACRIBIA.
- Harper, J. M. (1990). *Extrusion of foods* (Vol. 1). CRC Press Boca Raton, FL, USA.
- Hashemi, N., Mortazavi, S. A., Milani, E., & Tabatabai Yazdi, F. (2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour [Article]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), Article e13210. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13210>
- Hashemi, N., Mortazavi, S. A., Milani, E., & Tabatabai Yazdi, F. (2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.13210>
- Karun, G., Sukumar, A., Nagamianiammai, G., & Preetha, R. (2023). Development of multigrain ready-to-eat extruded snack and process parameter optimization using response surface methodology [Article]. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 947-957. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05390-8>
- Li, H., Xiong, Z., & Li, X. (2019). Optimization of the extrusion process for the development of extruded snacks using peanut, buckwheat, and rice blend. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14264>

- Li, Y., Wang, J., Wang, K., Lyu, S., Ren, L., Huang, C., Pei, D., Xing, Y., Wang, Y., & Xu, Y. (2022). Comparison analysis of widely-targeted metabolomics revealed the variation of potential astringent ingredients and their dynamic accumulation in the seed coats of both *Carya cathayensis* and *Carya illinoensis*. *Food chemistry*, 374, 131688.
- Lisset, A., Zuñillaga, M., Ángel, M., Cabrera-Ramírez, Á., Oscar, M., Barrón-García, O., Alexa, L., Gonzalez, I., Sánchez, E., Velazquez, G., Guadalupe, D., Mendez-Montealvo, G., & Marcela, G. (2020). *Efecto de la temperatura sobre el contenido de almidón resistente en almidón de maíz tratado por ciclos de calentamiento-enfriamiento por extrusión*.
- Luo, S., Chan, E., Masatcioglu, M. T., Erkinbaev, C., Paliwal, J., & Koksel, F. (2020). Effects of extrusion conditions and nitrogen injection on physical, mechanical, and microstructural properties of red lentil puffed snacks. *Food and Bioprocess Processing*, 121, 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.02.002>
- 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>
- McKay, D. L., Eliasziw, M., Chen, C. O., & Blumberg, J. B. (2018). A pecan-rich diet improves cardiometabolic risk factors in overweight and obese adults: a randomized controlled trial. *Nutrients*, 10(3), 339. <https://doi.org/10.3390/nu10030339>
- Meng, A., Li, F., Chen, F., Luan, B., Sun, T., & Zhang, B. (2023). Relationship between the physicochemical properties of soybean protein isolate and its extrudate based on high-moisture extrusion torque. *Journal of texture studies*, 54(3), 420-427. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12731>
- Mezreb, K., Goullieux, A., Ralainirina, R., & Queneudec, M. (2003). Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *Journal of Food Engineering*, 57(2), 145-152. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00292-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00292-3)
- 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>
- Nascimento, T. A., Calado, V., & Carvalho, C. W. (2017). Effect of Brewer's spent grain and temperature on physical properties of expanded extrudates from rice. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.035>
- Navale, S. A., Swami, S. B., & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: a review [Article]. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66-80.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85017530116&partnerID=40&md5=e38e65ca50dde26aca2cd713fea2c9a7>

- Offiah, V., Kontogiorgos, V., & Falade, K. O. (2019). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(18), 2979-2998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>
- Okafor, G. I., & Ugwu, F. C. (2014). Production and evaluation of cold extruded and baked ready-to-eat snacks from blends of breadfruit (*Treculia africana*), cashewnut (*Anacardium occidentale*) and coconut (*Cocos nucifera*). *Food Science and Quality Management*, 23, 65-77. <https://doi.org/https://core.ac.uk/reader/234683750>
- Owusu-Ansah, J., Van de Voort, F., & Stanley, D. (1982). Effect of extrusion variables on product moisture and extrusion crystallinity of corn starch. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 15(4), 257-261. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(82\)72608-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0315-5463(82)72608-2)
- Öz, M., Ucak, İ., & Nayik, G. A. (2022). PUFA and MUFA. In *Nutraceuticals and health care* (pp. 199-215). Elsevier.
- Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumng, 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/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.010>
- Paraman, I., Sharif, M. K., Supriyadi, S., & Rizvi, S. S. (2015). Agro-food industry byproducts into value-added extruded foods. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 78-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.07.003>
- Pardhi, S., Singh, B., Nayik, G. A., & Dar, B. (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.
- Pérez-Ramos, K., Elías-Peñafiel, C., & Delgado-Soriano, V. (2017). Bocado con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>
- 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/https://doi.org/10.1002/jsfa.2661>
- Piayura, S., & Itthivadhanapong, P. (2023). The effects of feed moisture and dried coconut meal content on the physicochemical, functional, and sensory properties of gluten-free Riceberry rice flour-based extruded snacks. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1194594. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1194594>
- Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L. R., Phillips, R. D., & Resurreccion, A. V. A. (1995). Modelling the effects of peanut flour, feed moisture content, and extrusion

- temperature on physical properties of an extruded snack product. *International Journal of Food Science & Technology*, 30(1), 37-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb01943.x>
- Rhee, K. S., Kim, E. S., Kim, B. K., Jung, B. M., & Rhee, K. C. (2004). EXTRUSION OF MINCED CATFISH WITH CORN AND DEFATTED SOY FLOURS FOR SNACK FOODS [<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.23069.x>]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(4), 288-301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.23069.x>
- Ribeiro, S. R., Klein, B., Ribeiro, Q. M., Dos Santos, I. D., Genro, A. L. G., de Freitas Ferreira, D., Hamann, J. J., Barin, J. S., Cichoski, A. J., & Fronza, D. (2020). Chemical composition and oxidative stability of eleven pecan cultivars produced in southern Brazil. *Food Research International*, 136, 109596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109596>
- Rodriguez-Ortega, D., Zambrano, J. L., Pereira-Lorenzo, S., Torres, A., & Murillo, A. (2023). Lupinus mutabilis Breeding in the Andes of Ecuador, Peru, and Bolivia: A Review. *Agronomy*, 14(1), 94. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy14010094>
- Ruiz-López, M. A., Barrientos-Ramírez, L., García-López, P. M., Valdés-Miramontes, E. H., Zamora-Natera, J. F., Rodríguez-Macias, R., Salcedo-Pérez, E., Bañuelos-Pineda, J., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Nutritional and bioactive compounds in mexican lupin beans species: A mini-review. *Nutrients*, 11(8), 1785. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu11081785>
- Sahu, C., & Patel, S. (2021). Optimization of maize–millet based soy fortified composite flour for preparation of RTE extruded products using D-optimal mixture design. *Journal of Food Science and Technology*, 58(7), 2651-2660. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13197-020-04771-1>
- Sahu, C., Patel, S., & Tripathi, A. (2022a). Effect of extrusion parameters on physical and functional quality of soy protein enriched maize based extruded snack. *Applied Food Research*, 2(1), 100072. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100072>
- Sahu, C., Patel, S., & Tripathi, A. K. (2022b). Effect of extrusion parameters on physical and functional quality of soy protein enriched maize based extruded snack. *Applied Food Research*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100072>
- Salvador, A., Podestá, R., Block, J., & Ferreira, S. (2016). Increasing the value of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] cake by means of oil extraction and antioxidant activity evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 116, 215-222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.05.046>
- Santacruz, S. (2022). Preparation of an expanded extruded salty snack based on lupin (*Lupinus mutabilis*) and corn. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n3.100538>
- Shah, F. U. H., Sharif, M. K., Ahmad, Z., Amjad, A., Javed, M. S., Suleman, R., Sattar, D. E. S., Amir, M., & Anwar, M. J. (2022). Nutritional characterization of the extrusion-processed micronutrient-fortified corn snacks enriched with protein and dietary fiber

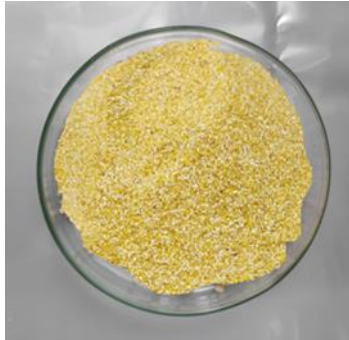
- [Article]. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 1062616.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1062616>
- Sharifi, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Development of healthy extruded maize snacks; Effects of soybean flour and feed moisture content. *International journal of food science & technology*, 56(7), 3179-3187.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.14842>
- Shelar, G. A., & Gaikwad, S. T. (2019). Extrusion in food processing: An overview. *The Pharma Innovation Journal*, 8(2), 562-568.
- Singh, B., Sekhon, K., & 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/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.042>
- Sobowale, S. S., Kewuyemi, Y. O., & Olayanju, A. T. (2021). Process optimization of extrusion variables and effects on some quality and sensory characteristics of extruded snacks from whole pearl millet-based flour. *SN Applied Sciences*, 3, 1-12.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42452-021-04808-w>
- Tapia, M. E. (2015). El tarwi, lupino andino. *Tarwi, tauri o chocho*, 1-108.
- Temgire, S., Borah, A., Kumthekar, S., & Idate, A. (2021). Recent trends in ready to eat/cook food products. *The Pharma Innovation Journal*, 10(5), 211-217.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5c.6207>
- Thienhirun, S., & Chung, S. (2018). Consumer attitudes and preferences toward cross-cultural ready-to-eat (RTE) food. *Journal of Food Products Marketing*, 24(1), 56-79.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10454446.2016.1266544>
- Toledo, V. C., Carvalho, C. W., Vargas-Solórzano, J. W., Ascheri, J. L., & Comettant-Rabanal, R. (2020). Extrusion cooking of gluten-free whole grain flour blends. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13303.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.13303>
- Unsaeng, K., Hannanta-anan, P., & Phongpipatpong, M. (2019). Effects of extrusion variables on extrudate characteristics from corn-based enriched with soybean residue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 301(1), 012057.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/301/1/012057>
- Valderrama-Amasifuen, F., Arteaga, H., Flores Perez, A. E., Obregón, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2021). Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.569>
- Van Hecke, E., Allaf, K., & Bouvier, J. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products part II: Mechanical properties in puncture. *Journal of texture studies*, 29(6), 617-632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00189.x>
- Vargas-Solórzano, J. W., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Ascheri, J. L. R., & Queiroz, V. A. V. (2014). Physicochemical properties of expanded extrudates from colored

- sorghum genotypes. *Food Research International*, 55, 37-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.023>
- Wójtowicz, A., Lisiecka, K., Mitrus, M., Nowak, G., Golian, M., Oniszczyk, A., Kasprzak, K., Widelska, G., Oniszczyk, T., & Combrzynski, M. (2019). Physical properties and texture of gluten-free snacks supplemented with selected fruit additions. *International Agrophysics*, 33(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31545/intagr/112563>
- Wolko, B., Clements, J. C., Naganowska, B., Nelson, M. N., & Yang, H. a. (2010). Lupinus. In *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources: Legume crops and forages* (pp. 153-206). Springer.
- Xavier Rodríguez, A. (2019). *Estudio de la cáscara de nuez pecana extruida y fermentada* [Universitat Politècnica de Catalunya].
- Xu, M., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, J., Li, J., Hu, Y., Cao, S., & Luan, G. (2023). Effect of screw speed, temperature and moisture on physicochemical properties of corn gluten meal extrudate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(12), 5782-5790. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.12649>
- Yadav, G. P., Dalbhat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Effects of extrusion process parameters on cooking characteristics and physicochemical, textural, thermal, pasting, microstructure, and nutritional properties of millet-based extruded products: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(9), e14106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.14106>
- Yi, C., Qiang, N., Zhu, H., Xiao, Q., & Li, Z. (2022). Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. *Food Res Int*, 160, 111681. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111681>
- Zambrano, Y., Contardo, I., Moreno, M. C., & Bouchon, P. (2022). Effect of extrusion temperature and feed moisture content on the microstructural properties of rice-flour pellets and their impact on the expanded product. *Foods*, 11(2), 198. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11020198>

ANEXOS

Anexo 1. Obtención de materias primas.

a) Grits de maíz



b) Harina integral de tarwi



c) Nuez de pecana molida



Anexo 2. Acondicionamiento de las materias primas.

a) Acondicionamiento de los 14 tratamientos



Anexo 3. Proceso de extrusión.

a) Extrusora doble tornillo marca Galix Tech.



Anexo 4. Análisis fisicoquímicos.

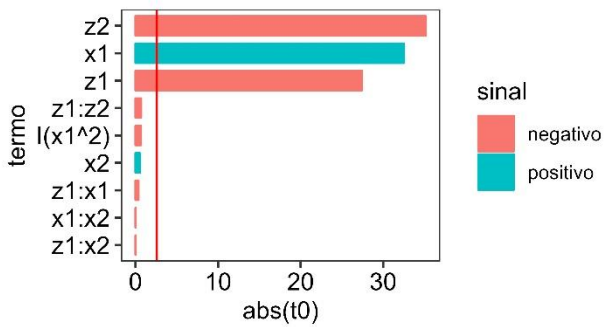
a) Análisis de expansión	b) Análisis de hidratación
--------------------------	----------------------------



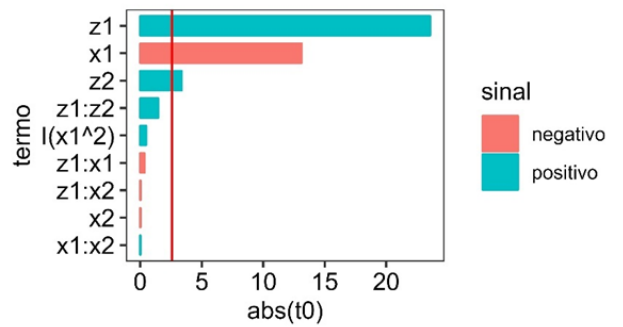
Anexo 5. Modelos de regresión para las variables de expansión.

Índice de expansión.

a) Índice de expansión seccional (IES)

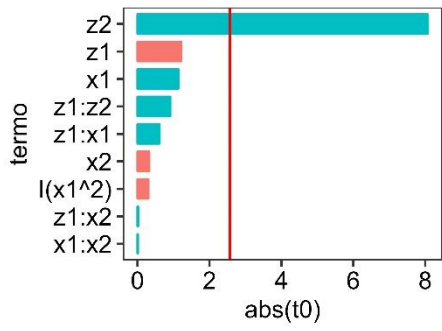


b) Densidad aparente (BD)

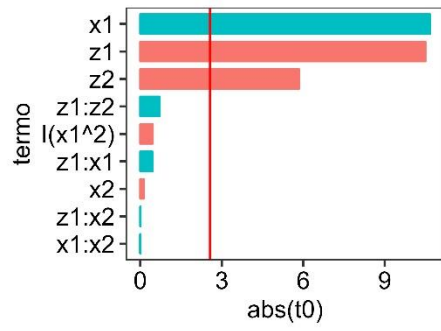


c) Índice de expansión longitudinal (IEL)

d) Índice de expansión volumétrico (IEV)



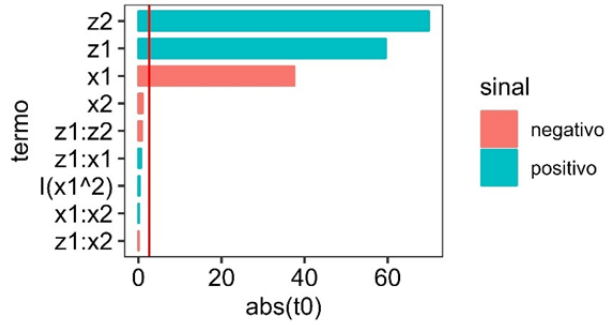
sinal
 negativo
 positivo



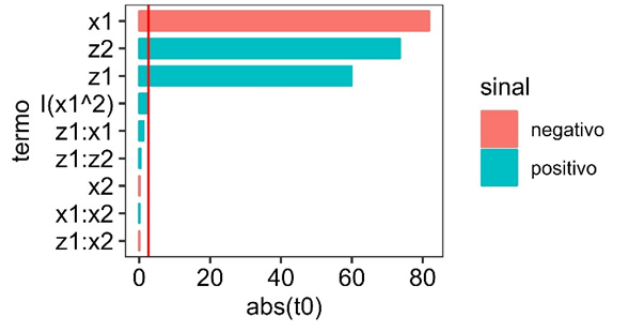
sinal
 negativo
 positivo

Variables de hidratación

a) Índice de absorción de agua (IAA)

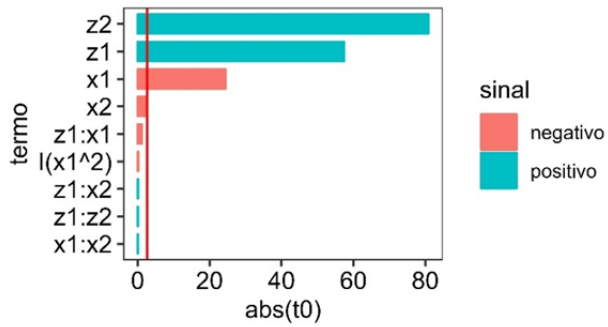


b) Índice de solubilidad de agua (ISA)

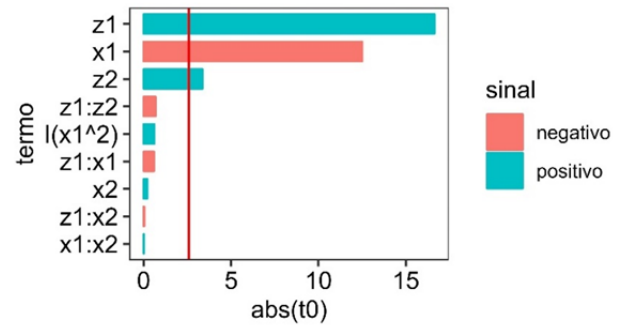


Análisis de textura.

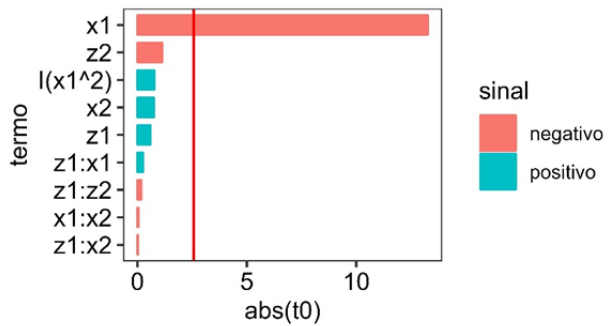
a) Frecuencia espacial de rupturas estructurales (Nsr)



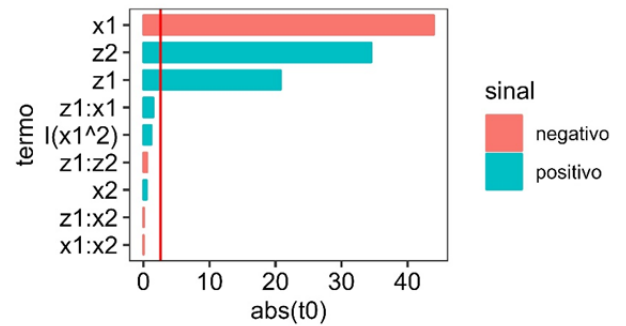
b) Fuerza de ruptura estructural (Fsr)



c) Fuerza de puntura (F)



d) Trabajo de crocancia (Wc)



Anexo 6. Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES INDICADORES
<p>General:</p> <p>PG: ¿Cuáles serán las variables de proceso y la proporción de harina de tarwi y pecana para generar un snack expandido semejante a los convencionales?</p> <p>Específicos:</p> <p>PE1: ¿Cuál será la proporción de ingredientes más optima que nos permitan obtener las propiedades de</p>	<p>General:</p> <p>OG: Evaluar la combinación entre variables de proceso y la inclusión de harina de tarwi (<i>lupinus mutabilis</i>) y pecana (<i>carya illinoensis</i>) sobre las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de snacks obtenidos por extrusión.</p> <p>Específicos:</p>	<p>General:</p> <p>HG: La inclusión de harina de tarwi y pecana tienen un efecto significativo sobre las propiedades físicas del extruido y el estudio de las variables de extrusión permiten alcanzar las características físicas, estructurales y texturales de un snack convencional.</p> <p>Específicos:</p> <p>HE1: La proporción de harina de tarwi y pecana ejerce un efecto significativo sobre las</p>	<p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proporción de harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) (g/100g) - Proporción de harina de pecana (<i>Carya illinoensis</i>) (g/100g) - Porcentaje de humedad de las harinas crudas (g/100g) - Velocidad de rotación de tornillo (rpm) <p>Dimensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proporción de harina de tarwi

<p>expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?</p> <p>PE2: ¿Cuál será la velocidad de tornillo más optima que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?</p> <p>PE3: ¿Cuál es el porcentaje de humedad más optimo que nos permitan obtener las</p>	<p>OE1: Evaluar el efecto de la inclusión de harina de tarwi y pecana sobre las propiedades físicas, estructurales y mecánicas de snacks obtenidos por extrusión.</p> <p>OE2: Evaluar la velocidad de tornillo más optima que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana.</p>	<p>propiedades físicas del extruido.</p> <p>HE2: La rotación de tornillo ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.</p> <p>HE3: La humedad ejerce un efecto significativo sobre las características física, estructurales y texturales del snack expandido de harina de tarwi y pecana.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proporción de harina de pecana - Porcentaje de humedad - Velocidad angular <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje (%) - Porcentaje (%) - Porcentaje (%) - Revoluciones por minuto (rpm) <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de partícula (%). - Índice de expansión radial (adimensional). - Densidad aparente (DA, g.cm-3). - Índice de absorción de agua (IAA). - índice de solubilidad en agua (ISA). - Frecuencia espacial de rupturas
---	--	---	--

<p>propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana?</p>	<p>OE3: Evaluar el porcentaje de humedad más optimo que nos permitan obtener las propiedades de expansión y textura instrumental en extruidos con incorporación de tarwi y pecana.</p>		<p>estructurales (Nsr, mm⁻¹).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fuerza específica media de rupturas estructurales (Fsr, N). - Fuerza de compresión (Fc, N). - Trabajo de crocancia (Wc, N.mm). - Porosidad (%). - Circularidad. - Número de burbujas. - Distribución. <p>Dimensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Granulometría - Propiedad de expansión - Propiedad de hidratación - Propiedad textural - Análisis de imagen <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - μm
--	--	--	---

			<ul style="list-style-type: none">- aparente- ISA/IAA- N.mm/s- μm
--	--	--	--