

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN JUAN BAUTISTA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**CUANTIFICACIÓN DE RETENCIÓN DE BIOACTIVOS EN SNACKS  
EXPANDIDOS FUNCIONALES CON INCLUSIÓN DE TARWI (*Lupinus  
mutabilis*) Y PECANA [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)]  
OBTENIDOS POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR BACHILLER**

**HUAMÁN MEZA KATERIN FRANCHESCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**ICA – PERÚ**

**2024**

**ASESOR**

**DR. COMETTANT RABANAL RAÚL**

**ORCID: 0000-0001-5485-1271**

**TESISTA**

**HUAMÁN MEZA KATERIN FRANCESCA**

**ORCID: 0000-0003-2803-5822**

## **LINEA DE INVESTIGACIÓN**

Productos Agroindustriales y Vitivinícolas

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al docente Dr. Raúl Comettant Rabanal por su asesoría y mentoría en cada etapa de esta investigación.

Al docente Mg. Ronald Edson Rimari Barzola por la confianza y apoyo brindado, que me permiten ser partícipe de la presente investigación.

Al Dr. Davy William Hidalgo Chávez por su colaboración, así como su tiempo y conocimientos compartidos.

Al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados – PROCIENCIA, que en el concurso de “Proyectos de Investigación Aplicada E041-2022-02 modalidad semilla” bajo el contrato N° PE501079609-2022, me otorgó el financiamiento para ejecutar la presente tesis de investigación experimental.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Privada San Juan Bautista por el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, quien con sacrificio y dedicación ha guiado mi camino. Su motivación constante ha sido el viento que me ha impulsado siempre a alcanzar mis anhelos, su tiempo y disposición de escucharme y aconsejarme ha sido mi refugio en momentos de duda.

A mis hermanas, compañeras de aventuras y alegrías, gracias por su apoyo, entusiasmo y comprensión en todo momento.

A mis abuelitos, pilares de sabiduría y amor, especialmente a mi abuelito quien, a pesar de ya no estar físicamente, sus enseñanzas y legado permanecerán siempre presentes y con quien me hubiese encantado compartir este logro.

A toda mi familia, por el cariño y apoyo constante.

A mis amigos y colegas que forman parte de mi vida, por su amistad y confianza.

## RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la adición de harina integral de lupinus Andino (HIT) y nuez de pecana molida (NPM), así como la influencia de parámetros de proceso como la humedad (13, 15 y 17%) y la velocidad de rotación del tornillo (324, 360 y 396 rpm) en un sistema de extrusión de doble tornillo corrotacional, utilizando un diseño de mezclas D-óptimo. El proceso se realizó bajo control de temperatura en dos zonas de calentamiento (zona 1= 94 °C, zona 2 = 150 °C) con un cañón de 85 cm de longitud y un diámetro interno de 6.53 cm (L/D = 13.02), empleando una matriz de salida de 6.3 mm de diámetro. Se analizaron la composición proximal, compuestos fenólicos totales (CFT), taninos condensados totales (TCT) y la capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> tanto en materias primas como en los extruidos obtenidos. Los resultados indicaron que la HIT incrementó el contenido de proteínas, fibra y cenizas, mientras que la NPM mejoró los CFT, TCT y la capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup>. La humedad redujo los compuestos bioactivos totales, observándose modelos cuadráticos con R<sup>2</sup>adjust entre 0.87 y 0.99. Se encontraron correlaciones positivas entre proteínas, cenizas y fibra, y entre CFT, ABTS<sup>•+</sup> y taninos. Los extruidos obtenidos mostraron una expansión significativa y mejoras nutricionales, con incrementos del 58% en proteína, 32% en CFT, y 38% y 16% en capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>, respectivamente, y trazas de TCT.

**Palabras claves:** botanas expandidas, capacidad antioxidante, cocción por extrusión, fitoquímicos, granos integrales, lupinus Andino, pulses.

## ABSTRACT

The present investigation evaluated the effect of the addition of whole Andean lupin flour (HIT) and ground pecan nut (NPM), as well as the influence of process parameters such as moisture (13, 15 and 17%) and screw rotation speed (324, 360 and 396 rpm) in a co-rotating twin-screw extrusion system, using a D-optimal mix design. The process was carried out under temperature control in two heating zones (zone 1 = 94 °C, zone 2 = 150 °C) with a barrel length of 85 cm and an internal diameter of 6.53 cm (L/D = 13.02), using an output die of 6.3 mm diameter. Proximal composition, total phenolic compounds (TPC), total condensed tannins (TCT) and antioxidant capacity by ABTS<sup>•+</sup> and DPPH<sup>•</sup> were analyzed in both raw materials and extrudates obtained. The results indicated that HIT increased protein, fibre and ash content, while NPM improved CFT, TCT and antioxidant capacity by ABTS<sup>•+</sup>. Feed moisture reduced total bioactive compounds, and quadratic models with R<sup>2</sup>adjust between 0.87 and 0.99 were observed. Positive correlations were found between protein, ash and fibre, and between CFT, ABTS<sup>•+</sup> and tannins. The extrudates obtained showed significant expansion and nutritional improvements, with increases of 58% in protein, 32% in CFT, and 38% and 16% in antioxidant capacity by ABTS<sup>•+</sup> and DPPH<sup>•</sup>, respectively, and traces of TCT.

**Keywords:** expanded snacks, antioxidant capacity, extrusion cooking, phytochemicals, whole grains, Andean lupin, pulses.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda de los alimentos listos para consumo (RTE - *ready-to-eat*) ha crecido ya que ofrece al consumidor mayor comodidad y rapidez, sin embargo estos productos poseen un perfil limitado en contenido nutricional y nutracéutico (Brennan et al., 2013). Los snacks expandidos son RTEs típicamente elaborados a partir de cereales refinados ricos en almidón tales como maíz, trigo y arroz, y en menor grado otros granos como avena, sorgo, mijo, cebada y centeno, esto debido a que contribuyen en la expansión directa durante el proceso de cocción por extrusión (Collantes et al., 2022; Gomes et al., 2023; Vargas-Solórzano et al., 2014).

Por ello, con el fin de mejorar la calidad nutricional y funcional y/o nutracéutica de extruidos RTEs, ha surgido diversas investigaciones que incorporan materias primas de mayor contenido proteico y que poseen importantes cantidades de almidón de forma que no se vea comprometido la expansión de los snacks; entre ellos tenemos, el uso de pseudocereales (quinua, trigo y amaranto) y leguminosas o pulses (frejol, lentejas, garbanzos y habas). Además, en la actualidad existen esfuerzos en incorporar materias primas exentas de almidón que son ricas en lípidos y entre ellas tenemos la incorporación de leguminosas no convencionales como soya, maní y tarwi. Así mismo, también se vienen incorporando oleaginosas como las nueces tales como castaña, nuez de la india, pecana, almendra y coco (Alajil et al., 2020; Farhana Meharaj Allai et al., 2022; Berrios et al., 2022; Brandolini et al., 2022; Brennan et al., 2012; Naseer et al., 2021; Pérez Ramos et al., 2017).

Bajo este contexto el tarwi o lupinus Andino (*Lupinus mutabilis* Sweet), es una leguminosa rica en proteína vegetal (plant-based), que además posee fibra y compuestos bioactivos tales como fenólicos, tocoferoles, carotenoides, flavonoides predominando los derivados de apigenina del tipo apigenin-6,8-di-C- $\beta$ -glucopyranoside y apigenin 7-O- $\beta$ -apiofuranosyl-6,8-di-C- $\beta$ -glucopyranoside e isoflavonas entre ellas genisteína (GE) y la daidzeína (DAZ) (Brandolini et al., 2022; Czubinski et al., 2021). Estos compuestos son

los metabolitos secundarios más abundantes presentes en leguminosas como el lupino, además son considerados como antioxidantes naturales que pueden fortalecer el sistema inmunitario debido a su potencial para reducir el exceso de radicales libres (ROS), prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, la obesidad, el síndrome metabólico, síntomas menopaúsicos, trastornos neurológicos y cáncer de mama (Clemente-Suárez et al., 2023; Cortés Avendaño, 2020; Egbuna & Dable-Tupas, 2020; Liu et al., 2022). Por otro lado, la nuez de pecana (*Carya illinoensis*) es una oleaginosa rica en lípidos, cuyo aporte nutricional radica principalmente por la presencia de ácidos grasos esenciales del grupo omega 3, entre ellos destacando al ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA, C18:3n-3), eicosapentaenoico (EPA, C20:5n-3) y docosahexaenoico (DHA, C22:6n-3) (Siebeneichler et al., 2023; Tanwar et al., 2021; Villasante et al., 2019). Asimismo, posee compuestos bioactivos tales como los flavonoides entre ellas (+)-catechin y ácidos fenólicos como ácido cafeico, protocatecúico y ácido gálico, los cuales poseen reconocida capacidad antioxidante y antiinflamatoria (Cheung et al., 2023). Estos ingredientes tanto el tarwi como la pecana por ser materiales exentos de almidón y poseer grandes cantidades de proteína y lípidos, respectivamente, pueden comprometer los fenómenos de expansión durante el proceso de extrusión.

En tal sentido, una alternativa para desarrollar productos saludables enriquecidos con dichos componentes, tenemos a la extrusión termoplástica que es una tecnología versátil que combina presión, calor y cillazamiento en periodos cortos de tiempo y es usada ampliamente en la industria alimentaria, debido a que realiza múltiples operaciones unitarias en un solo sistema que permite la transformación termo-mecánica de cereales, pseudocereales, leguminosas, oleaginosas y tubérculos en productos expandidos como snacks listos para consumo y harinas tecno-funcionales a través de la configuración de parámetros de proceso como perfil de temperatura, humedad, velocidad

de tornillo y velocidad de alimentación (Collantes et al., 2022; Comettant-Rabanal et al., 2021; Ek & Ganjyal, 2020; Guy, 2001; Nascimento et al., 2017).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue producir extruidos nutritivos y funcionales mediante la adición de harina integral de tarwi (6,1 - 10%) y nuez de pecana molida (0 - 3,9%). Asimismo, se estudió la influencia de la proporción de tarwi y pecana, así como el efecto de los parámetros de humedad y velocidad de rotación de tornillo de proceso en la composición química y retención de compuestos fenólicos totales, taninos condensados totales y capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>.

## ÍNDICE

<b>CARÁTULA .....</b>	<b>I</b>
<b>ASESOR Y TESISISTA .....</b>	<b>II</b>
<b>LINEA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>XI</b>
<b>INFORME ANTIPLAGIO .....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>XXI</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. OBJETIVOS .....	4
1.6.1. OBJETIVO GENERAL .....	4

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.7. PROPÓSITO .....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	6
2.2. BASE TEÓRICA.....	12
2.2.1. EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA .....	12
2.2.2. GRITS DE MAÍZ.....	14
2.2.3. TARWI .....	15
2.2.4. PECANA .....	21
2.2.5. COMPUESTOS BIOACTIVOS .....	25
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	35
2.3.1. PRODUCTOS EXTRUIDOS.....	35
2.3.2. SNACKS NUTRITIVOS Y/o FUNCIONALES.....	35
2.3.3. COMPUESTOS BIOACTIVOS .....	35
2.3.4. ANTIOXIDANTES .....	36
2.3.5. ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO.....	36
2.3.6. ESTRÉS OXIDATIVO .....	36
2.4. HIPÓTESIS .....	37
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	37
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	37
2.5. VARIABLES.....	38
2.5.1. INDEPENDIENTES.....	38
2.5.2. DEPENDIENTES .....	38
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE TÉRMINOS.....	39

<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>42</b>
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	42
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	42
3.2.1. POBLACIÓN .....	42
3.2.2. MUESTRA.....	42
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	43
3.3.1. MATERIAS PRIMAS .....	43
3.3.2. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS .....	44
3.3.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA HUMEDAD .....	44
3.3.4. PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	45
3.3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS.....	46
3.3.6. MEDIOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	51
3.4. DISEÑO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	51
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	54
3.6. ASPECTOS ÉTICOS .....	56
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
4.1. RESULTADOS .....	57
4.2. DISCUSIÓN .....	72
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	77
5.2. RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

ANEXOS .....89

## INFORME ANTIPLAGIO

TESIS\_HUAMAN MEZA KATERIN FRANCHESCA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>13%</b>	<b>12%</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.upsjb.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>doi.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Stephanie Reis Ribeiro, Bruna Klein, Quellen Machado Ribeiro, Ingrid Duarte dos Santos et al. "Chemical composition and oxidative stability of eleven pecan cultivars produced in southern Brazil", Food Research International, 2020</b> Publicación	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.revistas.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Privada San Juan Bautista</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>



**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN JUAN BAUTISTA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRINDUSTRIAL  
LOCAL /FILIAL ICA

INFORME DE VERIFICACIÓN DE SOFTWARE ANTIPLAGIO

FECHA: 18-09-2024

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

BACH. KATERIN FRANCESCA HUAMÁN MEZA / DR. 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:

"CUANTIFICACIÓN DE RETENCIÓN DE BIOACTIVOS EN SNACKS EXPANDIDOS FUNCIONALES CON INCLUSIÓN DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y PECANA [*Carya illinoensis* ((WANGENH.) K. KOCH)] OBTENIDOS POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA"

CULMINADA LA VERIFICACIÓN SE OBTUVO EL SIGUIENTE PORCENTAJE: 13 %

Conformidad Autor:

Nombre: Katerin Franchesca Huamán Meza

DNI: 70415272

Huella:



Conformidad Asesor:

Nombre: DR. Raúl Comettant Rabanal

DNI:43176798

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> COMPOSICIÓN QUÍMICA (G/100 G MATERIA SECA) DE SEMILLAS AMARGAS DE 33 ACCESIONES DE L. MUTABILIS, 3 DE L. ALBUS, 1 DE L. ANGUSTIFOLIUS Y 1 DE L. LUTEUS. ....	18
<b>TABLA 2.</b> COMPOSICIÓN DE L. MUTABILIS, L. ALBUS, L. ANGUSTIFOLIUS, L. LUTEUS.....	19
<b>TABLA 3.</b> COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE L. MUTABILIS, L. ALBUS, L. ANGUSTIFOLIUS Y L. LUTEUS.....	20
<b>TABLA 4.</b> COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) DE ONCE CULTIVARES DE NUEZ DE PECANA.....	22
<b>TABLA 5.</b> COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE ONCE CULTIVARES DE NUECES PECANAS.....	23
<b>TABLA 6.</b> CONTENIDO FENÓLICO TOTAL, ESCUALENO Y B-SITOSTEROL EN ONCE CULTIVARES DE NUEZ DE PECANA.....	24
<b>TABLA 7.</b> CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y TANINOS CONDENSADOS EN EXTRACTOS DE TORTAS DE NUEZ DE PECANA.....	24
<b>TABLA 8.</b> DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES INDEPENDIENTES .....	39
<b>TABLA 9.</b> DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES DEPENDIENTES .....	39
<b>TABLA 10.</b> VARIABLES INDEPENDIENTES.....	40
<b>TABLA 11.</b> VARIABLES DEPENDIENTES .....	41
<b>TABLA 12.</b> NÚMERO DE TRATAMIENTOS OBTENIDOS POR DISEÑO DE MEZCLAS D-OPTIMAL .....	55

<b>TABLA 13.</b> COMPOSICIÓN PROXIMAL (EXPRESADO EN BASE SECA) DE LOS GRITS DE MAÍZ (GM), HARINA INTEGRAL DE TARWI (HIT) Y NUEZ DE PECANA MOLIDA (NPM) USADOS COMO MATERIAS PRIMAS.....	58
<b>TABLA 14.</b> COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS MATERIAS PRIMAS...	59
<b>TABLA 15.</b> PROPIEDADES FÍSICAS DE RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y DENSIDAD APARENTE DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA.....	60
<b>TABLA 16.</b> ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (EXPRESADO EN BASE SECA) DE LOS EXTRUIDOS A BASE DE GRITS DE MAÍZ (GM) CON INCORPORACIÓN DE HARINA INTEGRAL DE TARWI (HIT) Y NUEZ DE PECANA MOLIDA (NPM). .....	63
<b>TABLA 17.</b> COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON HARINA INTEGRAL DE TARWI Y NUEZ DE PECANA MOLIDA.....	66
<b>TABLA 18.</b> MODELO MATEMÁTICO DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS .....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1.</b> VISTA ESQUEMÁTICA DE LA EXTRUSORA BITORNILLO GALIX TECH (EB6 – 60X) CON LAS PARTES PRINCIPALES. REPRODUCIDO CON PERMISO DE GALIX TECH, HUANCAYO PERÚ...12	12
<b>GRÁFICO 2.</b> ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN GRANO DE MAÍZ QUE MUESTRA LOS COMPONENTES PRINCIPALES (CORN REFINERS ASSOCIATION, EE. UU.), ADAPTADO DE GUY (2001). ..... 15	15
<b>GRÁFICO 3.</b> ZONAS DE ORIGEN EN PERÚ DE 33 ECOTIPOS DE LUPINUS MUTABILIS, TOMADO DE BERRU ET AL. (2021). ..... 16	16
<b>GRÁFICO 4.</b> CLASES DE FITOQUÍMICOS, ADAPTADO DE BOLLING ET AL. (2011). ..... 25	25
<b>GRÁFICO 5.</b> CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES POLIFENOLES, TOMADO DE EGBUNA AND DABLE-TUPAS (2020). ..... 27	27
<b>GRÁFICO 6.</b> ESTRUCTURA QUÍMICA DE PRINCIPALES COMPUESTOS FENÓLICOS, ADAPTADO DE HIDALGO CHÁVEZ (2014). ..... 27	27
<b>GRÁFICO 7.</b> REDUCCIÓN DEL RADICAL ABTS <sup>•+</sup> POR UN ANTIOXIDANTE Y SU FORMACIÓN POR LA INTERACCIÓN CON PERSULFATO DE POTASIO (K <sub>2</sub> SO <sub>5</sub> ), ADAPTADO DE HIDALGO CHÁVEZ (2014). ..... 29	29
<b>GRÁFICO 8.</b> ESTRUCTURA DEL DPPH <sup>•</sup> ANTES Y DESPUÉS DE LA REACCIÓN CON UN ANTIOXIDANTE AH, ADAPTADO DE HIDALGO CHÁVEZ (2014). ..... 30	30
<b>GRÁFICO 9.</b> PROCIANIDINA B <sub>2</sub> , TOMADA DE PEÑARRIETA ET AL. (2014). ..... 31	31
<b>GRÁFICO 10.</b> EJEMPLO DE GALOTANINOS, TOMADO DE PEÑARRIETA ET AL. (2014). ..... 32	32

<b>GRÁFICO 11.</b> EJEMPLO DE ELAGITANINOS, TOMADO DE PEÑARRIETA ET AL. (2014). .....	32
<b>GRÁFICO 12.</b> ACUTISSIMINA A, TOMADA DE PEÑARRIETA ET AL. (2014). .....	33
<b>GRÁFICO 13.</b> VÍA DE ANÁLISIS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE FRENTE AL RADICAL ABTS <sup>•+</sup> Y DPPH <sup>•</sup> . A) CFT: COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES, B) ABTS <sup>•+</sup> : ÁCIDO 2,2-AZINOBIS-3-ETILBENZOTIAZILONA-6-SULFÓNICO Y C) DPPH <sup>•</sup> : 1,1-DIFENIL-2-PICRILHIDRAZILO Y D) TCT: TANINOS CONDENSADOS TOTALES. ....	34
<b>GRÁFICO 14.</b> DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE NUEZ DE PECANA MOLIDA (NPM). ....	44
<b>GRÁFICO 15.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRUIDOS. ....	45
<b>GRÁFICO 16.</b> ESQUEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN. ....	53
<b>GRÁFICO 17.</b> PLOTEO DE SUPERFICIES DE RESPUESTA EN 3D PARA A) COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES, B) CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS <sup>•+</sup> , C) CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH <sup>•</sup> Y D) TANINOS CONDENSADOS TOTALES. ....	67
<b>GRÁFICO 18.</b> ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES (ACP) DE LOS EXTRUIDOS. A) GRÁFICO DE PUNTUACIÓN DE LAS MUESTRAS EXTRUIDAS, B) GRÁFICO DE INTENSIDAD DE CARGA DEL ACP PARA LAS VARIABLES RESPUESTA, C) MAPA DE CALOR CON AGRUPACIÓN JERÁRQUICA PARA LOS EXTRUIDOS POR CADA VARIABLE Y D) CORRELOGRAMA DE PEARSON PARA COMPOSICIÓN Y BIOACTIVOS. ....	71

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> CAPTURA DE IMÁGENES DE LOS EXTRUIDOS.....	89
<b>ANEXO 2.</b> ANÁLISIS DE ESTADÍSTICO DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS .....	90
<b>ANEXO 3.</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS MATERIAS PRIMAS .....	102
<b>ANEXO 4.</b> DIAGRAMA DE PARETO DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS. ....	110
<b>ANEXO 5.</b> MATERIAS PRIMAS .....	111
<b>ANEXO 6.</b> OBTENCIÓN DE NUEZ DE PECANA MOLIDA .....	112
<b>ANEXO 7.</b> PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA UNALM – LIMA....	113
<b>ANEXO 8.</b> PROCESO DE EXTRUSIÓN EN PLANTA PILOTO GALIX TECH - HUANCAYO .....	114
<b>ANEXO 9.</b> ANÁLISIS DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES EN LAS MUESTRAS EXTRUIDAS .....	115
<b>ANEXO 10.</b> CURVA DE CALIBRACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT).....	117
<b>ANEXO 11.</b> PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	118
<b>ANEXO 12.</b> ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS <sup>+</sup> ...	119
<b>ANEXO 13.</b> ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH <sup>•</sup> ....	120
<b>ANEXO 14.</b> ANÁLISIS DE TANINOS CONDENSADOS TOTALES (TCT)	121

**ANEXO 15. MATRIZ DE CONSISTENCIA ..... 122**

## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente diversas investigaciones han destacado la importancia de consumir una dieta rica en antioxidantes debido a sus múltiples beneficios en la salud, ya que neutralizan la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y previenen el estrés oxidativo. Una mayor ingesta de alimentos como frutas, verduras, cereales integrales y nueces se ha asociado a un menor riesgo de enfermedades crónicas. Sin embargo, una dieta occidental basada en la ingesta de productos procesados y altos en carbohidratos, azúcar y grasas (saturadas y trans), no solo carecen de antioxidantes esenciales sino que además contienen compuestos prooxidantes que incrementan la producción de radicales libres en el cuerpo, aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades asociadas al estrés oxidativo como cáncer, los trastorno neurodegenerativos y las enfermedades cardiovasculares (Clemente-Suárez et al., 2023; Li et al., 2014).

Por otro lado, la prevalencia en desnutrición y anemia en países en vías de desarrollo es recurrente, siendo el Perú unos de los países con los mayores índices dentro de Sudamérica (Dorsey, 2020), las causas son múltiples pero dentro de ellas destaca la malnutrición por ingesta de alimentos pobres en nutrientes tales como proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales (especialmente el hierro) y vitaminas (Khaliq et al., 2022). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, en el primer semestre del 2023 el 43.6% de los niños de 6 a 35 meses de edad fueron detectados con anemia (1.2% más que en el 2022), y los casos más frecuentes fueron aquellos niños que residen en el área rural con un 50.7% frente a un 40,9% del área urbana. Otro aspecto es la desnutrición crónica que afronta el Perú actualmente, ya que es un indicador del desarrollo como país, en el primer semestre del 2023 afecto al 11.1% de niñas y niños menores de cinco años de edad, de los cuales el

21.0% son residentes del área rural mientras que el 7.5% son del área urbana (INEI, 2023).

El Perú cuenta con una amplia biodiversidad, entre ellos encontramos alimentos nutritivos poco aprovechados de forma industrial, que pueden atender necesidades nutricionales y que tienen potencial terapéutico. Entre ellos el tarwi que es una leguminosa nativa peruana consumida en su mayoría en cocina artesanal y con el uso de tecnologías sofisticadas, es posible incrementar el valor proteico de alimentos procesados que carecen de nutrientes nitrogenados (Berru et al., 2021; Czubinski et al., 2021; Villacrés et al., 2020). Por otro lado, la pecana es una nuez oriunda de Norteamérica y es utilizada básicamente como aperitivo en pastelerías, y su aporte nutricional radica en su fracción lipídica, en donde destacan los ácidos grasos esenciales y compuestos bioactivos con capacidad antioxidante necesarios en la dieta humana (Farhana Mehraj Allai et al., 2022; Siebeneichler et al., 2023; Tanwar et al., 2021).

Por tales razones nace la propuesta de desarrollar un snack expandido enriquecido con lupino andino y nuez de pecana, que con el uso de la extrusión termoplástica se podrá aprovechar todos los componentes nutritivos y nutracéuticos que ofrecen estos alimentos cultivados en Perú. A fin de contribuir al problema de desnutrición y anemia, así como en la reducción de enfermedades asociadas al estrés oxidativo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Ante lo expuesto se plantea las siguientes preguntas:

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Se podrá obtener un snack extruido con propiedades nutricionales y funcionales, utilizando como ingredientes al tarwi (*Lupinus mutabilis*) y la pecana [*Carya illinoensis* ((Wangenh) K. Koch)]?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

PE1: ¿Cuál es la composición química y propiedades físicas de expansión de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?

PE2: ¿Cuál es la retención de compuestos fenólicos totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?

PE3: ¿Cuál es la cuantificación de taninos condensados totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?

PE4: ¿Cuál es la capacidad antioxidante por los métodos de ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Debido a las nuevas tendencias en la alimentación, el consumo de productos saludables ha tomado mayor relevancia, así como aquellas tecnologías que permitan brindar productos nutritivos y funcionales, que además sean fáciles y rápidos de consumir. Esto representa una oportunidad para la tecnología de extrusión dado que al ser un proceso versátil posee múltiples beneficios como la transformación de materias primas, desnaturalización de enzimas indeseables e inactivación de factores anti nutricionales (Ganjyal, 2020). Dicha tecnología permite desarrollar productos nutritivos y funcionales debido a la incorporación de alimentos como las leguminosas entre ellas el tarwi y nueces como las pecanas, que en proporciones óptimas contribuirán con una mayor concentración de proteínas, actividad antioxidante, compuestos fenólicos y fibra dietética y soluble (Farhana Meharaj Allai et al., 2022; Comettant-Rabanal et al., 2023; Muñoz-Llandes et al., 2023; V. C. Toledo et al., 2020; Villasante et al., 2019).

Bajo este contexto, desarrollar productos a partir de alimentos autóctonos peruanos contribuirá en el desarrollo de la producción sostenible de sus productores, ya que su uso se extendería más allá del consumo tradicional y

principalmente contribuirá en afrontar los problemas de desnutrición y anemia de niños que se encuentran en etapa escolar, producto de un insuficiente consumo de nutrientes. Asimismo, estos productos con características funcionales contribuirán en contrarrestar los efectos de aquellas enfermedades relacionadas al estrés oxidativo. Además de contribuir en la investigación de componentes nutricionales y bioactivos presentes en dichas materias primas a ser estudiadas, las cuales serán útiles para futuras investigaciones respecto al tema y del desarrollo agroindustrial.

#### **1.4. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Los estudios se realizaron en el laboratorio de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Privada San Juan Bautista filial Ica; ubicada en el distrito de Subtanjalla, entre marzo y junio del presente año.

#### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Disponibilidad de reactivos controlados y fiscalizados, procedimientos extensos en su adquisición.

Uso de técnicas sofisticadas y/o avanzadas como, cromatografía, espectroscopia de infrarrojo, entre otros; en la identificación específica de compuestos bioactivos tales como ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y taninos.

#### **1.6. OBJETIVOS**

##### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL**

OG: Estudiar la composición química y retención de bioactivos en snacks expandidos con inclusión de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y pecana [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

OE1: Determinar la composición química y propiedades físicas de expansión de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.

OE2: Analizar la retención de compuestos fenólicos totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.

OE3: Cuantificación de taninos condensados totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.

OE4: Determinar la capacidad antioxidante por los métodos de ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.

### **1.7. PROPÓSITO**

El propósito del presente trabajo de investigación fue desarrollar un snack expandido nutritivo y funcional obtenido por extrusión termoplástica enriquecido con bioactivos provenientes de la incorporación del tarwi (*Lupinus mutabilis*) y la nuez de pecana (*Carya illinoensis*), que contribuya en la mejora de la nutrición humana y en la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

- a. Allai et al. (2023) estudió el impacto del contenido de humedad (12 – 16%) en las características bioactivas (contenido fenólico total (CFT) y actividad antioxidante por DPPH\*), físicas, térmicas y microestructurales de cereales extruidos para desayuno a base de granos integrales y enriquecidas con castaño de indias. Como resultados obtuvieron que la humedad del alimento del 16%, mejoró atributos como el CFT (9,03 mg GAE/g) y la capacidad antioxidante (30.36%) de los extruidos, así como la densidad aparente (5.24 g/mL) con una tasa de expansión deseable (2.84 mm), índice de solubilidad (48%) y absorción de agua (7.76 g/g) y atributos de color. Este estudio concluyó que altos contenidos de humedad, cillazamiento mecánico y temperatura de barril, gelatinizan el almidón más a fondo y mejoran las propiedades físico-funcionales y bioactivos de los extruidos. De tal forma la mezcla de harinas integrales con harinas de semillas no convencionales y las condiciones de proceso adecuadas podrían ser potencialmente utilizadas a nivel industrial para el desarrollo de cereales ricos en fibra y con buenos atributos funcionales.
- b. Muñoz-Llandes et al. (2023) estudió las condiciones óptimas del proceso de cocción de extrusión para desarrollar snacks con harinas de *L. angustifolius* germinadas durante 3, 5 y 7 días, y evaluar sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y estructurales. Las condiciones óptimas de extrusión fueron 13% de humedad y 152 °C de temperatura y una proporción de lupino/almidón de maíz de 47/53%. Como resultado informaron que, los valores de índice de absorción y solubilidad de agua, densidad aparente y  $\Delta E$  aumentaron en los extruidos con harina germinada por 7 días y, además, este extruido presento bajos índices de expansión seccional y dureza. Respecto a

los compuestos bioactivos, los compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides tuvieron valores más altos en extruidos con lupino germinado por 3 días. Además, se informó sobre cambios en los componentes de proteínas de estructura secundaria, mejorando la digestibilidad proteica en extruidos con harina de lupinos germinado. Este estudio concluyó que la inclusión de harinas germinadas y la combinación de procesos en extruidos son una alternativa potencial para obtener productos funcionales con características fisicoquímicas y nutricionales.

- c. Farhana Meharaj Allai et al. (2022) estudió el efecto de las condiciones de procesamiento de extrusión como Humedad (H), temperatura de barril (TB), Velocidad de rotación de tornillo (SS) y proporción de harina de castaño de indias (HCI), sobre las propiedades antioxidantes como compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante por DPPH<sup>\*</sup>, tecno funcionales, texturales y la estabilidad en almacenamiento de cereales integrales para el desayuno a base de harina de maíz, cebada y trigo, con incorporación de harina de castaño de indias (HCI). Como resultados obtuvieron que incorporar un 2.5 % de HCI y realizar la extrusión a 12 % (H), 130 °C (TB) y 380 rpm (SS) se produjeron cereales extruidos de calidad óptima, no obstante, en términos de composición de bioactivos los CFT y la capacidad antioxidante por DPPH<sup>\*</sup> disminuyeron luego de la extrusión en 11,37 mg GAE/g y 24,4 %, respectivamente.
- d. Naseer et al. (2021) estudiaron las condiciones óptimas de extrusión para producir snacks expandidos a partir de torta de almendras desgrasada y mijo perla. Se evaluaron parámetros físicos del extruido optimizado, obteniendo como resultado un índice de expansión de 3.56, densidad aparente de 0.11 g/cm<sup>3</sup>, dureza de 30.55 N e índice de absorción y solubilidad de agua de 6.22 g/g y 14.56%, respectivamente, estando dichas propiedades físicas dentro del rango deseado, mientras

que sus propiedades bioactivas como el contenido de fenólicos totales (56.91 mg GAE/100 g), flavonoides totales (8.29 mg QE/100 g) y actividad antioxidante por DPPH\* (89.74%) se incrementaron. Esta investigación concluyó que una proporción de harina de almendra desgrasada y mijo de 20:80, una humedad del 23%, velocidad de tornillo de 450 rpm, y una temperatura de 120 °C son las condiciones óptimas para poder desarrollar un producto extruido con mayor aceptabilidad del consumidor y con buen perfil nutricional y funcional.

- e. Tadesse et al. (2019) estudiaron los efectos de la proporción de soja desgrasada (0,10 y 20%), temperatura de barril (135, 150 y 165 °C) y el contenido de humedad (15, 18 y 21%) sobre la composición proximal, minerales, factores anti nutricionales y propiedades sensoriales de los extruidos. Como resultados obtuvieron que la adición de soja desgrasada resultó en un aumento significativo en la humedad, proteína cruda, grasa, ceniza, fibra, Ca y Fe, pero disminución en carbohidratos. Por otro lado, la temperatura causó disminución de taninos en aproximadamente 61, 76 y 86% y la aceptabilidad general en una escala hedónica fue de 7 puntos. Este estudio concluyó que en base a estos hallazgos es posible obtener un producto expandido a partir de la mezcla de sorgo y soja desgrasada con buenas propiedades nutricionales y sensoriales, con potencial para hacer frente a problemas de desnutrición que es común en países en desarrollo.
- f. Villasante et al. (2022) realizaron la evaluación de la cáscara de pecana extruida y no extruida como ingrediente funcional en el pan y la tortilla de trigo, la caracterización se realizó en términos de composición química, contenido fenólico total (CFT) por el método de Folin-Ciocalteu, actividad de barrido de radicales por el método DPPH\* y ABTS<sup>•+</sup>, y viabilidad in vitro de las células de cáncer de hígado de origen humano, como resultado se obtuvieron mayor presencia de contenido de fibra dietética total, CFT y actividad de barrido de radicales en panes

y tortillas extruidas con adición de 5 y 10% de polvo de cascara de nuez, además de una reducción de viabilidad de las células de cáncer de hígado hasta un 53% y una adecuada aceptabilidad de los consumidores por lo que el estudio concluye que la cascara de pecana puede utilizarse como ingrediente funcional en productos que sean obtenidos por medio de la extrusión.

- g. Brandolini et al. (2022) investigaron los efectos del desamargado, la extrusión y el secado por aspersión sobre los antioxidantes de tres eco tipos de chocho andino, obteniendo como resultados que la extrusión no modificó los tocoferoles, aumentó ligeramente los fenoles y se redujo los carotenoides marginalmente; el desamargado aumentó ligeramente el contenido de tocoferoles y flavonoides, mientras que en los carotenoides no hubieron cambios y que los fenoles libres y ácidos fenólicos ligados disminuyeron en un 76,2% y 50,1%; y por último el secado por aspersión disminuyó los tocoferoles, carotenoides y fenoles en un 30%, 35,4% y 48,4% respectivamente; la cuantificación de tocoferoles y carotenoides se realizó por HPLC de fase normal, mientras que los compuestos fenólicos por HPLC de fase inversa. La investigación concluyó que las harinas procesadas de estos eco tipos de chocho presentan niveles valiosos de antioxidantes.
- h. Zhong et al. (2021) estudiaron la optimización de la superficie de respuesta múltiple de la cocción por extrusión para aumentar la fibra dietética soluble y los polifenoles en la cáscara del tarwi demostrando que en condiciones óptimas de extrusión se alcanzaron niveles máximos de contenido fenólico total libre, contenido fenólico individual y fibra dietética soluble, para la evaluación se utilizó un kit K-TDFR para cuantificar la composición de fibra dietética, el método de Folin-Ciocalteu para cuantificar el contenido total de polifenoles libres y el método HDLC-DAD para los polifenoles individuales, además se utilizó el modelo de digestión in vitro para estudiar la bioaccesibilidad y

biodisponibilidad de los minerales, el cual no mostró efectos; el estudio demostró un aumento de contenido de polifenoles en la cascara por lo que sugiere que la extrusión es una tecnología que permite aumentar las propiedades bifuncionales de alimentos como el de la cascara de tarwi.

- i. Córdova-Ramos et al. (2020) estudiaron el efecto de procesos tecnológicos como desmargado, extrusión, y secado por aspersión sobre la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos totales (CFT) en harinas no desgrasadas y desgrasadas de tres genotipos de lupino andino (Altragracia, Andenes y Yunguyo), los análisis del contenido de fenólicos totales (CFT) se realizaron por el método Folin-Ciocalteu, mientras que la capacidad antioxidante se analizó por los métodos de DPPH<sup>•</sup> y ABTS<sup>•+</sup>, ambos se evaluaron por espectrofotometría. El estudio concluyó que el contenido de CFT y capacidad antioxidante varían significativamente en función al tipo de proceso y genotipo, las muestras sin procesar (control) presentaron un mayor contenido de CFT y capacidad antioxidante comparadas con las muestras procesadas, entre las muestras no desgrasadas y desgrasadas no hay gran variación. Por otro lado, los lípidos influyeron en la cuantificación de CFT de forma negativa por lo que las muestras desgrasadas presentaron contenidos de CFT más altos.
- j. Villasante et al. (2019) estudió la capacidad antioxidante *in vitro* en pecana (*Carya illinoensis*) haciendo uso de extrusión y superficie respuesta, en donde evaluó el efecto de la temperatura de extrusión y velocidad de tornillo sobre los compuestos fenólicos, taninos condensados, actividad antioxidante y entre otros aspectos más (como la humedad, índice de absorción de agua y aceite, solubilidad en agua, color y temperatura de la cáscara) de los extruidos de cáscara de nuez de pecana. Los compuestos en los extruidos fueron cuantificados mediante cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) con un

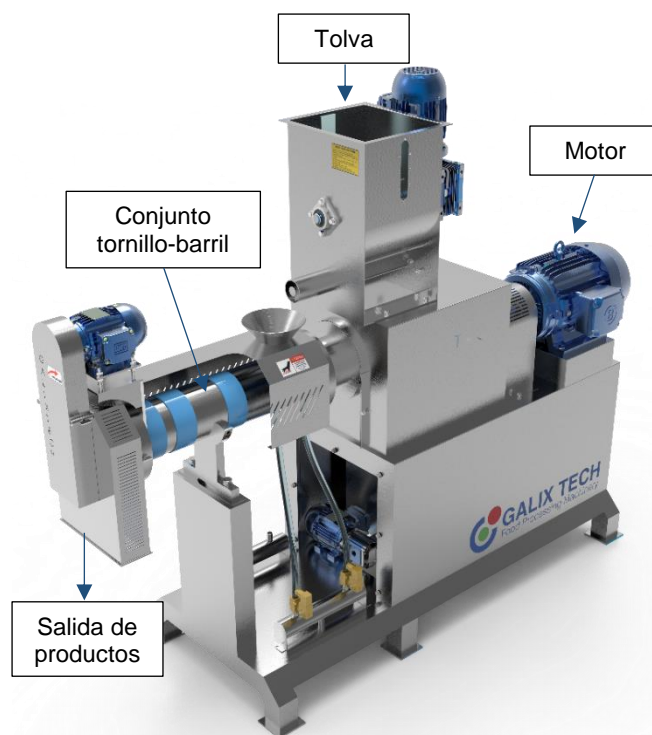
detector de matriz de diodos (DAD) y se identificaron por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas de tiempo de vuelo (LC-MSD-TOF) concluyendo que la extrusión a 70°C y 150 rpm aumentó la concentración de compuestos fenólicos, la actividad antioxidante y la fibra dietética y soluble.

- k. do Prado et al. (2013) en su investigación sobre la relación entre propiedades antioxidantes y la composición química del aceite y cáscara de las nueces de pecana determinó los compuestos fenólicos totales (método FolinCiocalteu), taninos condensados (método vainillina – HCL) y actividad antioxidante (ABTS<sup>•+</sup>, DPPH<sup>•</sup>) presentes en extractos obtenidos a partir de una infusión de cáscara de pecana; así mismo se evaluó el contenido nutricional de fitoquímicos presentes en el aceite, ácidos grasos, tocoferoles (HPLC), fitosteroles totales (PP - colesterol - Gold Analisa) y estabilidad oxidativa. Se concluyó que debido a la relación entre el contenido de ácidos grasos insaturados del aceite y la concentración de actividad antioxidante en la cascara de pecana, la calidad y cantidad de los compuestos fenólicos podría estar relacionada con la estabilidad oxidativa del aceite de pecana, ya que en el análisis espectrofotométrico en la región infrarrojo (FTIR) no se produjeron disminuciones significativas.

## 2.2. BASE TEÓRICA

### 2.2.1. EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

La extrusión termoplástica es una tecnología que utiliza calor, presión y cillazamiento de forma continua y en tiempos cortos para modificar las propiedades de los alimentos, esta tecnología (Figura 1) es utilizada para la producción de productos variados permitiendo amplias condiciones de proceso (Comettant-Rabanal et al., 2021; Nascimento et al., 2017), así mismo al ser una tecnología versátil de bajo costo permite desarrollar nuevos productos mejorando su digestibilidad y biodisponibilidad nutricional como el aumentando la actividad antioxidante, compuestos polifenólicos y fibra soluble (Villasante et al., 2019), en las últimas décadas ha tomado mayor popularidad debido a que permite procesos más rentables, ecológico y con una mejor aceptabilidad del producto (Guy, 2001).



**Gráfico 1.** Vista esquemática de la extrusora bitornillo Galix Tech (EB6 – 60X) con las partes principales. Reproducido con permiso de Galix Tech, Huancayo Perú.

## **a. TIPOS DE EXTRUSORAS**

El tornillo es un elemento crítico en las extrusoras, ya que junto al barril desempeñan las funciones de transportar, dosificar, mezclar y amasar la materia prima, por ello han surgido innovaciones respecto a estos. La principal clasificación es por el número de tornillos, monotornillo (un solo tornillo) y doble tornillo o bi-tornillo (dos tornillos).

### **a.1. EXTRUSORA MONOTORNILLO**

El funcionamiento de una extrusora alimentarias monotornillo depende de variables como presión de la matriz, deslizamiento en la pared del barril y el grado de llenado del tornillo. El acoplamiento de estas variables limita el rango operativo y la flexibilidad de las extrusoras de un solo tornillo, a menos que se realicen modificaciones importantes en el tornillo, la capacidad del motor de accionamiento y/o la relación entre la longitud (L) y el diámetro (D) del cilindro. Aunque las extrusoras alimentarias de un solo husillo son relativamente fáciles de manejar y mantener, una desventaja de este tipo de extrusoras es la mezcla limitada del material ya que, si se utilizan multicomponentes en la mezcla, es necesario mezclarlos bien antes de la alimentación (Ganjyal, 2020).

### **a.2. EXTRUSORA BI-TORNILLO**

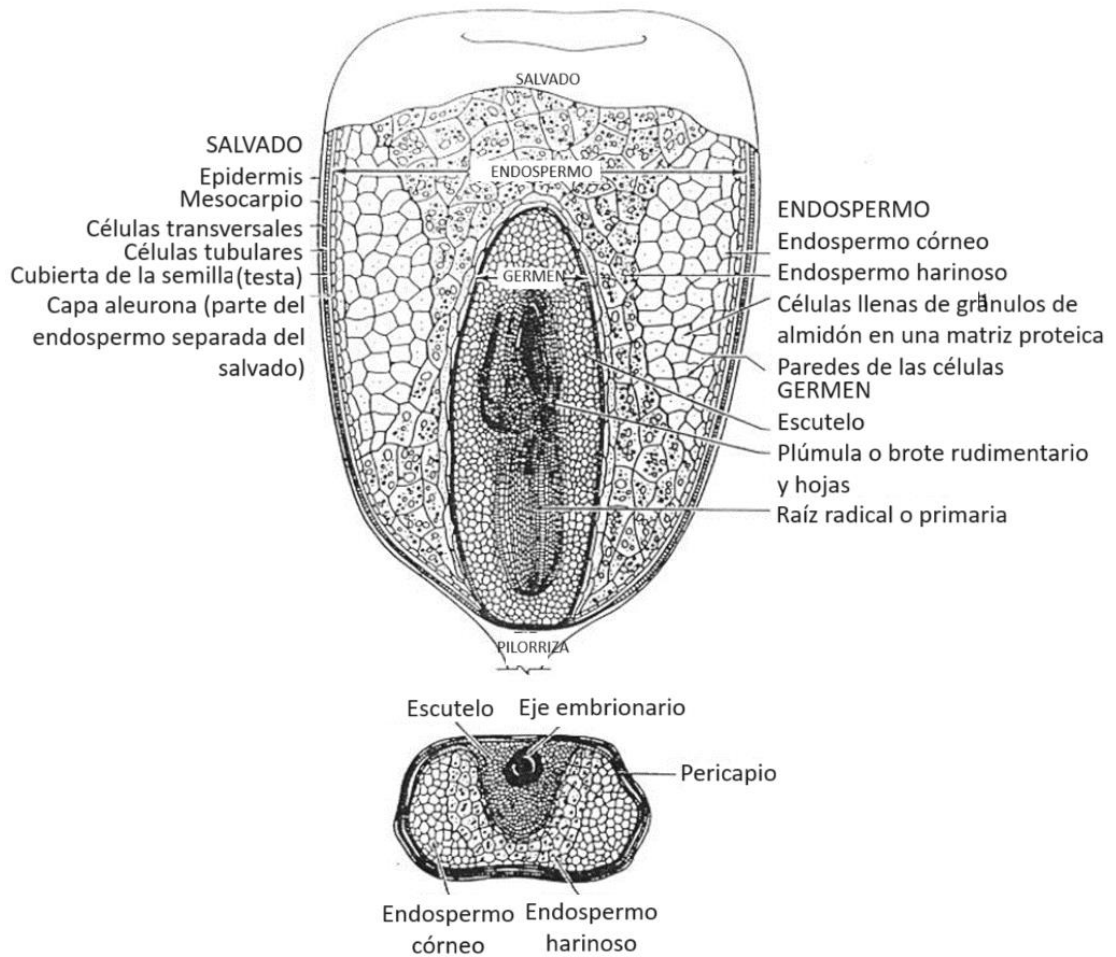
Las extrusoras alimentarias de doble tornillo tienen una capacidad de proceso versátil, debido a que se puede utilizar una amplia gama de materiales gracias a su flexibilidad y eficacia en la mezcla y el amasado (Ganjyal, 2020). Asimismo, estas extrusoras se clasifican a grandes rasgos en función del sentido de giro de los tornillos, ya sea corrotante (ambos tornillos giran en el mismo sentido) o contrarrotantes (tornillos que giran en sentido contrario); y además estos se clasifican en tornillos con o sin engranaje, en el caso de la extrusora contrarrotatoria interconectada, los tornillos aprietan conjuntamente el producto hacia delante, mientras que en el diseño corrotatorio

interconectado, cada tornillo empuja al otro para hacer avanzar el producto (Guy, 2001). Razón por la cual las cocedoras de extrusión de doble tornillo suelen ser denominadas máquinas autolimpiantes (Ganjyal, 2020).

### **2.2.2. GRITS DE MAÍZ**

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más cultivados en el mundo (Figura 2), este grano sin gluten se utiliza como alimento para humanos y animales, ya es rico en macronutrientes como carbohidratos y un mediano aporte de proteína de limitado score aminoacídico, además posee micronutrientes como carotenoides, vitaminas y fitoquímicos (Montero-Vargas et al., 2020). La actividad antioxidante del maíz está relacionada principalmente con la presencia de altas concentraciones de polifenoles, este cereal es una buena fuente de almidón con ~85%, proteínas en torno al ~8% y por ser despojado del pericarpio y germen, los grits de maíz deben contener cantidades de lípidos y cenizas <1%, asimismo contiene diferentes compuestos bioactivos que son importantes para la salud humana como las vitaminas tales como magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K) y carotenoides que poseen reconocido poder antioxidante (Blandino et al., 2017; Comettant-Rabanal et al., 2023).

Los grits de maíz obtenidos de la molienda de granos, mantienen sus pigmentos en el endospermo córneo que son principalmente los carotenoides luteína, zeaxantina,  $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno. En la industria de extruidos, el maíz es despojado de su germen y pericarpio, para ser utilizado como matriz en el desarrollo de productos extruidos que bajo condiciones de humedad y temperatura adecuados, pueden lograr cambios significativos en el perfil de carotenoides provocando el aumento moderado de  $\beta$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina y pérdidas mínimas de zeaxantina, por lo que el maíz con alto contenido de carotenoides garantiza la obtención de snacks extruidos nutritivos y con buen aporte de carotenoides (Comettant-Rabanal et al., 2021; Romero Rodríguez et al., 2021).

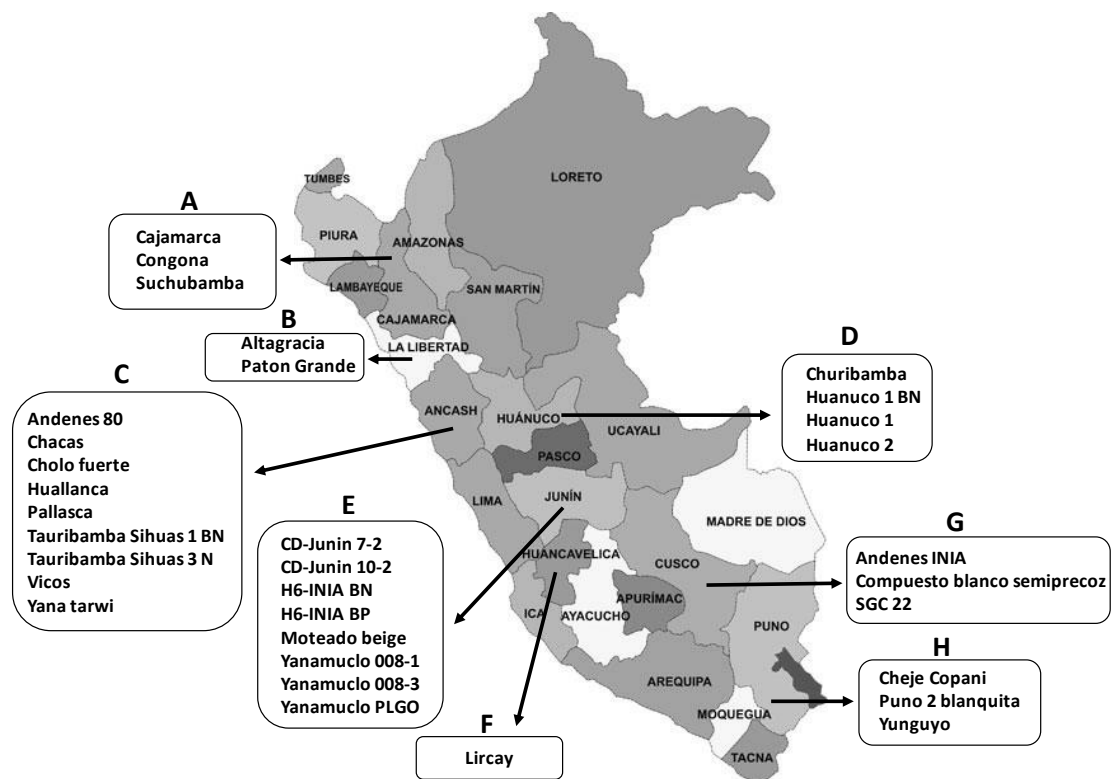


**Gráfico 2.** Esquema de la sección transversal de un grano de maíz que muestra los componentes principales (Corn Refiners Association, EE. UU.), adaptado de Guy (2001).

### 2.2.3. TARWI

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) también conocido como chocho, lupinus y altramuz andino, es una leguminosa nativa del Perú y se cultiva y consume tradicionalmente en zonas Altoandinas de nuestro país a altitudes entre 2500 a 4500 metros sobre el nivel del mar (Figura 3) (Mujica & Sven, 2006), así como en los Andes sudamericanos de Ecuador, Bolivia y Chile y en menor relevancia en Colombia, Argentina y Venezuela (Taco-Taype & Zúñiga-Dávila, 2020). Esta leguminosa no convencional dado a su muy bajo contenido de

almidón, se ha posicionado como un superalimento debido a su alto contenido de proteínas, lípidos con buen aporte de ácidos grasos y fibra alimentaria, convirtiéndose en una alternativa sustituta de la proteína animal (Vera-Vega et al., 2022), tiene un gran valor nutritivo, ya que en su composición proteica presenta triptófano y tirosina en mayor proporción comparado con otras leguminosas (Pérez Ramos et al., 2017).



**Gráfico 3.** Zonas de origen en Perú de 33 ecotipos de *Lupinus mutabilis*, tomado de Berru et al. (2021).

Por otro lado, las semillas de tarwi poseen en su estructura alcaloides quinolizidínicos, que le proporciona el sabor amargo y la liberación de sustancias tóxicas, por la presencia de estos compuestos su consumo se ha visto limitada, ya que para ser aprovechada deben ser removidos estos compuestos tóxicos, mediante sucesivos lavados que permiten obtener niveles de alcaloides que permitan su consumo (Gutierrez et al., 2016). Uno

de los principales alcaloides presentes en *L. mutabilis* es la lupanina constituyendo en promedio el 77,2% del total de alcaloides, la esparteína es el segundo alcaloide más abundante en esta leguminosa, así mismo se identificaron otros más como angustifolina,  $\alpha$ -isolupanina, nutallina, multiflorina, oxilupanina y 11, 12-dehidrolupanina presentes en menor proporción siendo un total de ocho (Cortés-Avendaño et al., 2020).

#### **a. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL TARWI**

El lupino es un grano cuyo principal atractivo nutricional es su alto contenido de proteínas, siendo el *L. mutabilis* la especie con mayor porcentaje proteico frente a las demás especies de lupinus y entre ellas tenemos al *Lupinus albus*, *Lupinus luteus*, *Lupinus angustifolius*. De acuerdo con Berru et al. (2021) el *L. mutabilis* en promedio contiene 40.87 g/100 g en base seca (b.s) de proteína y 16.12 g/100 g (b.s) de lípidos (Tabla 1); según Córdova-Ramos et al. (2020) presenta un contenido proteico de 47,4 g/100 g (b.s) y lípidos de 16,2 g/100 g (b.s) y Czubinski et al. (2021) reportó 44.7 % (b.s) de proteínas y 15.42 % (b.s) de lípidos. En cuanto a los demás nutrientes Berru et al. (2021) presenta los valores de humedad (g/ 100 g MS) y la composición química del lupino andino en la Tabla 1.

Por otro lado, Carvajal-Larenas et al. (2016) presenta en la Tabla 2 la composición de ácidos grasos y minerales de *L. mutabilis* entero crudo y desamargado, así como de *L. albus*, *L. angustifolius* y *L. luteus* entero crudo. Así mismo, el *L. mutabilis* destaca en su composición de aminoácidos a la arginina (10.2 g/100 g proteínas), ácido aspártico (9.6 g/100 g proteínas), ácido glutámico (24.3 g/100 g proteínas), leucina (7.0 g/100 g proteínas), lisina (5.8 g/100 g proteínas) y entre otros tal como se muestra en la Tabla 3 (Carvajal-Larenas et al., 2016)

**Tabla 1.** Composición química (g/100 g Materia Seca) de semillas amargas de 33 accesiones de *L. mutabilis*, 3 de *L. albus*, 1 de *L. angustifolius* y 1 de *L. luteus*.

Componente	<i>L. mutabilis</i>	<i>L. albus</i>	<i>L. angustifolius</i>	<i>L. luteus</i>
Humedad	9.99 ± 0.14 (8.19 – 13.80)	9.79 ± 0.75 (7.98 – 11.04)	11.15 ± 0.06	8.06 ± 0.03
Proteína	40.87 ± 0.40 (32.03 – 46.90)	31.02 ± 0.56 (29.93 – 32.20)	29.16 ± 0.39	39.03 ± 1.93
Lípidos	16.12 ± 0.14 (13.60 – 18.55)	8.41 ± 0.71 (7.56 – 9.52)	5.15 ± 0.04	14.30 ± 0.12
Cenizas	3.58 ± 0.06 (2.70–4.40)	3.37 ± 0.03 (3.25–3.50)	3.22 ± 0.06	3.42 ± 0.07
Carbohidratos	29.45 ± 0.43 (24.85–33.90)	47.41 ± 0.52 (45.70–49.68)	51.31 ± 0.35	35.19 ± 1.85

Fuente: Berru et al. (2021).

**Tabla 2.** Composición de *L. mutabilis*, *L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus*

Material	<i>L. mutabilis</i> entera cruda			<i>L. mutabilis</i> entera desamargada			<i>L. albus</i> entero crudo	<i>L. angustifolius</i> entero crudo	<i>L. luteus</i> entero crudo
	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Prom.	Prom.
Ácidos grasos (g/100 g MS)									
C16:0 (palmítico)	10.4	0.6	13.9	11.3	n / A	n / A	7.9	10.3	5.8
C16:1 (palmitoleico)	13.9	13.9	13.9	0.2	n / A	n / A	n / A	n / A	
C16:2 (ácido hexadecadioico)	0.2	0.2	0.2	n / A	n / A	n / A	n / A	n / A	n / A
C18:0 (esteárico)	4.7	2	8.2	7.3	n / A	n / A	1.6	5.2	2
C18:1 (Oleico)	46.4	41.2	56.2	52.5	n / A	n / A	54	33.9	28.5
C18:2 (linoleico)	33.1	26.5	39.6	28.4	n / A	n / A	48.7	40.3	48.2
C18:3 (linolénico)	2.5	1.9	3	3	n / A	n / A	8.6	5.6	6.3
C20:0 (araquídico)	0.9	0.9	0.9	n / A	n / A	n / A	1	0.7	2.2
C22: 0 (Behénico)	0.6	0.6	0.6	n / A	n / A	n / A	3.3	1.7	6.6
Minerales (mg/100 g MS)									
Ca	147	120	180	320.7	130	420	200	232	210
Cu	1	0.8	1.1	1	n / A	n / A	0.5	0,5	0.9
Fe	5.9	5	7.3	12.6	5,8	19.9	2.6	6.1	9.3
K	1265	1130	1400	20.5	15	28.6	n / A	n / A	n / A
Mg	285	240	330	109.7	69.1	170	n / A	n / A	n / A
Mn	3.2	2.6	3.7	2.6	n / A	n / A	83.5	2.1	8.6
Na	n / A	n / A	n / A	47.2	42	52.4	n / A	n / A	n / A
P	753	600	880	793.3	430	1450	360	321	610
Zn	3.5	3.4	3.6	4.3	3.6	5	3	3.6	5.6

Fuente: Carvajal-Larenas et al. (2016).

**Tabla 3.** Composición de aminoácidos de *L. mutabilis*, *L. albus*, *L. angustifolius* y *L. luteus*.

Material	<i>L mutabilis</i> entera crudo			<i>L mutabilis</i> entera desamargado			<i>L albus</i> entera crudo	<i>L angustifolius</i> entera crudo	<i>L luteus</i> entera crudo
	Prom	Min	Max	Prom	Min	Max	Prom	Prom	Prom
Aminoácidos (g 100/g proteína)									
Alanina	3.3	3.2	3.4	4.1	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Arginina	10.2	9.1	11.1	11.6	n.a	n.a	12.4	12.0	9.1
Ácido aspártico	9.6	8.7	10.3	9.6	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Cistina	1.6	1.4	1.7	Trazas	n.a	n.a	1.5	1.6	2.4
Ácido Glutámico	24.3	22.8	26.3	23.6	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Glicina	3.8	3.7	3.9	3.8	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Histidina	3.5	3.0	4.2	2.9	n.a	n.a	2.0	2.6	3.1
Isoleucina	4.2	3.6	4.8	4.0	n.a	n.a	4.1	4.0	3.6
Leucina	7.0	5.7	7.8	6.7	n.a	n.a	6.8	6.9	7.8
Lisina	5.8	5.0	7.3	7.8	n.a	n.a	4.5	4.6	4.5
Metionina	0.8	0.4	1.4	Trazas	n.a	n.a	0.7	0.7	0.6
Metionina +Cistina	2.4	1.8	3.1	Trazas	n.a	n.a	2.2	2.3	3.0
Fenilalanina	3.5	3.0	4.0	3.8	n.a	n.a	3.4	3.7	3.7
Prolina	3.8	3.7	4.0	4.2	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Serina	4.9	4.2	5.3	5.5	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Treonina	3.5	3.0	4.0	4.1	n.a	n.a	3.4	3.4	3.0
Triptófano	0.8	0.5	1.0	0.6	n.a	n.a	0.9	0.9	0.9
Tirosina	4.0	3.4	5.1	3.4	n.a	n.a	4.8	3.4	2.9
Valina	3.8	3.2	4.9	3.4	n.a	n.a	3.8	3.7	3.4

Fuente: Carvajal-Larenas et al. (2016).

#### **2.2.4. PECANA**

La nuez de pecana (*Carya illinoensis* L., familia Juglandaceae) es un fruto seco originario de América del Norte (EE.UU), que luego fue extendiéndose a varios países a principios del siglo XX como México, Brasil, Argentina, China, Australia y Perú (do Prado et al., 2013); actualmente es consumido en postres o como aperitivo debido a su sabor agradable y a sus componentes bioactivos saludables. La fracción oleosa de este fruto contiene ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados totales, así mismo compuestos como ácido alfa linoleico, ácido oleico, alfa tocoferol, gama tocoferol, escualeno, vitaminas, minerales, fitoesteroles (Burin et al., 2022) y polifenoles simples como catequina, epicatequina y ácido elálgico (Laura et al., 2014).

Debido a estos compuestos bioactivos la industria alimentaria busca aprovechar aquellos subproductos como la cáscara de pecana; que contiene compuestos fenólicos beneficiosos para la salud como los taninos, ácido gálgico, flavonoides, la epigalocatequina, el galato de epicatequina. (Villasante et al., 2022) y ácido elálgico (Laura et al., 2014); y el aceite residual que contienen actividad antioxidante que también son biodisponibles y beneficiosos para la salud (Salvador et al., 2016).

##### **a. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE ONCE CULTIVARES DE NUEZ DE PECANA.**

La nuez de pecana es un producto saludable y nutritivo destacando principalmente por su alto contenido de lípidos (50 a 75%) y otros componentes como proteínas, carbohidratos y minerales en su composición química, tal como se muestra en la tabla 4 (Reis Ribeiro et al., 2020). Además, la nuez de pecana presenta un perfil lipídico muy interesante en donde los ácidos grasos insaturados (UFA) tienen mayor presencia en su composición frente a los ácidos grasos saturados (SFA). En la tabla 5, se muestra la composición de ácidos grasos de once cultivares de pecana, donde los UFA representan el 90 % de la composición total, siendo los ácidos oleico

(C18:1n9) y linoleico (C18:2n6) los principales constituyentes, y por el lado de los SFA estuvieron los ácidos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) (Reis Ribeiro et al., 2020).

**Tabla 4.** *Composición química (%) de once cultivares de nuez de pecana.*

Cultivares	Humedad	Cenizas	Proteína	TDF	Lípidos	Carbohidratos
Barton	5.28 ± 0.32	1.46 ± 0.03	9.26 ± 0.33	8.97 ± 0.03	65.54 ± 2.28	9.49 ± 0.19
Chickasaw	5.01 ± 0.09	1.41 ± 0.03	8.40 ± 0.30	6.63 ± 0.08	69.55 ± 2.31	9.00 ± 0.32
Desirable	5.14 ± 0.09	1.10 ± 0.07	7.47 ± 0.01	10.76 ± 0.05	64.46 ± 2.31	11.07 ± 0.47
Imperial	5.14 ± 0.06	1.29 ± 0.03	7.80 ± 0.28	6.58 ± 0.06	69.76 ± 0.80	9.43 ± 0.03
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
Moneymaker	5.39 ± 0.17	1.49 ± 0.02	9.20 ± 0.19	12.42 ± 0.02	66.58 ± 0.29	4.92 ± 0.16
Stuart	5.50 ± 0.22	1.65 ± 0.05	6.88 ± 0.19	15.94 ± 0.02	52.70 ± 0.50	17.33 ± 0.22
Success	5.21 ± 0.12	1.45 ± 0.06	8.64 ± 0.29	15.35 ± 0.05	58.94 ± 0.90	10.42 ± 0.07

TDF: Fibra dietética total.

Fuente: (Reis Ribeiro et al., 2020).

#### **b. COMPOSICIÓN FITOQUÍMICA DE TORTA DE NUEZ DE PECANA.**

Asimismo, la nuez de pecana son fuente de fitoquímicos ya que en su composición poseen compuestos bioactivos como fenólicos, flavonoides, taninos condensados y fitoesteroles, componentes que están relacionados con la capacidad antioxidante de la nuez de pecana que protegen contra los procesos de actividad oxidativa e inhiben los radicales libres en los organismos (Reis Ribeiro et al., 2020; Salvador et al., 2016). En la tabla 6 y 7, se muestran los fitoquímicos presentes en la composición de la nuez de pecana.

**Tabla 5.** Composición de ácidos grasos de once cultivares de nueces pecanas.

Ácidos grasos (%)	Cultivares										
	Barton	Chickasaw	Deseable	Imperial	Importada	Jackson	Mahan	Melhorada	Fuente de dinero	Estuardo	Éxito
C14:0	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,01	nd	Nd	0,05 ± 0,02	nd	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,01	nd	0,04 ± 0,01
C16:0	6,53 ± 0,37	5,64 ± 0,18	5,68 ± 0,21	6,10 ± 0,06	6,46 ± 0,15	6,48 ± 0,07	5,66 ± 0,13	6,40 ± 0,21	5,80 ± 0,12	5,68 ± 0,08	6,40 ± 0,36
C16:1	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,09 ± 0,01
C17:0	0,10 ± 0,04	0,06 ± 0,0	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,02
C17:1	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,001
C18:0	2,46 ± 0,31	3,07 ± 0,25	3,64 ± 0,27	3,20 ± 0,15	2,66 ± 0,15	4,01 ± 0,07	3,49 ± 0,29	3,82 ± 0,20	3,34 ± 0,23	4,67 ± 0,02	4,44 ± 0,23
C18:1n9	66,92 ± 0,27	72,86 ± 0,10	69,79 ± 0,25	68,69 ± 0,11	68,57 ± 0,97	68,12 ± 0,14	72,99 ± 0,05	68,40 ± 0,29	69,50 ± 0,13	69,42 ± 0,38	65,53 ± 0,43
C18:2n6	22,50 ± 0,22	16,91 ± 0,14	19,38 ± 0,13	20,58 ± 0,04	19,81 ± 0,26	19,99 ± 0,20	16,27 ± 0,12	19,77 ± 0,07	19,86 ± 0,05	18,54 ± 0,40	22,06 ± 0,12
C18:3n3	0,93 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,87 ± 0,01	0,82 ± 0,01	1,06 ± 0,02	0,76 ± 0,01	1,02 ± 0,01	0,98 ± 0,03	0,86 ± 0,01	1,02 ± 0,05	0,90 ± 0,01
C20:0	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,16b ±	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,20 ± 0,01
C20:1	0,21 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,28 ± 0,03	0,19 ± 0,01
ΣSFA	9.27	8,96	9.59	9.52	9.31	10,76	9.36	10.48	9.38	10.61	11.17
ΣUFA	90,73	91.03	90,40	90,48	89,82	89.23	90,63	89,51	90.61	89.38	88,83
ΣMUFA	67.31	73.26	70,16	69.08	68,94	68,48	73.34	68,77	69,88	69,82	65,86
ΣAGPI	23.42	17,77	20.24	21.40	20,87	20,75	17.29	20,74	20,72	19.55	22,96
n6/n3	24.19	19,66	22.27	25.09	18.68	26.30	15,95	20.17	23.09	18.17	24.51

Fuente: (Reis Ribeiro et al., 2020).

**Tabla 6.** Contenido fenólico total, escualeno y  $\beta$ -sitosterol en once cultivares de nuez de pecana.

Cultivar	Fenólicos totales	Escualeno	$\beta$ -Sitosterol
	(mg GAE g <sup>-1</sup> )	(mg 100 g <sup>-1</sup> aceite)	(mg 100 g <sup>-1</sup> aceite)
Barton	31.98 ± 4.45	46.90 ± 1.10	97.18 ± 2.83
Chickasaw	30.45 ± 4.18	93.28 ± 1.16	213.65 ± 4.44
Desirable	19.88 ± 1.13	62.98 ± 1.30	214.94 ± 1.50
Imperial	45.25 ± 3.26	67.24 ± 1.3	199.42 ± 1.10
Importada	29.07 ± 0.12	76.12 ± 3.02	133.10 ± 7.31
Jackson	34.54 ± 0.66	71.37 ± 1.94	141.74 ± 1.55
Maham	30.20 ± 2.34	48.66 ± 2.60	220.42 ± 13.90
Melhorada	32.16 ± 2.84	47.51 ± 2.10	88.74 ± 3.32
Moneymaker	40.03 ± 4.33	30.98 ± 3.80	109.25 ± 8.01
Stuart	33.49 ± 0.82	67.38 ± 4.01	97.90 ± 6.10
Success	36.84 ± 1.98	42.51 ± 2.24	163.67 ± 3.03

Fuente: (Reis Ribeiro et al., 2020).

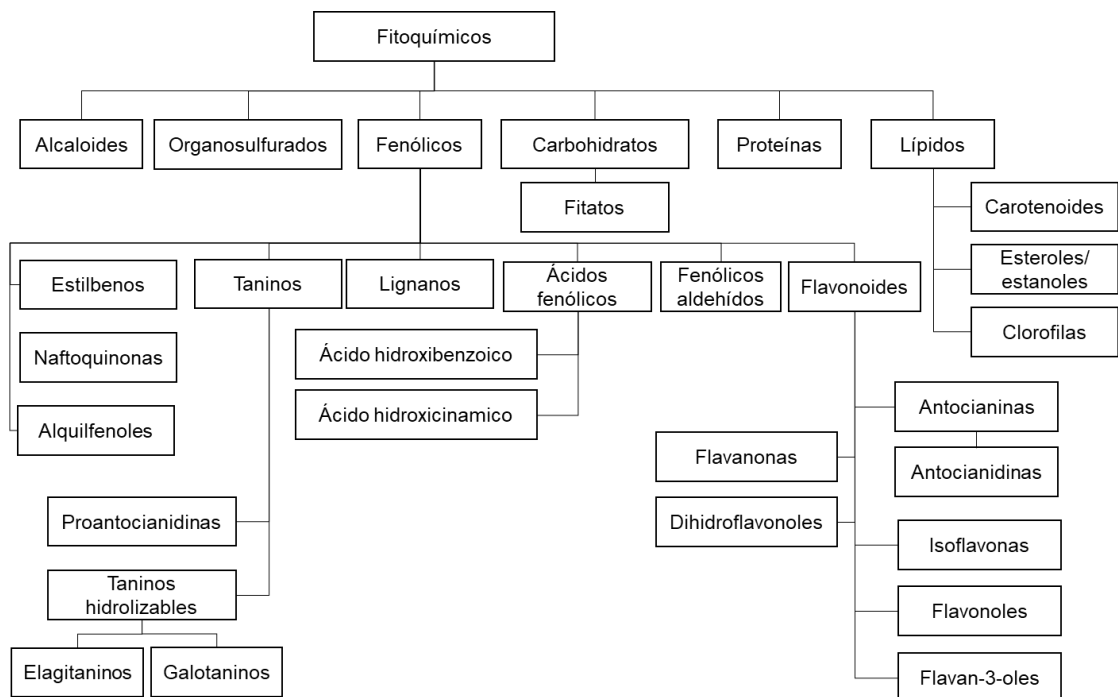
**Tabla 7.** Contenido fenólico total y taninos condensados en extractos de tortas de nuez de pecana.

Extracción	Compuesto fenólico total		Taninos Condensados	
	(µg AGE/g)		(µg CE/g)	
	Torta 1	Torta 2	Torta 1	Torta 2
Etanol Soxhlet	22 ± 1,0	26 ± 3,0	15 ± 0,0	11 ± 2,0
Acetona Soxhlet	71 ± 2,0	17,6 ± 0,9	34 ± 2,0	315 ± 5,0
Etanol por ultrasonido	10 ± 1,0	35 ± 2,0	53 ± 1,0	35 ± 6,0
Acetona por ultrasónido	21 ± 1,0	100 ± 5,0	22 ± 2,0	255 ± 10

Fuente: (Salvador et al., 2016).

## 2.2.5. COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos bioactivos o también fitoquímicos son aquellas sustancias químicas derivadas de las plantas con presuntos efectos positivos en la salud (Bolling et al., 2011). Se clasifican en seis clases (Figura 4).



**Gráfico 4.** Clases de fitoquímicos, adaptado de Bolling et al. (2011).

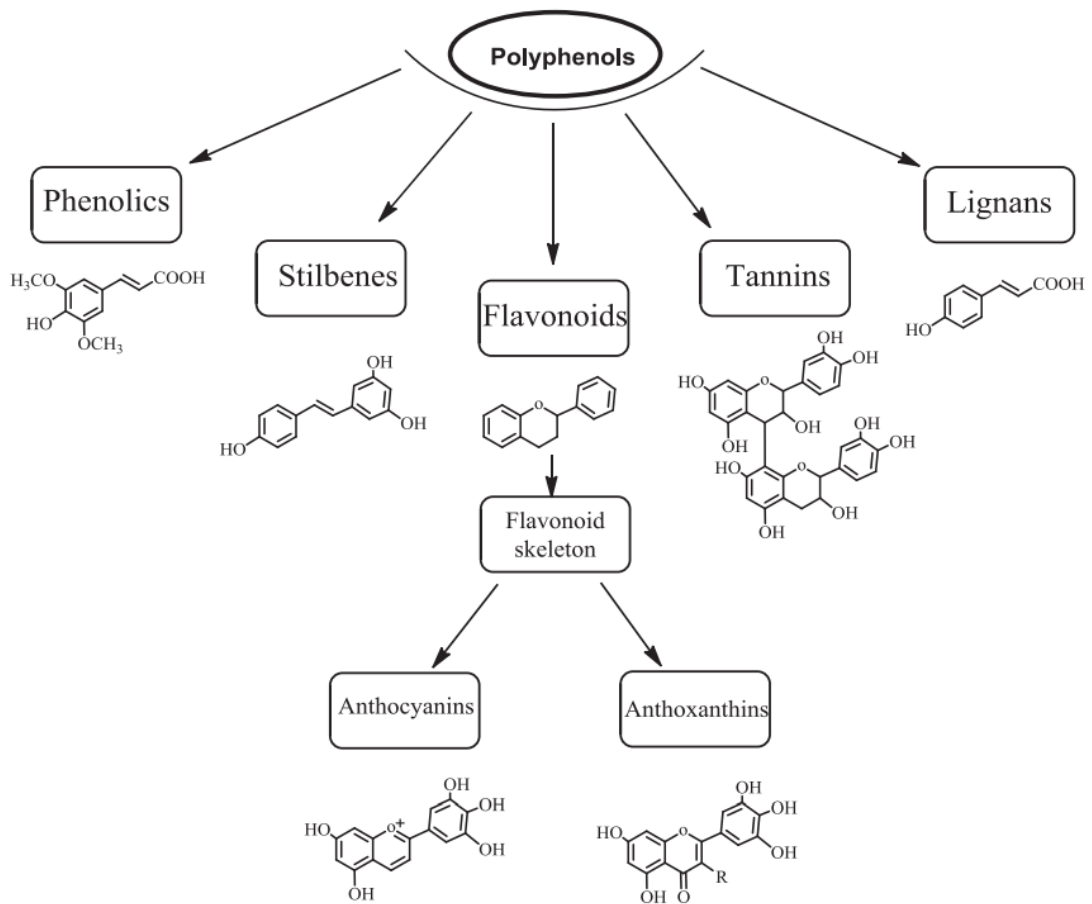
### a. COMPUESTOS FENOLICOS TOTALES

Los polifenoles son metabolitos secundarios en su mayoría de origen vegetal que se encuentra en la clase de fitoquímicos más estudiados ya que actúan como antioxidantes, antimicrobianos y protegen el sistema inmunitario (Egbuna & Dable-Tupas, 2020). Estos son considerados una fuente destacada debido a su amplia distribución y variedad de compuestos, entre estos tenemos a algunos ácidos fenólicos que se encuentran en la cascara, el salvado y semillas de alimentos, y son liberados por hidrolisis ácida, alcalina y enzimática (Abbas et al., 2017). De acuerdo con algunos estudios realizados en el Departamento de Agricultura de EE. UU., el número de compuestos

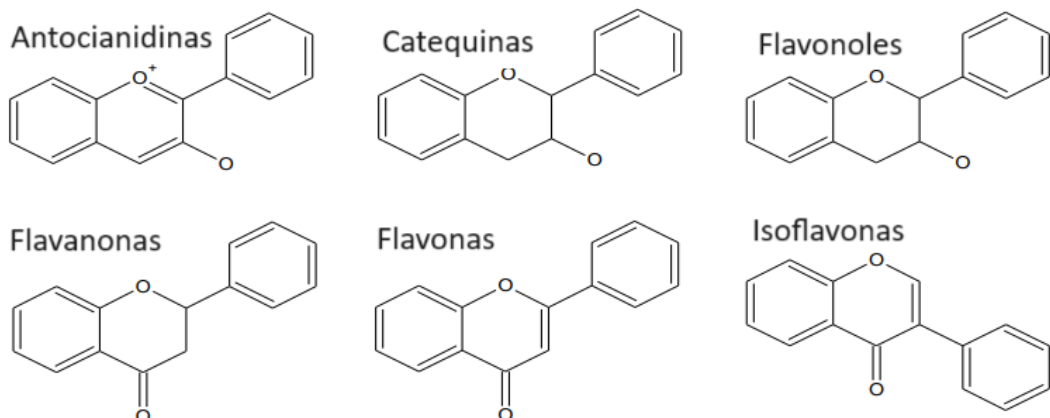
fenólicos conocidos (Figura 5 y 6) es inferior a la cantidad real encontrada en los alimentos, estos constituyen un gran grupo de sustancias fotoquímicas con más de 8.000 compuestos identificados (Ebrahimi & Schluesener, 2012).

Los fenólicos son metabolitos vegetales con presencia de varios grupos fenólicos (anillos aromáticos con hidroxilos) derivados de L-fenilalanina (Hidalgo Chávez, 2014). Entre ellos tenemos a los flavonoides del cual se identificaron más de 4000 clases, de las cuales los más presentes en los alimentos están las flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas (pigmentos responsables del color de la mayoría de frutas) y flavonoides (catequinas – monómeros y proantocianidinas – polímeros, también conocidos como taninos condensados) destacan principalmente por el estado de oxidación del carbono central (Abbas et al., 2017; Hidalgo Chávez, 2014).

Los compuestos fenólicos son determinados mediante el método de Folin-Ciocalteu desarrollado por Singleton and Rossi (1965) y mejorado por Georgé et al. (2005). Esta metodología se basa en el reactivo Folin-Ciocalteu, el cual es una mezcla de ácidos fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) y fosfomolibdico ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ) que se reducen a óxidos azules de tungsteno ( $W_8O_{23}$ ) y molibdeno ( $Mo_8O_{23}$ ) durante la oxidación del fenol. Esta reacción, que se produce en condiciones alcalinas y se lleva a cabo con carbonato de sodio. La coloración azul se mide con un espectrofotómetro a 760 nm, el valor obtenido refleja la cantidad de polifenoles expresada normalmente como equivalente de ácido gálico (GAE) o equivalente de catequina (Figura 13a).



**Gráfico 5.** Clasificación de los principales polifenoles, tomado de Egbuna and Dable-Tupas (2020).



**Gráfico 6.** Estructura química de principales compuestos fenólicos, adaptado de Hidalgo Chávez (2014).

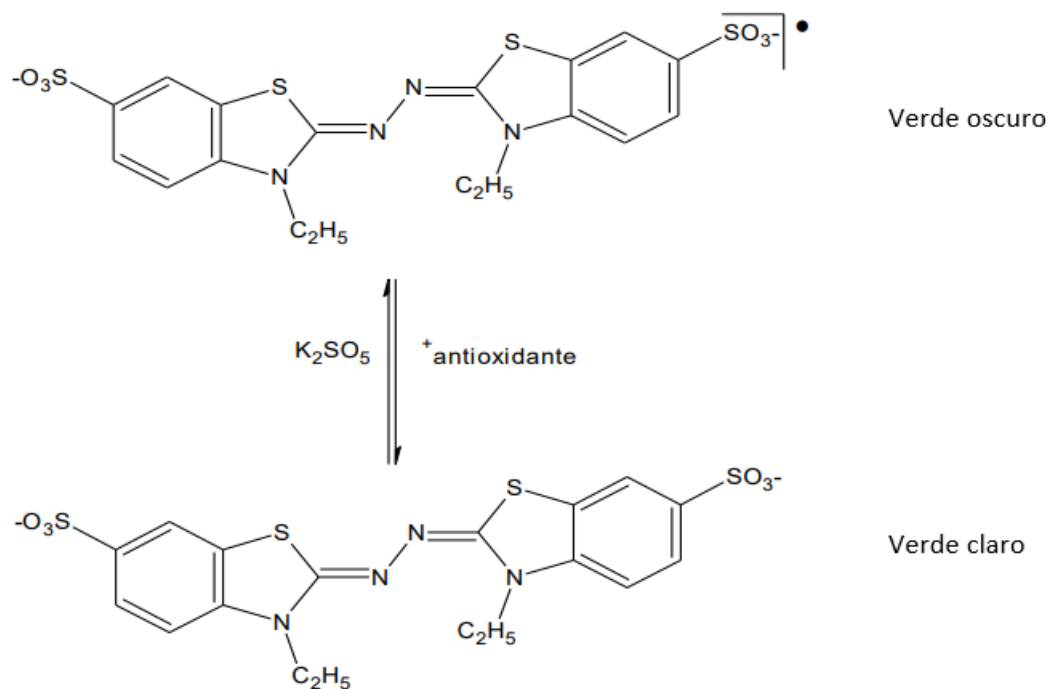
## **b. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE**

Los antioxidantes son sustancias presentes en alimentos de origen vegetal ejerciendo funciones preventivas (neuro-protectoras) ya que son capaces de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas, mediante la inhibición del de especies reactivas de oxígeno (ROS) y del estrés oxidativo, minimizando el daño celular perjudicial para el organismo ya que provocan enfermedades del síndrome metabólico, cardiovasculares, osteoporosis, síntomas menopáusicos y algunos tipos de cáncer (Cortés Avendaño, 2020; Czubinski et al., 2021; Egbuna & Dable-Tupas, 2020).

### **b.1. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO ABTS<sup>•+</sup>**

El método de secuestro de radicales ABTS<sup>•+</sup> 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), fue desarrollado por Miller et al. (1993) y modificado por Re et al. (1999). Este es un método indirecto ya que debe ser generado mediante la reacción química con el persulfato de potasio. El método ABTS<sup>•+</sup> se basa en espectrofotometría y es muy utilizado, ya que presenta una buena estabilidad en determinadas condiciones de análisis y es aplicable en antioxidantes hidrófilos y lipofílicos.

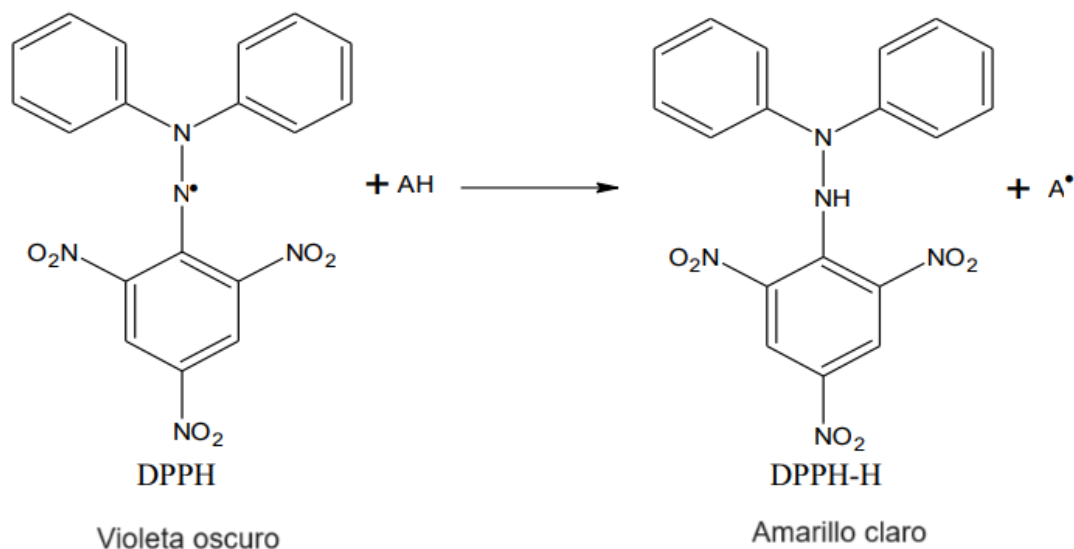
El radical ABTS<sup>•+</sup> verde claro (Figura 7) se genera oxidando persulfato de potasio con la solución ABTS, este es un radical estable que se reduce en presencia de un donante de hidrógeno o antioxidante hasta que pierde su color. Esta pérdida de color se mide en un espectrofotómetro a 734 nm (Figura 13b) (Hidalgo Chávez, 2014).



**Gráfico 7.** Reducción del radical  $ABTS^{+\bullet}$  por un antioxidante y su formación por la interacción con persulfato de potasio ( $K_2SO_5$ ), adaptado de Hidalgo Chávez (2014).

## b.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO DPPH'

El radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil o DPPH' es un método directo y el más rápido, simple y barato entre los métodos de análisis de capacidad antioxidante. Además, el radical libre DPPH' es estable a temperatura ambiente y ampliamente utilizado para analizar la capacidad de secuestro de compuestos antioxidantes. Este método se basa en la reducción de la solución DPPH en presencia de un donante de hidrogeno antioxidante, formando un no radical DPPH-H (Figura 8), esta transformación da lugar a un cambio de color de violeta oscuro a un amarillo claro, esto se mide mediante un espectrofotómetro a 517 nm (Figura 13c) (Hidalgo Chávez, 2014).



**Gráfico 8.** Estructura del DPPH• antes y después de la reacción con un antioxidante AH, adaptado de Hidalgo Chávez (2014).

### c. TANINOS

Los taninos son diversos compuestos fenólicos que se unen a las proteínas y precipitan. Estos se encuentran presentes en hojas, frutos y cortezas, ya que son parte de la protección de las plantas contra infecciones y herbívoros (Peñarrieta et al., 2014). Además, son antioxidantes considerados potentes inhibidores enzimáticos debido a que forman complejos con proteínas enzimáticas, además parecen ser responsables de la astringencia de muchas plantas debido a esta capacidad de interacción (Silva & Silva, 1999).

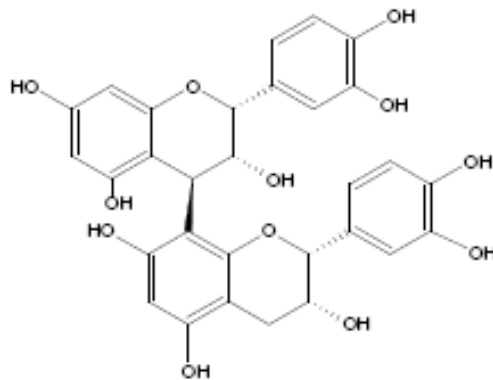
Por otro lado, para el análisis de taninos condensados totales por espectrofotometría, se utiliza el método de vainillina acidificada y se empleó básicamente en cultivos forrajeros, pero dicho método fue modificado por Burns (1971) para permitir una estimación rápida del contenido de taninos presentes en sorgo en grano. Este método consiste primero en extraer los compuestos fenólicos (taninos) del grano molino, mediante su interacción con metanol durante la noche y a temperatura ambiente. Posterior a la extracción, la solución de vainillina acidificada reacciona con el extracto, dando como

resultado un color naranja-rojizo el cual se lee a una absorbancia de 500-525 nm (Figura 13d). El reactivo es específico para compuestos astringentes en plantas y los resultados se correlacionaron altamente con la digestibilidad.

Los taninos se clasifican en tres grupos según su estructura química: condensados, hidrolizables y complejos.

### c.1. TANINOS CONDENSADOS

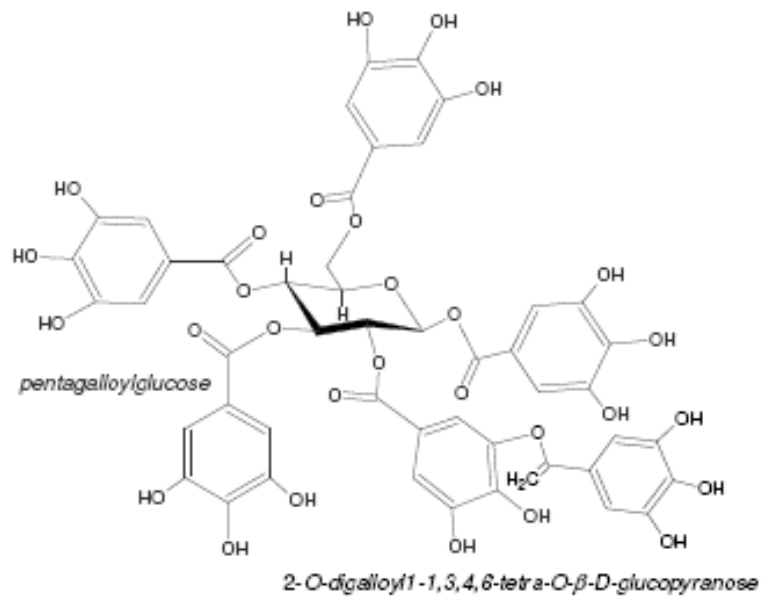
Los taninos condensados o no hidrolizables son polímeros de flavonoides, derivados de flavan-3-ol, formados por monómeros de proantocianidina y catequina y / o dímeros derivados de catequina a polímeros de mayor tamaño (Figura 9). Estos taninos tienen presencia en la fracción de fibra dietética de diferentes alimentos como legumbres y cereales (Silva & Silva, 1999).



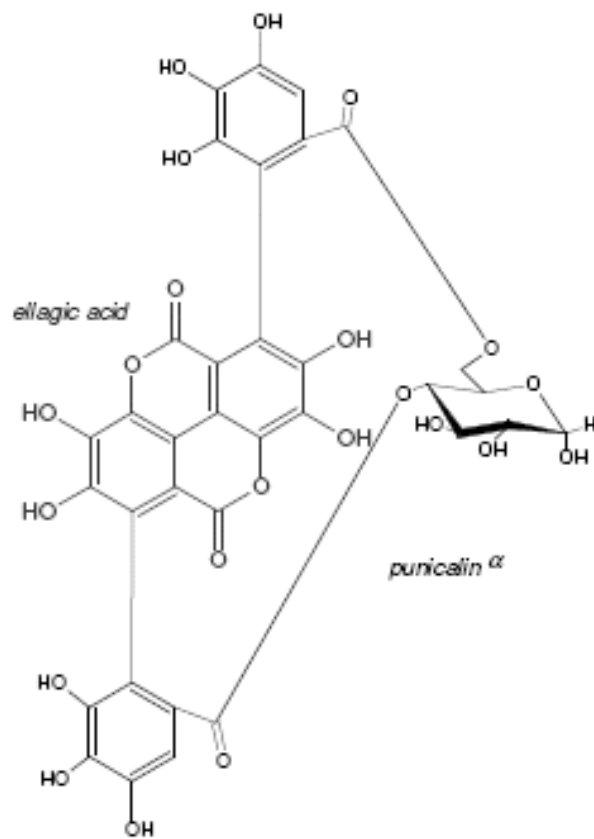
**Gráfico 9.** Procianidina B<sub>2</sub>, tomada de Peñarrieta et al. (2014).

### c.2. TANINOS HIDROLIZABLES

Los taninos hidrolizables tienen como principales componentes a los elagitaninos no conjugados, galotaninos y ácido elágico o formas conjugadas del ácido gálico (Figura 10 y 11). Estos compuestos se encuentran presentes en frutas como uvas, fresas, frambuesas, mango y bayas, demostrando poseer actividad antioxidante y antibacteriana (Peñarrieta et al., 2014).



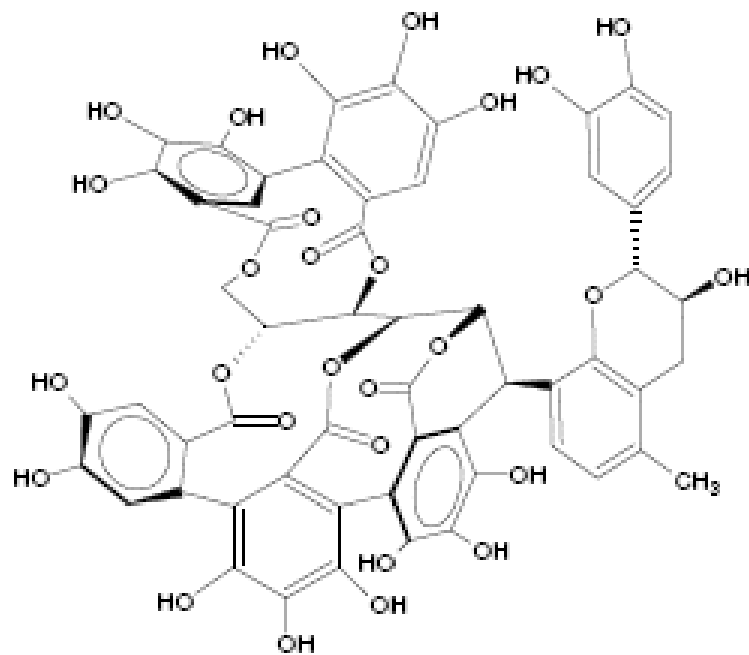
**Gráfico 10.** Ejemplo de galotaninos, tomado de Peñarrieta et al. (2014).



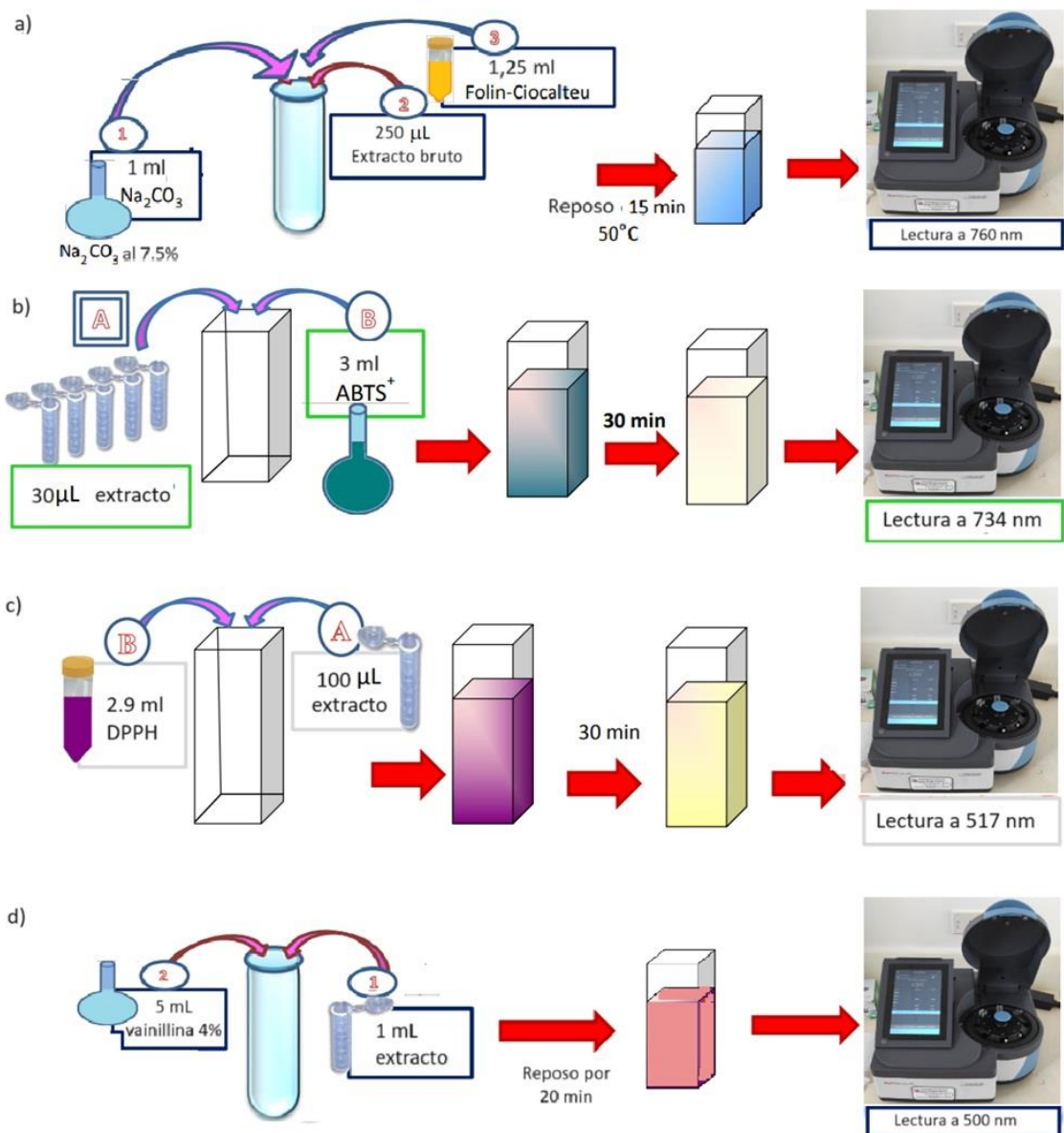
**Gráfico 11.** Ejemplo de elagitaninos, tomado de Peñarrieta et al. (2014).

### c.3. TANINOS COMPLEJOS

Los taninos complejos poseen unidades de catequina vinculados a galotaninos o elagitaninos, por ello diversas investigaciones atribuyen que el añejamiento en el vino tinto se debe a la reacción entre catequinas de las uvas y galotaninos en los barriles de roble formando así estos taninos complejos, como la acutissimina A (Figura 12) el cual se ha demostrado inhibir el crecimiento de células cancerígenas (Peñarrieta et al., 2014).



**Gráfico 12.** Acutissimina A, tomada de Peñarrieta et al. (2014).



**Gráfico 13.** Vía de análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante frente al radical ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>. a) CFT: compuestos fenólicos totales, b) ABTS<sup>•+</sup>: Ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazilona-6-sulfónico y c) DPPH<sup>•</sup>: 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo y d) TCT: taninos condensados totales.

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. PRODUCTOS EXTRUIDOS**

Son alimentos elaborados a partir de un proceso de extrusión, que combina presión, alta temperatura y corto tiempo para obtener alimentos a partir de una variedad de ingredientes, actualmente debido a impulso de esta tecnología se han desarrollado productos extruidos que aportan beneficios nutricionales en la salud y además que son presentados en diversas formas, tamaños y colores.

La industria alimentaria está en constante búsqueda de nuevos ingredientes que permita desarrollar nuevos productos que sean innovadores, agradables y beneficioso para la salud, aprovechando aquellos recursos naturales no industrializados.

### **2.3.2. SNACKS NUTRITIVOS Y/O FUNCIONALES**

Son alimentos ligeros, listos para consumo (Ready-to-eat) y elaborados para satisfacer el hambre de forma momentánea y para complementar una dieta sana debido a su aporte nutricional en la salud. Además, las tendencias de consumo de productos más sanos y con etiquetas limpias llevan a explorar nuevos ingredientes para la producción de alimentos como los snacks nutritivos y funcionales con ingredientes ricos en proteínas, fibra, libres de gluten, no alérgicos y más respetuosos con el medio ambiente.

### **2.3.3. COMPUESTOS BIOACTIVOS**

Son compuestos presentes en pequeñas cantidades en algunos alimentos que aportan beneficios en la salud, son provenientes principalmente de fuentes vegetales e influyen en las actividades fisiológicas del ser humano atribuyéndoles beneficios en la prevención de enfermedades por lo que son recomendados incluirlas en la dieta diaria.

#### **2.3.4. ANTIOXIDANTES**

Son compuestos que inhiben los radicales libres retrasando o previniendo la oxidación y daño celular, así mismo poseen propiedades beneficiosas contra enfermedades crónicas, reduciendo así su riesgo, están presentes en alimentos como frutas, cereales, hortalizas, etc., son considerados importantes en la dieta debido a su aporte positivo en la salud.

#### **2.3.5. ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO**

Las especies reactivas de oxígeno (ROS) son moléculas que contienen oxígeno con diferente reactividad química. Un radical libre es una especie molecular que posee un electrón desapareado en un orbital atómico y es capaz de existir de forma independiente, esto da lugar a ciertas propiedades comunes en la mayoría de los radicales, ya que muchos de estos son inestables y altamente reactivos, y se comportarán como oxidantes o reductores dependiendo si pueden donar o aceptar un electrón de otras moléculas.

#### **2.3.6. ESTRÉS OXIDATIVO**

Es un medio que ocurre cuando existe un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el sistema de defensa antioxidante del cuerpo. Como consecuencia de este desequilibrio, se asocia al estrés oxidativo con amplias lesiones celulares, incluidos lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que conduce al cuerpo humano a tener mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas como son los trastornos neurodegenerativos, cáncer y enfermedades cardiovasculares.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

H1: Será posible mejorar el valor nutricional y retener compuestos bioactivos añadidos a los snacks expandidos mediante la inclusión de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y pecana [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica.

H0: No será posible mejorar el valor nutricional y retener los compuestos bioactivos añadidos en snacks expandidos mediante la inclusión de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y pecana [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

**HE1:** Los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana poseen mejor composición química y propiedades físicas de expansión.

HE1-0: Los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana no poseen mejor composición química y propiedades físicas de expansión.

**HE2:** Los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana poseen compuestos fenólicos totales en su composición.

HE2-0: Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana no poseen compuestos fenólicos totales en su composición.

**HE3:** Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana poseen taninos condensados totales en su composición.

HE3-0: Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana no poseen taninos condensados totales en su composición.

**HE4:** Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana poseen capacidad antioxidante en su composición.

HE4-0: Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana no poseen capacidad antioxidante en su composición.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. INDEPENDIENTES**

- Proporción de harina integral de tarwi (%).
- Proporción de nuez de pecana molida (%).
- Porcentaje de humedad de las formulaciones crudas (%)
- Velocidad de rotación de tornillo (rpm).

### **2.5.2. DEPENDIENTES**

- Cantidad de cenizas (%)
- Cantidad de proteínas (%)
- Cantidad de grasa (%)
- Cantidad de fibra (%)
- Cantidad de carbohidratos (%)
- Cantidad de compuestos fenólicos totales (mg ácido gálico equivalente/100 g)
- Cantidad taninos condensados totales (mg de catequina equivalente/100 g)
- Cantidad de la capacidad antiradical del catión ABTS<sup>•+</sup> (μmol de trolox equivalente/100 g).
- Cantidad de la capacidad antiradical del catión DPPH<sup>•</sup> (μmol de trolox equivalente/100 g).

## 2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE TÉRMINOS

**Tabla 8.** *Definición operacional de variables independientes*

Variables	Tipo de variables
Harina integral de tarwi (HIT)	Cuantitativa continua
Nuez de pecana molida (NPM)	Cuantitativa continua
Humedad	Cuantitativa continua
Rotación de tornillo	Cuantitativa continua

**Tabla 9.** *Definición operacional de variables dependientes*

Variables	Tipo de variable
Cenizas	Cuantitativa continua
Proteínas	Cuantitativa continua
Grasa	Cuantitativa continua
Fibra	Cuantitativa continua
Carbohidratos	Cuantitativa continua
Compuestos fenólicos totales (CFT)	Cuantitativa continua
Taninos condensados totales (TCT)	Cuantitativa continua
Capacidad antioxidante	Cuantitativa continua

## CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**ALUMNO** : Bach. Katerin Franchesca Huamán Meza

**ASESOR** : Dr. Raúl Comettant Rabanal

**LOCAL** : Filial Ica

**TEMA** : CUANTIFICACIÓN DE RETENCIÓN DE BIOACTIVOS EN SNACKS EXPANDIDOS FUNCIONALES CON INCLUSIÓN DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y PECANA [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] OBTENIDOS POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

**Tabla 10.** *Variables independientes*

Dimensión	Indicadores	Instrumento
Harina integral de tarwi (HIT)	Proporciones %	Balanza de precisión
Nuez de pecana molida (NPM)	Proporciones %	Balanza de precisión
Humedad	Porcentaje %	Balanza analítica
Rotación de tornillo	Rpm	Sensor de torque

*Nota:* rpm = Revoluciones por minuto.

**Tabla 11.** *Variables dependientes*

Dimensión	Indicadores	Instrumento
Cenizas	%	Balanza analítica
Proteínas	%	Titulación
Grasa	%	Balanza analítica
Fibra cruda	%	Balanza analítica
Carbohidratos	%	Cálculo por diferencia
Compuestos fenólicos totales (CFT)	mg ácido gálico equivalente/100 g	Espectrofotómetro UV-VIS
Taninos condensados totales (TCT)	mg ácido catequina equivalente/100 g	Espectrofotómetro UV-VIS
Capacidad antioxidante (CA)	μmol trolox equivalente/100 g	Espectrofotómetro UV-VIS

*Nota:* Las dimensiones se consideran si la investigación lo requiere.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

El presente proyecto de investigación fue experimental con un enfoque cuantitativo.

#### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación llevada a cabo en el trabajo de tesis fue de tipo aplicada.

#### **3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La investigación del presente trabajo de tesis fue de nivel experimental ya que para demostrar la hipótesis las variables serán manipuladas, prospectivo porque es planeado, de corte transversal debido a que las variables serán medidas antes y después del proceso de extrusión, analítico ya que se realizará una comparación de resultados y con un nivel de alcance explicativo.

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.2.1. POBLACIÓN**

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

La variedad de *Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch) de la ciudad de Ica proveniente del fundo Paracas Verde.

#### **3.2.2. MUESTRA**

200 kg de *Lupinus mutabilis* de la provincia Ancash.

150 kg de *Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch) de la ciudad de Ica proveniente del fundo Paracas Verde.

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la presente investigación la técnica de recolección de datos utilizada fue la experimentación y como instrumentos los ensayos de laboratorio, permitiendo comprobar la hipótesis planteada a través de resultados obtenidos de la medición de nuestras variables estudiadas.

#### **3.3.1. MATERIAS PRIMAS**

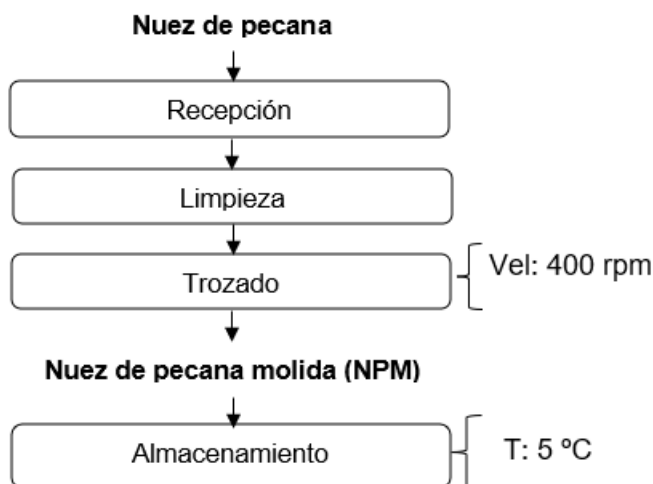
Los Grits de maíz (*Zea mays*) amarillo fue adquirido de la empresa G.E. Corina S.A.C., en la ciudad de Lima Perú, cuyo valor nutricional fueron proteína 7.1%, grasa 0.6%, fibra 0.9%, cenizas 0.8% y humedad 11.81%. La harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) fue obtenido de la empresa TARWICORP S.A.C. en Lima Perú, su aporte nutricional (en 100 g) está dado por proteína 18% (48.5 g), grasas totales 7% (22.4 g), carbohidratos 3% (22.0 g) y fibra dietética 14% (7.5 g). La nuez de pecana [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] fue adquirida en el mercado local de Ica Perú, esta fue pelada para posteriormente ser molida, su aporte nutricional (en 100 g) está dado por proteína total 9.48 g, grasa 67.73 g, fibra cruda 2.94 g, carbohidratos totales 17.28 g, cenizas 1.24 g y humedad 4.27 g. Tales materias primas pueden visualizarse en el Anexo 5.

#### **a. OBTENCIÓN DE NUEZ DE PECANA MOLIDA**

El proceso se muestra gráficamente en la Figura 14 y las imágenes captadas como evidencia se encuentran en el Anexo 6.

- a. Recepción:** Las pecanas fueron recibidas y pesadas.
- b. Limpieza:** Esta operación se efectuó de forma manual con el objeto de separar materiales extraños (piedras, pajas, etc.) de las nueces de pecana. Además, se retiró el hueso interno de las pecanas.

- c. **Trozado:** Se llevó a cabo mediante el uso del equipo Robot Coupe, se realizó el molido de la nuez de pecana para reducir el tamaño (Anexo 6).
- d. **Almacenamiento:** Se pesaron y se almacenaron las pecanas trozadas para su posterior uso.



**Gráfico 14.** Diagrama de flujo para la obtención de nuez de pecana molida (NPM).

### 3.3.2. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

Las mezclas fueron 6 kg por cada formulación y se establecieron en proporciones porcentuales en peso, teniendo como matriz al grits de maíz (90%) y harina de integral (6.1 – 10%) más nuez de pecana molida (0 – 3.9%), esto de acuerdo con el diseño experimental (Tabla 12) donde se establecieron 12 combinaciones y 3 repeticiones. Las formulaciones fueron mezcladas de forma homogénea y se acondicionaron al nivel de humedad establecido en el diseño experimental (13, 15 y 17%).

### 3.3.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA HUMEDAD

El contenido de humedad de cada mezcla se muestra en el diseño experimental (Tabla 12), se calculó la cantidad de agua necesaria para

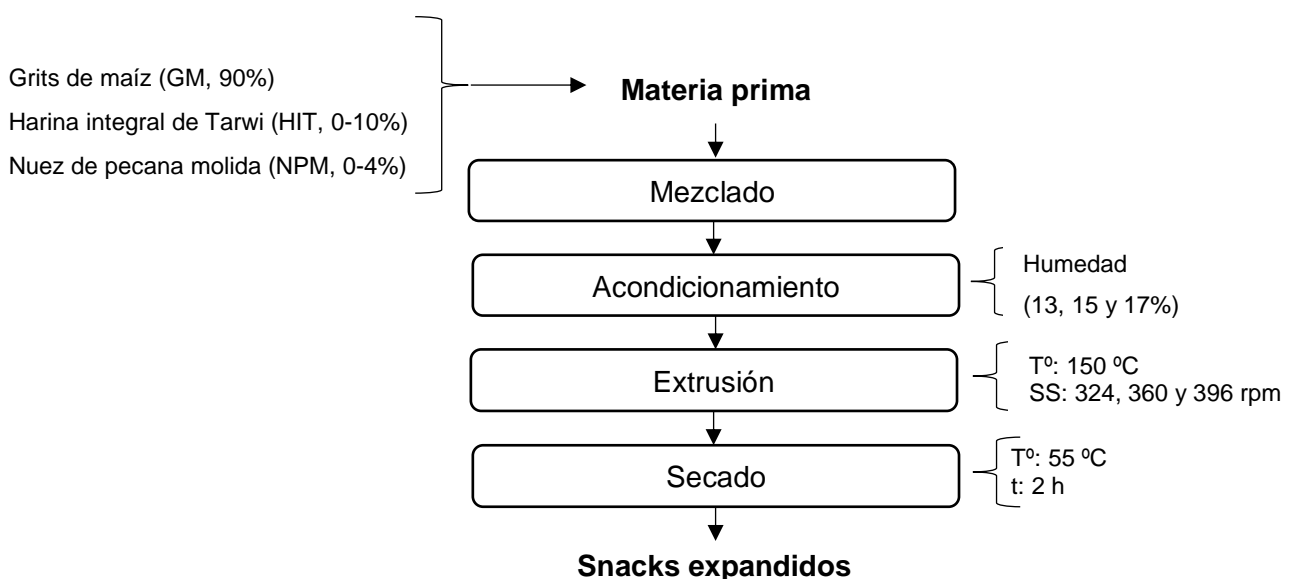
alcanzar el porcentaje de humedad establecido para cada muestra. El volumen de agua añadido ( $W$ , ml) se calculó mediante la ecuación 1:

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

donde:  $M_f$  es el contenido final de humedad de la mezcla (%),  $M_i$  es la humedad inicial de la mezcla (%), y  $TM$  es la masa total de la mezcla (g).

### 3.3.4. PROCESO DE EXTRUSIÓN

La figura 15, muestra el proceso de extrusión el cual se llevó a cabo con una extrusora de doble tornillo corrotacional Galix Tech (EB6-60X) bajo control de temperatura en dos zonas de calentamiento (zona 1= 94 °C y zona 2 = 150 °C), el cual tuvo una longitud de cañón de 85 cm, diámetro interno de 6.53 cm ( $L/D = 13.02$ ) y una matriz de salida de 6.3 mm de diámetro. El flujo de alimentación fue de 66 kg/h, humedad de 13, 15 y 17% y velocidad de tornillo de 324, 360 y 396 rpm. Los extruidos fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas en bolsas de polipropileno bajo refrigeración hasta su análisis.



**Gráfico 15.** Diagrama de flujo de procesamiento para la obtención de extruidos.

### 3.3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS

#### a. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS Y EXTRUIDOS

La composición química de las materias primas se realizó de acuerdo con los métodos AOAC, contenido de humedad (método 925.10), contenido de grasa total (método 983.23), contenido de proteínas totales (método NTP 205.042:1976, utilizando un factor de conversión de proteínas de 5,75), contenido de cenizas (método 923.03), mediante el método AOCS se determinó el contenido de fibra cruda (procedimiento estándar Ba 6a-05), y el contenido de carbohidratos se determinó por cálculo matemático. El cálculo de composición nutricional de los extruidos fue teórico siguiendo lo propuesto de Linares-García et al. (2019) y tomando en cuenta los porcentajes de las materias primas reportados en la tabla 13.

#### b. RELACIÓN DE EXPANSIÓN (RE) Y DENSIDAD APARENTE (DA).

La relación de expansión y la densidad aparente fueron evaluadas de acuerdo con Asif et al. (2023). El diámetro de la expansión de los extruidos se midió con un vernier y se repitió 10 veces para cada muestra, los valores se dividieron por el diámetro de la matriz (6.34 mm) y se midió de acuerdo con la ecuación 2.

$$\text{Relación de expansión} = \frac{\text{Diámetro de la muestra}}{\text{Diámetro de la matriz de extrusión}} \quad (2)$$

La densidad aparente de los extruidos se calculó a partir de 10 mediciones aleatorias de longitud (L, cm) y diámetro (D, cm) utilizando un vernier para estimar el volumen medio de los extruidos, mientras que la masa (m, g) de los extruidos se midió utilizando una balanza analítica. Posteriormente, la densidad aparente se calculó con la ecuación 3.

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{4m}{\pi D^2 L} \quad (3)$$

### **c. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)**

La extracción y cuantificación de CFT se realizó a las materias primas y a los extruidos, de acuerdo al método modificado por Chávez et al. (2017), que está basado en la cuantificación espectrofotométrica del complejo de coloración formado por la reacción de los CFT y el reactivo Folin-Ciocalteu. Para la extracción, se pesó  $2,5 \pm 0,0010$  g de muestra molida en una fiola ámbar de 25 mL y se aforó con acetona al 70% (v/v), se agitó en vortex (MX-S, DLAB, China) por 1 min y dejando reposar por 4 min, esto durante 30 min. Después se filtró el extracto con apoyo de papel cuantitativo en beaker de 50 mL, luego se tomó 1 mL y se aforó en una fiola volumétrica de 10 mL con agua destilada. Se realizó por triplicado.

Posteriormente, se preparó las soluciones de Folin-Ciocalteu al 10% (v/v) y de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 7,5% (p/v) ambos con agua destilada. Para la reacción los CFT, en un tubo de ensayo se pipeteó 250  $\mu\text{L}$  del extracto obtenido diluido al 10%, al cual se le añadió 1,25 mL del reactivo Folin-Ciocalteu al 10%, la solución se homogenizó y se dejó reaccionar a temperatura ambiente por 2 min y se adicionó 1 mL de solución de carbonato de sodio 7.5%. Luego de homogenizar, se llevó a baño maría a 50 °C por 15 min y después se colocaron los tubos de ensayo en un baño de hielo por 30 s para estabilizar la reacción. Previamente, se preparó acetona al 7% (v/v) con agua destilada que se utilizará en el blanco. El blanco consistió en la combinación de 250  $\mu\text{L}$  de acetona al 7% con 1,25 mL de Folin-Ciocalteu al 10% y 1 mL de carbonato de sodio al 7.5%, el mismo que siguió todos los pasos de la muestra. Por último, para la cuantificación se tomaron las lecturas de la absorbancia a 760 nm. Se determinó la concentración de ácido gálico ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ ) a 760 nm, utilizando una curva estándar cuyas concentraciones fueron 2.5, 3.5, 5, 7, 8, 10 y 12 mg de ácido gálico/L. Los resultados se expresaron mg GAE/100g de muestra.

La ecuación de la curva de calibración para cuantificación de compuestos fenólicos totales, la cual tuvo un  $R^2=0,9985$  fue la siguiente:

$$y = 0,0624x - 0,039 \quad (4)$$

#### **d. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE**

##### **d.1. OBTENCIÓN DE EXTRACTO**

En la obtención del extracto se utilizaron dos tipos de extracciones, la primera haciendo uso de metanol al 50% y la segunda de acetona al 70%, ambos diluidos en agua destilada. Para ello, en la primera extracción se pesó 1 g de muestra finamente molida en un tubo de centrífuga de 15 mL y se le adicionó 2 mL de metanol al 50% (v/v), luego se homogenizó en vortex por 1 min y cada 20 min intermitentemente se agitó hasta alcanzar un tiempo de 60 min a temperatura ambiente y protegido de la luz. Luego se centrifugó a 3 000 rpm durante 16 min y el sobrenadante se transfirió a una fiola de 5 mL. Seguidamente, en la segunda extracción, al residuo de la primera extracción se le adicionó 2 mL de acetona al 70% (v/v) y se repitió el procedimiento de la primera extracción. Por último, el sobrenadante de la segunda extracción se juntó con la primera y se aforó con agua destilada en la fiola de 5 mL.

##### **d.2. CAPACIDAD DE SECUESTRO DEL ION ABTS<sup>•+</sup>**

La capacidad de secuestro de radicales mediante el ion ABTS<sup>•+</sup> (ácido 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) se determinó utilizando el método modificado descrito por Chávez et al. (2017). El método permite evaluar la capacidad antiradical de la muestra, debido a la decoloración del radical libre preformado por la acción del compuesto antiradicalario. Para la obtención de la solución diluida de ABTS<sup>•+</sup>, se pesó 0.1920 g de ABTS<sup>•+</sup> (solución A) y se mezcló con 50 mL de agua destilada. Luego, se preparó la solución B de persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ), en donde se pesó 0.3780 g de persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) y se mezcló con agua destilada. Posteriormente, se mezclaron 10 mL de la solución A y 0.176 mL de la solución B, ambas se

homogenizaron y se mantuvo el radical bajo agitación magnética por 30 min. Posteriormente se almacenó a temperatura ambiente y por 16 h. Transcurrido el tiempo, se preparó la solución diluida de ABTS<sup>•+</sup> en etanol al 95% en agua destilada, en donde se combinó 1,5 mL del radical ABTS<sup>•+</sup> y 100 mL de etanol al 95% y se mantuvo la solución en agitación magnética por 20 min.

La reacción colorimétrica se realizó colocando 90 µL del extracto de la muestra en un tubo de ensayo, al cual se adicionó 3 mL de la solución diluida de ABTS<sup>•+</sup> y se dejó reposar por 4 min. Seguidamente, se procedió a tomar las lecturas de absorbancia a 734 nm de longitud de onda. Respecto al blanco, se mezcló 90 µL de etanol P.A y 3 mL de la solución de ABTS<sup>•+</sup>, se dejó actuar por 4 min y se leyó la absorbancia. Para la determinación de la capacidad antioxidante, se preparó una curva de calibración utilizando las concentraciones de 1, 8, 20, 30 y 40 µM de trolox (ácido 6-hidroxi-2-5-7-8-tetrametilcromo2-carboxílico -C<sub>14</sub>H<sub>18</sub>O<sub>4</sub>) a 734 nm. Los resultados se expresaron µM Trolox equivalente/100 g de muestra. La ecuación empleada, a partir de la curva estándar de trolox que tuvo un R<sup>2</sup>=0,9990 fue la siguiente:

$$y = 0,0294x - 0,0268 \quad (5)$$

### **d.3. CAPACIDAD DE SECUESTRO DEL ION DPPH<sup>•</sup>**

La capacidad de secuestro de radicales mediante el ion DPPH<sup>•</sup> (2,2-Diphenyl-1-picryl-hidrazil) se determinó utilizando el método modificado descrito por Chávez et al. (2017). Este método permite evaluar la capacidad antiradical debido a la decoloración por causa de una la acción del compuesto antiradicalario frente radical libre preformado. Para la obtención de la solución DPPH<sup>•</sup> se pesó 0,0030 g de DPPH<sup>•</sup> y se mezcló con metanol PA en una fiola de 100 mL. La reacción de la capacidad antioxidante se realizó colocando 100 µL del extracto de la muestra en un tubo de ensayo, al cual se adicionó 2,9 mL de solución de DPPH<sup>•</sup>, se homogenizó y dejó reposar por 30 min. Luego se tomó las lecturas de absorbancia a 517 nm de longitud de onda. El blanco estuvo compuesto por todos los reactivos y se reemplazó la muestra por agua

destilada, luego de 30 min de reposo se tomó la lectura de absorbancia. Para determinar la capacidad antioxidante se construyó una curva de calibración utilizando concentraciones de 5, 60, 150, 350, 400 y 500  $\mu\text{M}$  trolox (ácido 6-hidroxi-2-5-7-8-tetrametilcromo2-carboxílico -  $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$ ) a 517 nm de longitud de onda. Los resultados se expresaron  $\mu\text{M}$  Trolox equivalente/100 g de muestra. La ecuación empleada, a partir de la curva estándar de trolox que tuvo un  $R^2=0,9861$  fue la siguiente:

$$y = 0,000020042x - 0,0204 \quad (6)$$

#### **e. TANINOS CONDENSADOS TOTALES (TCT)**

La cuantificación de taninos condensados totales (TCT) se determinó utilizando la metodología modificada de Vargas-Solórzano et al. (2014). Para la obtención del extracto a ser analizado, se pesó 1 g de muestra y se mezcló con la solución de metanol P.A al 10% en ácido clorhídrico al 37% (v/v) y se almacenó en refrigeración durante 16 h. Posteriormente, el extracto se centrifugó en una centrifuga (Gemmy PLC-03 Gemmy Industrial Corp., Taiwán) a 4000 rpm por 16 min y por último se filtró. La extracción se hizo en triplicado.

La reacción de TCT se realizó colocando 1 mL del extracto en un tubo de ensayo, al cual se le añadió 5 mL de vanilina a 4% (p/v) en solución de metanol al 10% en ácido clorhídrico al 37% (v/v) y se dejó reposar durante 20 min. Seguidamente se procedió a tomar las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro (Genesys 150 UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, USA) a 500 nm de longitud de onda. Para el blanco, en un tubo de ensayo se colocó 5 mL de vanilina al 4% (p/v) en solución de metanol al 10% en ácido clorhídrico al 37% (v/v), se dejó reposar 20 min y se tomaron las lecturas de absorbancia. Para cuantificar los taninos condensados se utilizó una curva de calibración de catequina cuyas concentraciones fueron: 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 mg/mL. Los resultados fueron expresados en mg de

catequina equivalente/100 g de muestra. La ecuación empleada, a partir de la curva estándar de catequina que tuvo un  $R^2=0,9851$  fue la siguiente:

$$y = 1,3036x - 0,0551 \quad (7)$$

### **3.3.6. MEDIOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para este trabajo de tesis los medios de recolección de datos fueron de acuerdo con el tipo de análisis químico tal como se indica a continuación:

La composición proximal se determinó siguiendo los protocolos oficiales de la AOAC (2023) para cenizas y grasa total, AOCS (2017) para fibra cruda, la NTP 205.042:1976 (Revisada 2017) para proteínas totales y por cálculo matemático para carbohidratos. En los métodos de análisis de AOAC y AOCS para cenizas, grasa total y fibra cruda se terminaron por gravimetría utilizando una balanza analítica. Para la determinación de proteína total, las muestras se sometieron a proceso de digestión, destilación y titulación del nitrógeno amoniacal, el cual se multiplico por el factor de 5.75.

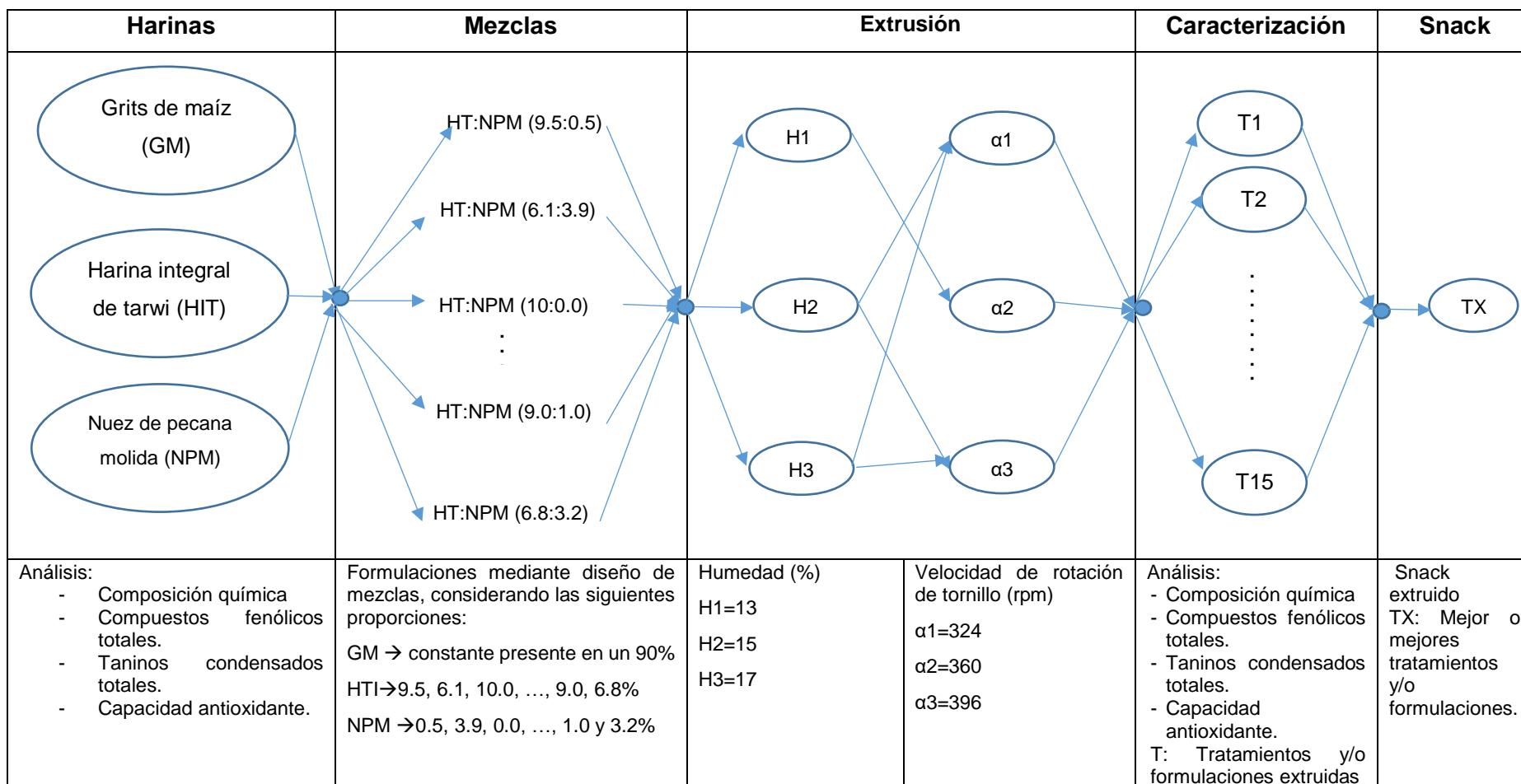
La cuantificación de los fenólicos y taninos totales se midieron bajo la toma de absorbancia utilizando un espectrofotómetro UV-VIS y tomando como estándar curvas de calibración de ácido gálico y catequina, respectivamente.

El análisis de la capacidad antioxidante se realizó midiendo la absorbancia mediante espectrofotómetro UV-VIS y tomando como estándar curvas de calibración de trolox, midiendo el porcentaje de inhibición de radicales libres.

### **3.4. DISEÑO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La figura 16 muestra el esquema experimental de la presente investigación. Se estudió la composición química proximal y compuestos bioactivos totales tanto de las materias primas, como son los grits de maíz (GM), harina integral de tarwi (HIT) y nuez de pecana molida (NPM); como de las muestras extruidas (quince tratamientos y un control). Los análisis químicos evaluados

fueron, contenido de proteínas, grasa, fibra, cenizas y carbohidratos; mientras que los compuestos bioactivos analizados fueron contenido fenólicos totales (CFT), taninos condensados totales (TCT) y capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>. Asimismo, para el diseño de mezclas se consideró dos componentes que son la harina integral de tarwi (HIT) en proporciones de 0 – 10% y la nuez de pecana molida (NPM) en proporciones de 0 – 4%; y dos parámetros de procesos como son la humedad en 13, 15 y 17% y la velocidad de rotación de tornillo en 324, 360 y 396 rpm, obteniendo diversas proporciones de mezcla considerando como matriz al grits de maíz presente en un 90% en cada mezcla (Tabla 12). Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente y se obtuvo un tratamiento óptimo (TX) con buenas características nutricionales y funcionales sin comprometer la expansión.



**Gráfico 16.** Esquema general de la investigación.

### 3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se eligió dos componentes y dos variables de proceso para un diseño de mezclas por D-óptimo. Los componentes de la mezcla consistieron en harina integral de tarwi (HIT,  $Z_1$ ), nuez de pecana molida (NPM,  $Z_2$ ) y dos variables de proceso de extrusión como humedad de alimentación ( $X_1$ , %) y velocidad rotación de tornillo ( $X_2$ , rpm). Las proporciones de los componentes se expresarán en porcentajes con la combinación con dos variables de proceso ( $Z_1+Z_2+X_1+X_2$ ). Se generaron en el diseño experimental D-óptimo 12 combinaciones con 3 repeticiones (Tabla 12), las cuales se contrastaron con un control de 100% grit de maíz.

Para la regresión de los modelos del diseño D-óptimo, se realizaron ajustes lineales (ecuación 8) y cuadráticos (ecuación 9) para cada variable respuesta, en donde se utilizaron diagramas de Pareto para identificar los factores significativos que compusieron las ecuaciones de regresión. Los coeficientes de las variables respuestas y la significancia estadística de cada término de la ecuación se determinaron mediante un análisis de varianza ANOVA, con un nivel de significancia del 95% con la finalidad de comparar el efecto de la incorporación de cada ingrediente en la matriz de harina de maíz. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) se categorizaron según lo recomendado por V. C. S. Toledo et al. (2020) como: bajo ajuste ( $R^2 = 0,5 - 0,69$ ), buen ajuste ( $R^2 = 0,70 - 0,89$ ) y ajuste óptimo ( $R^2 = 0,90 - 0,99$ ) para ellos se consideraran relevantes aquellos modelos ajustados  $\geq 0,70$ .

$$Y = Z_1 \cdot X_1 + Z_2 \cdot X_2 + X_1 \cdot X_1 + X_2 \cdot X_2 \quad (8)$$

$$Y = -Z_1 + Z_2 + Z_1 \cdot Z_2 + X_1 + X_2 + X_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot X_1 + X_2 \cdot X_2 + Z_1 \cdot X_1 + Z_1 \cdot X_2 + Z_2 \cdot X_1 + Z_2 \cdot X_2 \quad (9)$$

donde Y es la respuesta de predicción, Z y X son los coeficientes de la ecuación y  $Z_i$ ,  $X_i$  las proporciones de los componentes.

**Tabla 12.** *Número de tratamientos obtenidos por diseño de mezclas D-optimal*

Tratamientos	Proporción de componentes		Variables de proceso	
	HIT	NPM	Humedad	SS
	(Z <sub>1</sub> , %)	(Z <sub>2</sub> , %)	(X <sub>1</sub> , %)	(X <sub>2</sub> , rpm)
T1	9,5	0,5	17	324
T2	6,1	3,9	17	324
T3	10,0	0,0	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	9,0	1,0	13	360
T12	6,8	3,2	13	360
T13(R)	9,5	0,5	17	324
T14(R)	7,6	2,4	15	396
T15(R)	6,8	3,2	13	360

HIT: Harina integral de tarwi, NPM: Nuez de pecana molida, SS: Velocidad de rotación de tornillo. Esta tabla muestra las 12 mezclas con tres repeticiones obtenidas por diseño de mezclas D-óptimo. (R): repeticiones T13(R) = T1, T14(R) = T9, T15(R) = T12.

Para el análisis de los tratamientos se empleó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía para identificar diferencias significativas entre los 15 tratamientos y para identificar diferencias entre ellos, se utilizó la prueba de múltiples rangos de LSD Fisher y Scott Knott con un nivel de significancia del 95%. Además, se utilizó la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos con el control. Asimismo, se realizó el análisis multivariado y para ello se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) de todas las muestras y variables respuesta de composición y bioactivos totales. También se generó un mapa de calor para identificar la intensidad de cada variable y se acopló a dicho

mapa un agrupamiento jerárquico de los componentes principales (AJCP). Finalmente, se realizó el análisis de correlación de Pearson para establecer las asociaciones positivas o negativas entre variables, en donde se utilizó las categorías fuerza de correlación propuesta por (Teles et al., 2019). En todos los análisis de datos se utilizó el software libre R versión 3.2.4 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria).

### **3.6. ASPECTOS ÉTICOS**

El desarrollo del presente proyecto de investigación no empleó seres humanos para realizar análisis sensorial, ya que todos los aspectos experimentales serán realizados mediante manipulación y análisis de variables fisicoquímicas. Así mismo, será realizado bajo principios de respeto a las personas y sus derechos, búsqueda del bien y con un profundo sentido de justicia.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **4.1. RESULTADOS**

#### **4.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MATERIAS PRIMAS**

La cantidad de proteína de la harina integral de tarwi (HIT) fue de 52.37 % (Tabla 13), siendo este el valor más alto ( $p < 0.05$ ) frente a los valores de la nuez de pecana molida (NPM) y los grits de maíz (GM), los cuales tuvieron 9.90 y 7.65%, respectivamente. En el contenido de cenizas fue HIT la que presentó los mayores valores en comparación con las demás materias primas ( $p < 0.05$ ), seguido de la NPM, mientras que GM fue aquella materia prima que mostró los menores valores de cenizas, dado a que esta matriz alimentaria está desprovista del pericarpio y germen, que en estas partes del grano se concentra la mayor parte de minerales (Serna-Saldivar, 2023). Respecto, al contenido de grasa, la muestra NPM mostró el mayor valor con 70.74% entre todas las muestras ( $p < 0.05$ ), dicho valor está dentro del rango recopilado por Siebeneichler et al. (2023) en diferentes variedades de nuez de pecana.

La cantidad de fibra cruda en HIT fue de 18.69 % (Tabla 13), siendo este el mayor valor entre las materias primas ( $p < 0.05$ ), seguido de la NPM que tuvo un valor de 3.07% y GM fue la materia prima que tuvo el menor aporte, debido a la ausencia de pericarpio el cual aporta la mayor cantidad de fibra en los granos (Rochín et al., 2019). En términos de carbohidratos fue el GM el que mostró la mayor cantidad con 86.61% entre todas las materias primas ( $p < 0.05$ ), esto debido a que el maíz es una materia prima rica en almidón, polímero el cual favorece los fenómenos de expansión y por lo tanto es importante tener grandes cantidades de esta macromolécula para obtener extruidos bien expandidos, porosos, suaves y de baja densidad (Ek et al., 2020).

**Tabla 13.** Composición proximal (expresado en base seca) de los grits de maíz (GM), harina integral de tarwi (HIT) y nuez de pecana molida (NPM) usados como materias primas.

Componentes (%)	GM	HIT	NPM
Proteína	7.65 ± 0.10 <sup>a</sup>	52.37 ± 0.09 <sup>c</sup>	9.90 ± 0.04 <sup>b</sup>
Ceniza	1.02 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.29 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.29 ± 0.02 <sup>b</sup>
Grasa	4.13 ± 0.05 <sup>a</sup>	24.17 ± 0.06 <sup>b</sup>	70.74 ± 0.34 <sup>c</sup>
Fibra cruda	0.59 ± 0.10 <sup>a</sup>	18.69 ± 0.32 <sup>c</sup>	3.07 ± 0.03 <sup>b</sup>
Carbohidratos	86.61 ± 0.06 <sup>c</sup>	2.47 ± 0.43 <sup>a</sup>	14.99 ± 0.35 <sup>b</sup>

Los resultados muestran el promedio ± desviación estándar (n=2). Letras diferentes en la misma fila expresan diferencias significativas (p<0.05) entre las materias primas, usando la prueba (LSD) de Fisher. GM: Grits de maíz, HIT: Harina integral de tarwi, NPM: Nuez de pecana molida.

#### 4.1.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS MATERIAS PRIMAS

La Tabla 14 muestra los compuestos bioactivos totales de las materias primas. El contenido más alto de compuestos fenólicos totales (CFT) se observó en la NPM con un 228,06 mg AGE/100 g en comparación con el GM y la HIT cuyos valores fueron 20,83 mg AGE/100 g y 18,04 mg AGE/100 g, respectivamente. Respecto a la capacidad antioxidante en las materias primas se evaluó mediante los métodos de ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> (Tabla 14), siendo la NPM aquella que mostró los valores más altos en capacidad antioxidante para ambos métodos, cuyos valores fueron de 310,43 y 154 795 μmol TE/100 g, respectivamente frente a GM e HIT (p<0.05). El contenido de taninos condensados totales (TCT) para las materias primas oscilaron entre 0.0001 y 0.6054 mg de catequina equivalente por cada 100 g (mg CE/100 g) (Tabla 14), siendo la nuez de pecana molida (NPM) la que mostró el valor más alto entre las materias primas (p<0.05).

**Tabla 14.** *Compuestos bioactivos de las materias primas*

Materia prima	CFT (mg AGE/100 g)	ABTS <sup>•+</sup>		DPPH <sup>•</sup>		TCT (mg CE/100 g)
		( $\mu$ mol TE/100 g)	%	( $\mu$ mol TE/100 g)	%	
GM	20,41 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	7,90 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	69.75	3 001.99 $\pm$ 71.91 <sup>b</sup>	63.93	0,0002 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
HIT	18,04 $\pm$ 1.11 <sup>a</sup>	2,91 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	28.05	1 235.81 $\pm$ 31.11 <sup>a</sup>	28.70	0,0050 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>
NPM	228,06 $\pm$ 7.42 <sup>b</sup>	310,43 $\pm$ 8.06 <sup>c</sup>	69.11	154 795.00 $\pm$ 875.52 <sup>c</sup>	82.54	0,6057 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>

Resultados muestran el promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3). Las letras diferentes en la misma fila expresan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las materias primas, usando la prueba (LSD) de Fisher. GM: Grits de maíz, HIT: Harina integral de tarwi, NPM: Nuez de pecana molida, CFT: Compuestos fenólicos totales expresado en AGE: ácido gálico equivalente, ABTS<sup>•+</sup>: Ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazilona-6-sulfónico y DPPH<sup>•</sup>: radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo expresados en TE: trolox equivalente y TCT: taninos condensados totales expresado en CE: catequina equivalente

#### 4.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE EXPANSIÓN DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA

La relación de expansión (RE) para los extruidos enriquecidos con HIT y NPM se muestra en la tabla 15, cuyos valores oscilaron entre 3.31 - 4.31 mm. El extruido T6 mostró la RE más alta entre los extruidos obtenidos ( $p < 0.05$ ), tal tratamiento fue semejante al control ( $p > 0.05$ ). En términos de RE el T7 tuvo también un buen valor de expansión de 4.24 cercano al control. Asimismo, se observó que, a mayor contenido de humedad y velocidad de rotación de tornillo produjeron incrementos de RE (Tabla 15). Asimismo, la densidad aparente (DA) de los extruidos enriquecidos con tarwi y pecanas integrales se muestra en la tabla 15 y sus valores oscilaron entre 0.060 – 0.110 g/cm<sup>3</sup>, tales valores en todos los extruidos enriquecidos fueron significativamente mayores en comparación al control que tuvo 0.050 g/cm<sup>3</sup> ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 15.** Propiedades físicas de relación de *expansión y densidad aparente de los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana.*

Tratamiento	GM (%)	HIT (Z <sub>1</sub> , %)	NPM (Z <sub>2</sub> , %)	Humedad (X <sub>1</sub> , %)	SS (X <sub>2</sub> , rpm)	RE	DA (g/cm <sup>3</sup> )
Control	100	0,0	0,0	15	324	4,39 ± 0,17 <sup>h</sup>	0.050 ± 0.003
T1	90	9,5	0,5	17	324	3,96 ± 0,09 <sup>de;α</sup>	0.070 ± 0.003 <sup>d;α</sup>
T2	90	6,1	3,9	17	324	4,08 ± 0,15 <sup>ef;α</sup>	0.072 ± 0.008 <sup>d;α</sup>
T3	90	10,0	0,0	15	324	3,92 ± 0,18 <sup>d;α</sup>	0.071 ± 0.006 <sup>d;α</sup>
T4	90	7,9	2,1	15	324	3,75 ± 0,08 <sup>c;α</sup>	0.077 ± 0.005 <sup>c;α</sup>
T5	90	6,1	3,9	15	324	3,73 ± 0,08 <sup>c;α</sup>	0.075 ± 0.005 <sup>d;α</sup>
T6	90	9,6	0,4	17	396	4,31 ± 0,20 <sup>fg</sup>	0.060 ± 0.007 <sup>f;α</sup>
T7	90	9,4	0,6	15	396	4,24 ± 0,14 <sup>f;α</sup>	0.060 ± 0.007 <sup>f;α</sup>
T8	90	8,3	1,7	15	396	3,92 ± 0,13 <sup>d;α</sup>	0.063 ± 0.005 <sup>f;α</sup>
T9	90	7,6	2,4	15	396	4,07 ± 0,12 <sup>ef;α</sup>	0.065 ± 0.005 <sup>e;α</sup>
T10	90	9,1	0,9	13	360	3,40 ± 0,11 <sup>ab;α</sup>	0.110 ± 0.005 <sup>a;α</sup>
T11	90	9,0	1,0	13	360	3,67 ± 0,16 <sup>c;α</sup>	0.068 ± 0.008 <sup>e;α</sup>
T12	90	6,8	3,2	13	360	3,31 ± 0,10 <sup>a;α</sup>	0.108 ± 0.004 <sup>a;α</sup>
T13(R)	90	9,5	0,5	17	324	4,11 ± 0,15 <sup>f;α</sup>	0.068 ± 0.006 <sup>e;α</sup>
T14(R)	90	7,6	2,4	15	396	4,30 ± 0,15 <sup>fg</sup>	0.081 ± 0.005 <sup>c;α</sup>
T15(R)	90	6,8	3,2	13	360	3,49 ± 0,08 <sup>b;α</sup>	0.102 ± 0.003 <sup>b;α</sup>

Resultados representan la media ± desviación estándar (n=10). Las letras diferentes en la misma fila expresan diferencias significativas (p<0.05) entre los extruidos, usando la prueba (LSD) de Fisher. GM: Grits de maíz, HIT: Harina integral de tarwi, NPM: nuez de pecana molida, SS: Velocidad de rotación de tornillo, (R): repeticiones T1=T13(R), T9=T14(R) y T12=T15(R).

#### **4.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA**

La cantidad de proteínas de los extruidos enriquecidos oscilaron entre 10.47 – 12.12 %, siendo el extruido T3 aquel que mostró el mayor valor entre todos los extruidos con un contenido de proteína del 12.12 % ( $p < 0.05$ ), esto puede ser atribuido principalmente a la mayor proporción de HIT (10%) en la muestra (Tabla 16). Los extruidos T1, T6 y T7 mostraron cantidades semejantes al T3 ( $p > 0.05$ ) mostrando valores de proteínas de 11.91, 11.95 y 11.87%, respectivamente, dado a que estos tratamientos tuvieron cantidades de HIT entre 9.4 – 9.6%.

El contenido de grasa de los extruidos fue mayor en las muestras con el nivel más alto de proporción de NPM (Tabla 16). Los valores de contenido de grasa oscilaron entre 6.14 - 7.95 %, siendo los extruidos T2 y T5 los que mostraron los valores más altos de grasa frente a los demás extruidos ( $p < 0.05$ ). Asimismo, los extruidos T12 y T9 mostraron valores intermedios, siendo estos 7.63 y 7.25 %, respectivamente. El aumento de contenido de grasa en relación con la proporción de la mezcla podría atribuirse al alto nivel de grasa en la NPM (70.74 %, Tabla 13), ya que la pecana es una oleaginosa rica en lípidos, cuyo aporte nutricional radica principalmente por la presencia de ácidos mono y poliinsaturados (Tanwar et al., 2021).

Respecto al contenido de fibra cruda en los extruidos, se reportaron los valores más altos en muestras con mayor proporción de tarwi en sus mezclas (Tabla 16). El extruido T3 obtuvo el valor más alto de fibra ( $p < 0.05$ ), siendo este de 2.40%. Asimismo, los extruidos T1, T6, T7, T8, T10 y T11 mostraron valores semejantes al T3 ( $p > 0.05$ ), cuyos valores de contenido de fibra se encontraron en el rango de 2.14 - 2.34 %. Por lo tanto, los extruidos desarrollados con tarwi y pecana, todos ellos mostraron buena expansión, además tuvieron un mayor aporte tanto en lípidos y fibra en comparación con otros estudios, sin comprometer grandemente la expansión de estos.

En relación con el contenido de cenizas, los valores en todos los extruidos fueron mayores al control ( $p < 0.05$ ), incrementándose el contenido de minerales totales entre 8.8 – 12.7%. Respecto a los carbohidratos en los extruidos enriquecidos, los valores oscilaron entre 78.20 – 78.68% (Tabla 16), siendo los tratamientos T1, T3, T6 y T7 con mayor contenido proteico aquellos que mostraron los menores valores en carbohidratos entre todas las muestras ( $p < 0.05$ ). Asimismo, todos los extruidos enriquecidos mostraron reducciones significativas de carbohidratos del ~9.4% en comparación al control.

**Tabla 16.** Análisis químico proximal (expresado en base seca) de los extruidos a base de grits de maíz (GM) con incorporación de harina integral de tarwi (HIT) y nuez de pecana molida (NPM).

Tratamiento	Diseño experimental					Composición química proximal					
	GM (%)	HIT (Z <sub>1</sub> , %)	NPM (Z <sub>2</sub> , %)	Humedad (X <sub>1</sub> , %)	SS (X <sub>2</sub> , rpm)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)	Materia Seca (%)
Control	100	0,0	0,0	15	324	7.65 ± 0.10	4.13 ± 0.04	0.59 ± 0.10	1.02 ± 0.01	86.61 ± 0.06	86.40 ± 0.06
T1	90	9,5	0,5	17	324	11.91 ± 0.12 a,α	6.37 ± 0.04 g,α	2.32 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.01 a,α	78.26 ± 0.01 f,α	87.03 ± 0.04 a,α
T2	90	6,1	3,9	17	324	10.47 ± 0.11 f,α	7.95 ± 0.05 a,α	1.79 ± 0.07 c,α	1.11 ± 0.03 a,α	78.68 ± 0.04 a,α	87.14 ± 0.03 a,α
T3	90	10	0,0	15	324	12.12 ± 0.14 a,α	6.14 ± 0.04 h,α	2.40 ± 0.06 a,α	1.15 ± 0.02 a,α	78.20 ± 0.01 g,α	87.02 ± 0.06 a,α
T4	90	7,9	2,1	15	324	11.23 ± 0.10 d,α	7.11 ± 0.04 d,α	2.07 ± 0.06 b,α	1.12 ± 0.03 a,α	78.46 ± 0.02 c,α	87.09 ± 0.05 a,α
T5	90	6,1	3,9	15	324	10.47 ± 0.12 f,α	7.95 ± 0.05 a,α	1.79 ± 0.07 c,α	1.11 ± 0.01 a,α	78.68 ± 0.04 a,α	87.14 ± 0.06 a,α
T6	90	9,6	0,4	17	396	11.95 ± 0.13 a,α	6.32 ± 0.04 g,α	2.34 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.04 a,α	78.25 ± 0.01 f,α	87.03 ± 0.07 a,α
T7	90	9,4	0,6	15	396	11.87 ± 0.14 a,α	6.42 ± 0.04 g,α	2.31 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.02 a,α	78.27 ± 0.01 f,α	87.04 ± 0.05 a,α
T8	90	8,3	1,7	15	396	11.40 ± 0.10 c,α	6.93 ± 0.04 e,α	2.14 ± 0.06 a,α	1.13 ± 0.01 a,α	78.41 ± 0.02 d,α	87.07 ± 0.06 a,α
T9	90	7,6	2,4	15	396	11.10 ± 0.12 d,α	7.25 ± 0.04 c,α	2.03 ± 0.06 b,α	1.12 ± 0.03 a,α	78.50 ± 0.03 c,α	87.10 ± 0.07 a,α
T10	90	9,1	0,9	13	360	11.74 ± 0.14 b,α	6.55 ± 0.04 f,α	2.26 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.04 a,α	78.31 ± 0.01 e,α	87.05 ± 0.06 a,α
T11	90	9,0	1,0	13	360	11.70 ± 0.12 b,α	6.60 ± 0.04 f,α	2.24 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.03 a,α	78.32 ± 0.01 e,α	87.05 ± 0.04 a,α
T12	90	6,8	3,2	13	360	10.76 ± 0.11 e,α	7.63 ± 0.05 b,α	1.90 ± 0.07 c,α	1.11 ± 0.01 a,α	78.60 ± 0.03 b,α	87.12 ± 0.03 a,α
T13(R)	90	9,5	0,5	17	324	11.91 ± 0.1 a,α	6.37 ± 0.04 g,α	2.32 ± 0.06 a,α	1.14 ± 0.03 a,α	78.26 ± 0.01 f,α	87.03 ± 0.06 a,α
T14(R)	90	7,6	2,4	15	396	11.10 ± 0.14 d,α	7.25 ± 0.04 c,α	2.03 ± 0.06 b,α	1.12 ± 0.01 a,α	78.50 ± 0.03 c,α	87.10 ± 0.05 a,α
T15(R)	90	6,8	3,2	13	360	10.76 ± 0.13 e,α	7.63 ± 0.05 b,α	1.90 ± 0.07 c,α	1.11 ± 0.03 a,α	78.60 ± 0.03 b,α	87.12 ± 0.04 a,α

Resultados representan la media ± desviación estándar (n=3). GM: Grits de maíz, HIT: Harina integral de tarwi, NPM: nuez de pecana molida, SS: Velocidad de rotación de tornillo, (R): repeticiones T1=T13(R), T9=T14(R) y T12=T15(R). Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas según la prueba Scott Knott y la letra griega (α) indica diferencias significativas entre las muestras extruidas y el control según la prueba de Dunnett (p<0.05).

#### **4.1.5. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA**

El contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) en los extruidos oscilaron entre el rango de 11.62 – 17.53 mg AGE/100 g (Tabla 17). El extruido T12 fue el que tuvo la mayor cantidad de CFT (17.53 mg AGE/100 g) entre todos los tratamientos ( $p < 0.05$ ), esto dado al aporte de CFT de NPM el cual, fue adicionado en 3.2% y además siendo la menor humedad de alimentación de 13%, el parámetro de proceso que afectó menos la degradación de CFT (Figura 17a), la superficie de respuesta de CFT muestra que humedades por encima de 13% hasta 17% producen mayor eficiencia en la transferencia de calor y causan una mayor degradación de CFT, la cual obedece un comportamiento cuadrático con un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) igual a 0.99 (Tabla 18). Tales hallazgos coinciden en términos de humedad de alimentación con lo reportado por Bekele et al. (2021).

Para evaluar la capacidad antioxidante de los extruidos se utilizó la capacidad de secuestro de los radicales  $ABTS^{•+}$  y  $DPPH^•$ , tal como se muestra en la tabla 17, y siendo los tratamientos con mayor contenido de NPM aquellos que tuvieron los mayores valores de capacidad antioxidante por ambos métodos. Los extruidos T2, T5 y T12 mostraron los valores de capacidad antioxidante por  $ABTS^{•+}$  más altos entre los extruidos enriquecidos ( $p < 0.05$ ), con valores de 7.17, 7.41 y 7.32  $\mu\text{mol}$  trolox equivalente por cada 100 g ( $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ ), respectivamente. La superficie de respuesta para  $ABTS^{•+}$  mostró que a 13% de humedad se obtuvieron los mayores valores de capacidad antioxidante por este método (Figura 16b), mientras que a humedades mayores la capacidad antioxidante por  $ABTS^{•+}$  disminuye gradualmente, además el comportamiento de la superficie generada fue cuadrático con un  $R^2_{ajust} = 0.99$  (Tabla 18).

Respecto a la capacidad antioxidante por  $DPPH^•$ , el extruido T2 tuvo el mayor valor de 3670  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  ( $p < 0.05$ ) entre todos los extruidos, esto se produjo con la combinación de parámetros de proceso de 17% de humedad y

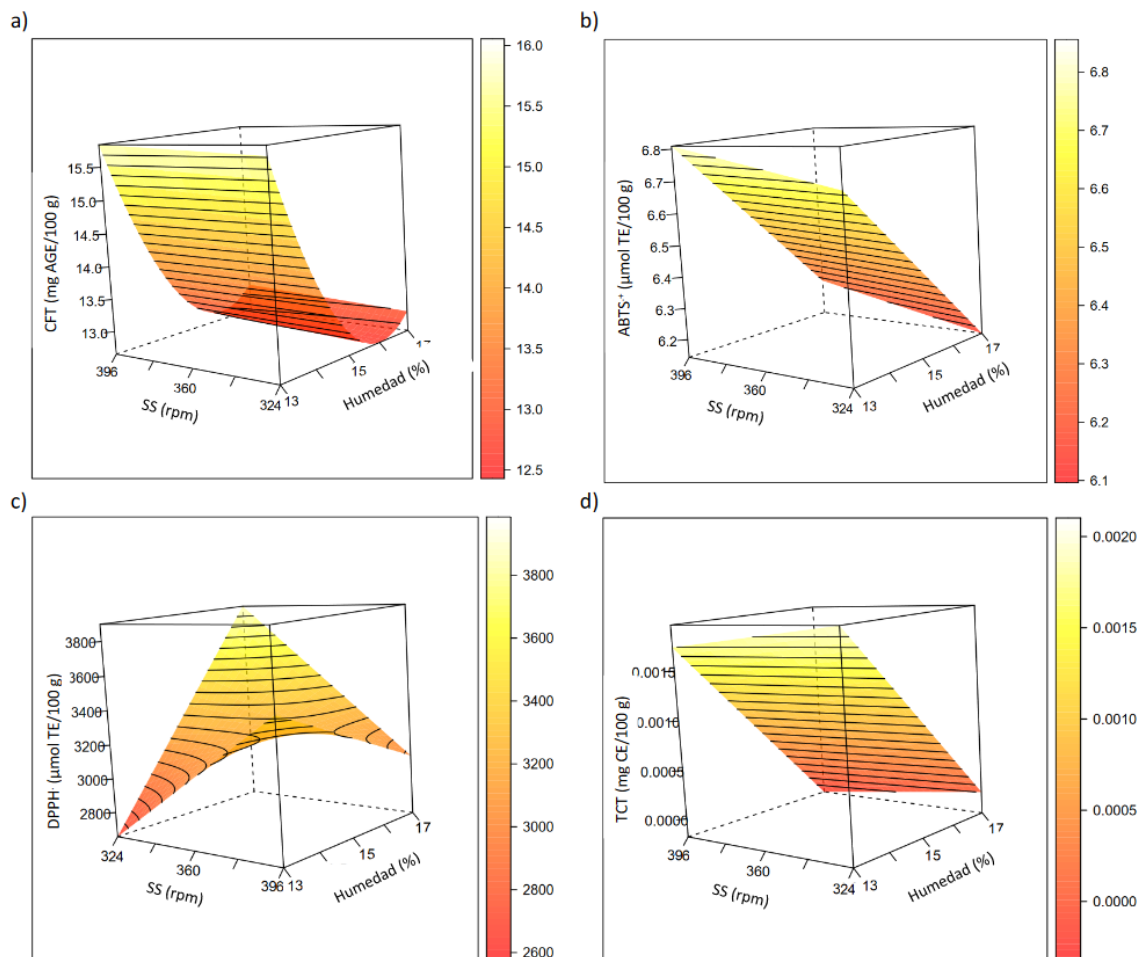
324 de velocidad de rotación de tornillo (Figura 17c), seguido de los tratamientos T5, T9 y T12, cuyos valores fueron significativamente menores 3478.8, 3486.9 y 3514.1  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ , respectivamente. Esto debido al efecto entre menor humedad (13 y 15%) y mayor velocidad de rotación de tornillo (360 y 396 rpm), los cuales afectaron la capacidad antioxidante por el mecanismo de DPPH<sup>\*</sup> (Allai et al., 2023). La superficie de respuesta generada para DPPH<sup>\*</sup> tuvo un comportamiento cuadrático con un  $R^2_{\text{ajust}} = 0.99$  (Tabla 18).

Los taninos condensados totales (TCT) de los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana se muestran en la tabla 17 y sus valores oscilaron entre 0.0002 – 0.0043 mg de catequina equivalente por 100 g (mg CE/100 g), los cuales se hallaron a nivel traza (Tabla 17). El extruido T12 tuvo 0.0043 mg CE/100 g de TCT, siendo este el valor más alto entre todos los extruidos ( $p < 0.05$ ). Esto puede atribuirse principalmente a que posee una de las proporciones más altas de NPM que fue incluida en un 3.2% y además fue procesada con una humedad del 13% y una velocidad de tornillo intermedia de 360 rpm, parámetros que degradaron menos los TCT. Esto evidencia al igual que en CFT y capacidad antioxidante por ABTS<sup>\*\*</sup>, que el porcentaje de humedad de proceso fue un factor que afecta significativamente a la concentración de TCT, tal comportamiento se puede visualizar en la Figura 17d la cual tuvo un comportamiento cuadrático con buen ajuste de  $R^2_{\text{ajust}} = 0.87$  (Tabla 18).

**Tabla 17.** *Compuestos bioactivos de los extruidos enriquecidos con harina integral de tarwi y nuez de pecana molida*

Tratamiento	Diseño experimental					Compuestos bioactivos			
	GM (%)	HIT (Z <sub>1</sub> , %)	NPM (Z <sub>2</sub> , %)	Humedad (X <sub>1</sub> , %)	SS (X <sub>2</sub> , rpm)	CFT (mg AGE/100 g)	ABTS <sup>++</sup> (μmol TE/100 g)	DPPH <sup>•</sup> (μmol TE/100 g)	TCT (mg CE/100 g)
Control	100	0.0	0.0	15	324	13.24 ± 0.36	5.43 ± 0.23	3156.6 ± 151.3	NC
T1	90	9.5	0.5	17	324	12.24 ± 0.33 <sup>e</sup>	5.33 ± 0.11 <sup>f</sup>	2536.7 ± 49.6 <sup>e,α</sup>	0.0004 ± 0.00 <sup>f</sup>
T2	90	6.1	3.9	17	324	14.00 ± 0.11 <sup>d</sup>	7.17 ± 0.21 <sup>a,α</sup>	3670.0 ± 59.9 <sup>a,α</sup>	0.0002 ± 0.00 <sup>f</sup>
T3	90	10.0	0.0	15	324	11.70 ± 0.45 <sup>f,α</sup>	5.01 ± 0.28 <sup>g,α</sup>	3170.3 ± 118.7 <sup>c</sup>	NC
T4	90	7.9	2.1	15	324	13.64 ± 0.19 <sup>d</sup>	6.33 ± 0.21 <sup>d,α</sup>	3171.6 ± 84.8 <sup>c</sup>	0.0002 ± 0.00 <sup>f</sup>
T5	90	6.1	3.9	15	324	14.15 ± 0.27 <sup>d</sup>	7.41 ± 0.20 <sup>a,α</sup>	3478.8 ± 53.3 <sup>b,α</sup>	0.0019 ± 0.00 <sup>c</sup>
T6	90	9.6	0.4	17	396	12.28 ± 0.74 <sup>e</sup>	6.10 ± 0.22 <sup>d,α</sup>	3147.3 ± 65.2 <sup>c</sup>	0.0005 ± 0.00 <sup>f</sup>
T7	90	9.4	0.6	15	396	11.62 ± 0.71 <sup>f,α</sup>	5.50 ± 0.18 <sup>f</sup>	2740.7 ± 150.1 <sup>d,α</sup>	0.0004 ± 0.00 <sup>f</sup>
T8	90	8.3	1.7	15	396	12.42 ± 0.53 <sup>e</sup>	6.52 ± 0.18 <sup>c,α</sup>	3246.0 ± 132.3 <sup>c</sup>	0.0005 ± 0.00 <sup>f</sup>
T9	90	7.6	2.4	15	396	14.28 ± 0.15 <sup>d</sup>	6.74 ± 0.18 <sup>b,α</sup>	3486.9 ± 57.1 <sup>b,α</sup>	0.0005 ± 0.00 <sup>f</sup>
T10	90	9.1	0.9	13	360	15.32 ± 0.83 <sup>c,α</sup>	6.90 ± 0.11 <sup>b,α</sup>	2565.6 ± 88.9 <sup>e,α</sup>	0.0012 ± 0.00 <sup>d</sup>
T11	90	9.0	1.0	13	360	14.12 ± 0.83 <sup>d</sup>	6.27 ± 0.09 <sup>d,α</sup>	2782.8 ± 119.1 <sup>d,α</sup>	0.0009 ± 0.00 <sup>e</sup>
T12	90	6.8	3.2	13	360	17.53 ± 0.78 <sup>a,α</sup>	7.32 ± 0.06 <sup>a,α</sup>	3514.1 ± 16.4 <sup>b,α</sup>	0.0043 ± 0.00 <sup>a</sup>
T13(R)	90	9.5	0.5	17	324	11.55 ± 0.11 <sup>f,α</sup>	5.67 ± 0.15 <sup>e</sup>	2548.7 ± 83.5 <sup>e,α</sup>	0.0003 ± 0.00 <sup>f</sup>
T14(R)	90	7.6	2.4	15	396	13.37 ± 0.46 <sup>d</sup>	6.11 ± 0.18 <sup>d,α</sup>	3432.2 ± 55.8 <sup>b,α</sup>	0.0007 ± 0.00 <sup>e</sup>
T15(R)	90	6.8	3.2	13	360	16.46 ± 0.11 <sup>b,α</sup>	7.50 ± 0.12 <sup>a,α</sup>	3390.6 ± 10.5 <sup>b,α</sup>	0.0025 ± 0.00 <sup>b</sup>

Resultados representan la media ± desviación estándar (n=3). GM: Grits de maíz, HIT: Harina integral de tarwi, NPM: nuez de pecana molida, SS: Velocidad de rotación de tornillo, CFT: Compuestos fenólicos totales expresado en AGE: ácido gálico equivalente, ABTS<sup>++</sup>: Ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazilona-6-sulfónico y DPPH<sup>•</sup>: radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo expresados en TE: trolox equivalente, TCT: taninos condensados totales expresado en CE: catequina equivalente y NC: no cuantificado. Las letras minúsculas indican diferencias entre las muestras extruidas según la prueba Scott Knott y la letra griega (α) indica diferencias significativas entre las muestras extruidas y el control según la prueba de Dunnett (p<0.05).



**Gráfico 17.** Ploteo de superficies de respuesta en 3D para a) compuestos fenólicos totales, b) capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup>, c) capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> y d) taninos condensados totales.

**Tabla 18.** Modelo matemático de los compuestos bioactivos

Variable	Ecuación matemática	Modelo	Significancia del modelo (p-value)	R <sup>2</sup> ajust
CFT	$1.11Z_1+1.53Z_2-1.38X_1+2.10X_2+1.49X_1^2+0.09Z_1Z_2+0.04Z_1X_1-0.27Z_1X_2+0.72X_1X_2$	Cuadrática	0.00	0.99
ABTS <sup>•+</sup>	$0.52Z_1+0.56Z_2-0.04X_1-0.76X_2+0.48X_1^2+0.07Z_1Z_2-0.02Z_1X_1+0.09Z_1X_2+0.26X_1X_2$	Cuadrática	0.00000004	0.99
DPPH <sup>•</sup>	$279.18Z_1+1122.42Z_2+971.59X_1+1712.87X_2-21.98X_1^2-80.75Z_1Z_2-93.48Z_1X_1-199.38Z_1X_2+477.27X_1X_2$	Cuadrática	0.00000003	0.99
TCT	$0.00003Z_1+0.00174Z_2-0.00612X_1-0.00054X_2+0.00040X_1^2-0.00022Z_1Z_2+0.00062Z_1X_1+0.00009Z_1X_2-0.00026X_1X_2$	Cuadrática	0.00342165	0.87

CFT: Compuestos fenólicos totales expresado, ABTS<sup>•+</sup>: Ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazilona-6-sulfónico, DPPH<sup>•</sup>: radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo y TCT: taninos condensados totales. Z<sub>1</sub>: Harina integral de tarwi, Z<sub>2</sub>: nuez de pecana molida, X<sub>1</sub>: humedad (%), X<sub>2</sub>: velocidad de rotación de tornillo (rpm).

#### **4.1.6. ANÁLISIS MULTIVARIADO, MAPA DE CALOR Y CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES DE COMPOSICIÓN Y BIOACTIVOS EN LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS**

El análisis de componentes principales compuesto por Dim1 y Dim2 explican el 86.4% de la variabilidad de las variables de respuesta para 15 extruidos enriquecidos y un control (Figura 18a). En tal gráfica se muestran los tratamientos localizados en diferentes cuadrantes, en el cuadrante superior derecho se localizaron las muestras T2, T5, T9, T12, T14 y T15, entre dichos tratamientos, T2 y T5 tuvieron la mayor cantidad de grasa total como se muestra en la figura 17b (ver en Tabla 16). Asimismo, tales hallazgos se visualizan en el mapa de calor (Figura 18c) en donde ambos tratamientos presentan la mayor intensidad representados por el color rojo intenso para el componente grasa. En el cuadrante inferior derecho se posicionaron los tratamientos T1, T3, T4, T6, T7, T8, T10, T11 y T13, los cuales resaltaron por tener las mayores cantidades de proteínas, fibra y cenizas (ver en Tabla 16), en donde el tratamiento T3 fue aquel que resaltó por tener las mayores cantidades de proteínas, fibra y cenizas tal como se muestra en color rojo en la figura 17c. Mientras que, el control tuvo las menores cantidades de los componentes anteriormente mencionados, los cuales se pueden visualizar de color verde intenso en el mapa de calor (Figura 18c), sin embargo, este se destacó por tener la mayor cantidad de carbohidratos (Figura 17b).

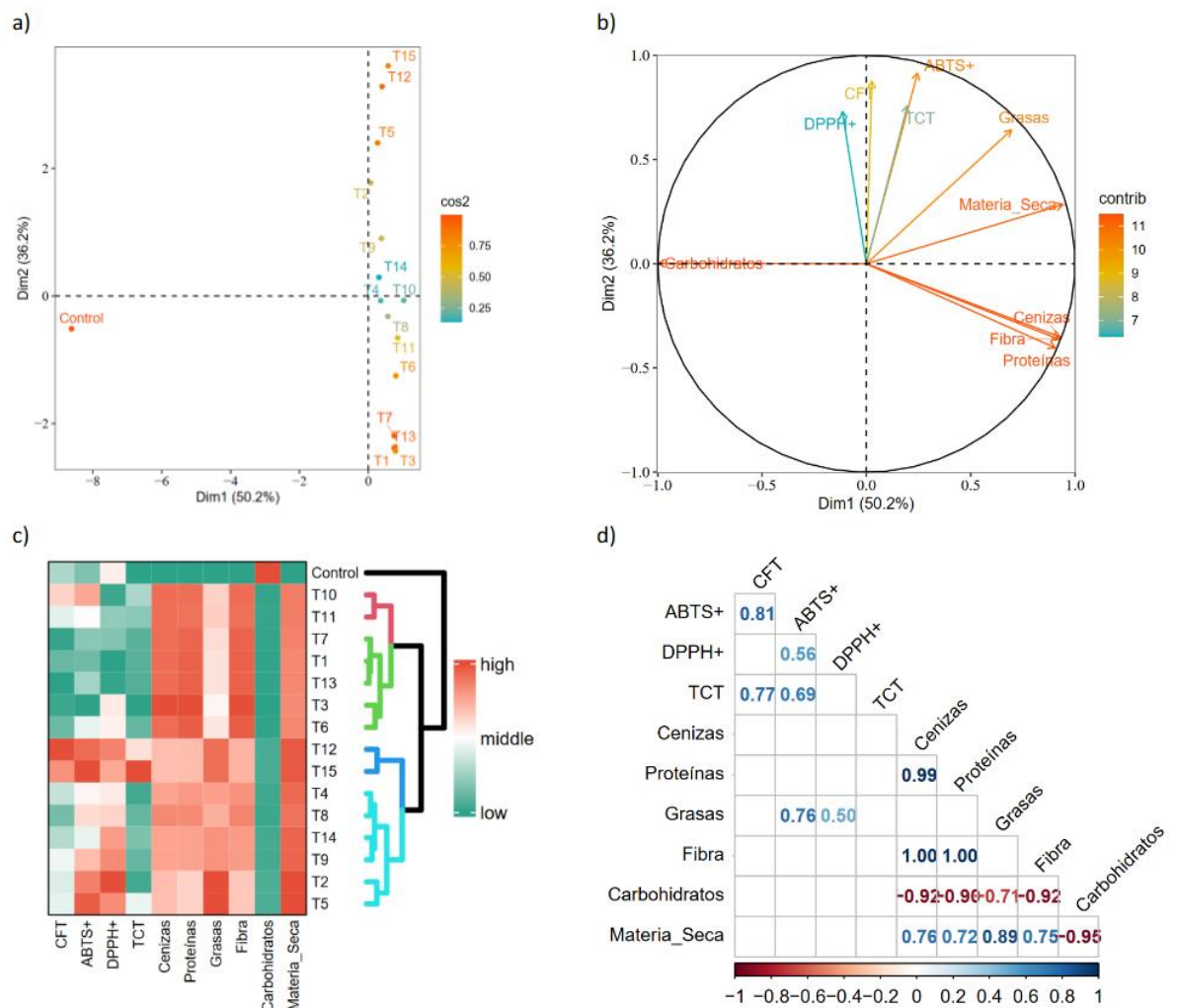
Respecto a bioactivos en los extruidos T2, T5, T9, T12, T14 y T15 fueron aquellos que destacaron en bioactivos totales. Siendo el tratamiento T12 el mejor entre todas las muestras dado a que tuvo las mayores concentraciones de compuestos fenólicos totales (CFT), capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y taninos condensados totales (TCT), los cuales se pueden visualizar por la mayor intensidad del color rojo en el mapa de calor (Figura 18c). A pesar de que este tratamiento destacó en la mayor parte de bioactivos, no mostró la mayor capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup>, sin embargo, su concentración fue

relativamente elevada tal como muestra el color rojo tenue en el mapa de calor (Figura 18c).

En el correlograma de Pearson (Figura 18d) se encontraron muy buenas correlaciones positivas entre proteína con cenizas y fibra, así como cenizas con fibra con un coeficiente de correlación ( $0.99 > r \leq 1.00$ ), evidenciando así que el aporte nutricional de estos tres componentes en simultaneo al adicionar tarwi y nuez de pecana integrales en los extruidos a base de maíz. Por otro lado, se encontraron buenas y muy altas correlaciones negativas entre carbohidratos con cenizas, proteínas, grasas y fibra ( $-0.71 > r \leq -0.92$ ), esto muestra que la materia seca principalmente está compuesta por proteínas, fibras, cenizas y grasas, dado a que poseen buenas correlaciones entre sí de  $0.72 > r \leq 0.89$ , asimismo, dichos componentes son principalmente atribuidos a la adición de tarwi y nuez de pecana. Mientras que la ausencia de estos dos componentes significaría en una reducción de la materia seca y consecuente incremento de carbohidratos tal como se muestra en la correlación negativa ( $r=-0.95$ ) en la figura 18d.

Respecto a los bioactivos totales y capacidad antioxidante se encontraron buenas correlaciones entre CFT con ABTS<sup>•+</sup> y TCT ( $0.77 > r \leq 0.81$ ), esto demuestra la relación directa que existe entre los fenólicos totales y la concentración de taninos condensados, así como una elevada actividad antioxidante ligada a estos compuestos. Asimismo, se hallaron moderadas correlaciones positivas entre ABTS<sup>•+</sup> con DPPH<sup>•</sup> y TCT ( $0.56 > r \leq 0.69$ ), lo que evidencia la relación existente entre ambos mecanismos de secuestro de radicales libres y además la asociación entre taninos condensados y el poder antioxidante principalmente por ABTS<sup>•+</sup>. Finalmente, se encontró moderada y alta correlación positiva entre el componente graso con la capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> y ABTS<sup>•+</sup> ( $0.50 > r \leq 0.76$ ), respectivamente. Esta interesante correlación indica que el incremento del componente graso incrementa la capacidad antioxidante, ya que en este componente se

encuentran antioxidantes naturales tales como carotenoides provenientes del tarwi y tocoferoles provenientes de la nuez de pecana.



**Gráfico 18.** Análisis de los componentes principales (ACP) de los extruidos. a) Gráfico de puntuación de las muestras extruidas, b) Gráfico de intensidad de carga del ACP para las variables respuesta, c) Mapa de calor con agrupación jerárquica para los extruidos por cada variable y d) Correlograma de Pearson para composición y bioactivos.

## **4.2. DISCUSIÓN**

### **4.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MATERIAS PRIMAS**

Las cantidades de proteína en HIT fueron mayores a los obtenidos por Berru et al. (2021); Czubinski et al. (2021), los cuales reportaron valores de proteína de 40.9 y 44.7%, respectivamente. Asimismo, los valores de proteína de HIT fueron próximos a los valores reportados por Villacrés et al. (2020), los cuales oscilaron entre 54 – 56% de proteína en lupino Andino. Estas diferencias en proteína pueden atribuirse posiblemente a la variabilidad genética entre lupino Andino, por causa de las condiciones agronómicas y debido a las condiciones climáticas según la región demográfica en donde son cultivadas.

La cantidad de grasa de HIT fue de 24.17%, siendo este un valor importante dado a que no existen leguminosas convencionales con estas cantidades de lípidos, así mismo este valor fue mayor a lo reportado por Berru et al. (2021), los cuales oscilaron en un ~22%. En el caso de NPM e HIT las cantidades de carbohidratos fueron 14.99 y 2.47%, respectivamente, tales valores evidencian bajos aportes de estas materias primas en términos de carbohidratos, siendo estas primordialmente del tipo fibras tanto solubles e insolubles, las cuales son favorables desde un punto de vista nutricional saludable (Gill et al., 2021).

### **4.2.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS MATERIAS PRIMAS**

Los valores de CFT en NPM se encuentra próximos al valor de 302.67 mg AGE/100 g reportado por Tanwar et al. (2021). No obstante, otros trabajos de investigación en nuez de pecana realizados por Reis Ribeiro et al. (2020), han reportado valores mucho más altos en CFT, los cuales oscilaron entre 1988 – 4525 mg AGE/ 100 g para diferentes cultivares de pecana. Sin embargo, nuestros valores de CFT fueron semejantes a los valores reportados por Bolling et al. (2011) en almendras, nuez de Brasil (castañas), nuez de caju y macadamias. En cuanto a los CFT de HIT, el valor obtenido fue menor frente

a 514.6 mg AGE/100 g reportado por Czubinski et al. (2021) en semillas de tarwi dulce cultivadas en Polinia. De igual forma, los GM también presentaron valores menores frente a lo reportado por Jozinović et al. (2021) cuyo valor fue 61.38 mg AGE/100 g para sémola de maíz.

Los valores de capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> en NPM fueron menores frente a los valores de 7590 – 8340  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  reportados por de la Rosa et al. (2011) en nuez de pecana. Pero la capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> en NPM fue mayor en alrededor de ~14 veces en comparación al mismo autor. En cuanto a HIT la capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> fueron de 2,91 y 1235.81  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ , respectivamente. La capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> en HIT fue menor a 4017  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  reportado por Estivi et al. (2022) en 33 ecotipos de semillas desamargadas de *L. mutabilis*, sin embargo la capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> en HIT fue mayor a lo reportado por Siger et al. (2012) cuyos valores oscilaron entre 351 – 903  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  en semillas de *L. albus*, *luteus* y *angustifolius*. Mientras que, la capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> para GM medido en porcentaje de inhibición fue de 63.93%, siendo este valor mayor a 17.18 % reportado por Jozinović et al. (2021) en el mismo método.

La cantidad de TCT en NPM fue de 0.6054 mg CE/100 g, el mismo que fue muy bajo en comparación a los resultados reportados por de la Rosa et al. (2011); Tanwar et al. (2021) los cuales reportaron valores de TCT de ~2350 mg CE/100 g y 253.54 mg GAE/100 g, respectivamente. Dichos valores tan variables entre estas investigaciones pueden estar asociado a diversos factores tales como la variedad de nuez de pecana, lugar geográfico de cultivo, condiciones agronómicas y lo más importante debido al periodo postcosecha transcurrido de la nuez de pecana hasta su utilización. En este último, tras el período de almacenamiento de la nuez, esta puede sufrir degradación de los compuestos bioactivos.

#### **4.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE EXPANSIÓN DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA**

Los valores de RE en los extruidos enriquecidos con HIT y NPM fueron mayores que los extruidos optimizados reportados por Allai et al. (2023); Muñoz-Llandes et al. (2023) and Kaur et al. (2023) cuyos valores fueron 2.7 – 2.84, 0.92 – 2.04 y 2.26 – 3.17 mm, respectivamente, cuando utilizaron castaña de indias, lupino germinado y mezcla de sorgo con frejol mungo. Esto indica que los prototipos obtenidos mostraron mejor expansión y desarrollo de producto. Asimismo, los extruidos T6, T7 y T13, que mostraron mayor RE tuvieron los menores valores de DA, tal comportamiento inverso entre expansión y densidad aparente de productos expandidos han sido demostrados por Asif et al. (2023); Muñoz-Llandes et al. (2023), los cuales informaron valores de DA de 0.104 – 0.225 y 0.437 – 0.643 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, siendo nuestros valores de DA menores en comparación con dichos valores, lo que demuestra que los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana integrales, presentaron mejores propiedades de expansión frente a los trabajos reportados por la literatura.

#### **4.2.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA**

Los valores de proteína en los extruidos enriquecidos fueron semejantes a los extruidos a base de *L. angustifolius* reportados por Muñoz-Llandes et al. (2023), a pesar de que dicho autor incluyó el 47% de lupino germinado, mientras que en nuestros prototipos tan solo se incluyó un máximo de 10%. Asimismo, nuestros extruidos obtenidos tuvieron mejor relación de expansión, los cuales oscilaron entre 3.31 – 4.31 frente a 0.92 – 2.04 de los extruidos con lupino germinado. Esto demuestra que nuestros prototipos alcanzaron buenos niveles de proteína, sin comprometer excesivamente las características de expansión. Por otro lado, los valores obtenidos de proteína fueron mayores a

los reportados por Adem et al. (2020) cuyos contenido proteico fue de ~10.6 % en muestras con sustitución del 10% de contenido de *L. albus*.

En relación al contenido de grasa de los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana, estos se encontraron dentro del rango de 3.06 – 9.41 % obtenido por Sobowale et al. (2021) para snacks extruidos enriquecidos con mijo perlado y nuez africana. Asimismo, los valores de fibra fueron más altos a los reportados por Adem et al. (2020), los cuales oscilaron entre 1.7 – 1.9 % de fibra en extruidos enriquecidos con 10% de *L. albus* en sus mezclas. Mientras que, los valores de carbohidratos fueron mayores a los extruidos optimizados por Adem et al. (2020); Sobowale et al. (2021) cuando utilizaron el primero *L. albus*, y el segundo mijo y nuez africana.

#### **4.2.5. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS CON TARWI Y PECANA**

Los valores de CFT en los extruidos obtenidos fueron menores a los reportados por Farhana Meharaj Allai et al. (2022), que tuvo 587 mg AGE/100 g en extruidos optimizados a base de granos integrales con adición de 2.5% de castaña de indias y bajo parámetros de proceso de humedad/SS/T<sup>o</sup> que fueron de 12%/380 rpm/130 °C, respectivamente. Tales extruidos mostraron mayor retención de CFT dado a que tuvieron menor humedad, menor tiempo de residencia y menor temperatura de proceso, lo que causó menor degradación tras el proceso de extrusión de los compuestos fenólicos.

Respecto a los valores de capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> en los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana, estos fueron menores frente a los reportados por Félix-Medina et al. (2020), quien reportó valores de 7147 – 8111  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  para extruidos optimizados a base de maíz y enriquecido con frejol común en proporciones de 16, 30 y 40%. Asimismo, los valores de capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> en los extruidos obtenidos, tuvieron un porcentaje de inhibición que osciló entre 53.47 – 78.38%, dichos valores fueron más altos frente a 18.33% reportado por Farhana Meharaj Allai et al. (2022) en extruido

enriquecido con castaño de indias. Sin embargo en otras investigaciones nuestros valores de capacidad antioxidante por DPPH\* fueron menores en comparación a 89.74% reportado por Naseer et al. (2021) en extruidos optimizados con torta de almendras desgrasadas adicionada en un 20%. Esta mayor capacidad antioxidante puede deberse posiblemente a los parámetros de proceso de extrusión que utilizó dicho autor los cuales fueron una menor temperatura de proceso de 120 °C, mayor velocidad de tornillo de 450 rpm y 23% de humedad, lo que condujo a un proceso más blando, dado al menor tiempo de residencia del material dentro del extrusor y al efecto lubricante producto de la alta humedad.

Asimismo, los resultados obtenidos de TCT de los extruidos enriquecidos con tarwi y pecana fueron menores a los obtenidos por Tadesse et al. (2019), el cual reportó valores en extruidos a base de sorgo con soya, que oscilaron entre 44.59 – 121.07 mg CE/100 g, tal autor encontró que incrementos de la temperatura reducían fuertemente la concentración de taninos condensados totales. Mientras que, entre sus hallazgos tuvo un comportamiento opuesto al nuestro, dado a que, a mayor porcentaje de humedad de proceso, mayor fue la concentración de taninos condensados

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

La inclusión de tarwi al 6.1 – 10% y pecana de 0 – 3.9% produjeron extruidos enriquecidos con muy buena relación de expansión 3.31 - 4.31 mm en comparación a los extruidos reportados en la literatura. Se obtuvieron extruidos con incrementos de proteína en hasta un 58%, grasa de hasta 92%, cenizas 12%, fibra cruda 306%. La harina de tarwi integral adicionado en cantidades de 9.4 a 10%, generaron extruidos con el mayor aporte en proteínas, fibras y cenizas.

Además, la nuez de pecana fue el componente responsable que en cantidades superiores al 2.1% incrementó en un 32% el contenido de compuestos fenólicos totales, en un 38% y 16% en la capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>, respectivamente, así como aportar contenido de taninos condensados totales. Entre las variables de proceso, la humedad de alimentación fue la de mayor influencia en la degradación de compuestos fenólicos totales, taninos condensados, así como la reducción de la capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup>, siendo el 13% de humedad aquel que preservó dichos compuestos bioactivos. Mientras que, la rotación de tornillo no tuvo un efecto marcado en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Por lo tanto, cantidades del 3.2% de nuez de pecana en combinación con parámetros de proceso de 13% de humedad y 360 rpm de velocidad de tornillo generaron extruidos con la mayor retención de compuestos fenólicos y taninos condensados totales, así como la mayor capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup>. Asimismo, se hallaron modelos de regresión cuadráticos para bioactivos totales y capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>, los cuales tuvieron muy buenos ajustes de  $R^2 = 0.87$  a  $0.99$ .

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Explorar mayores cantidades de incorporación de nuez de pecana en los extruidos enriquecidos a base de grits de maíz.

Realizar ensayos variando el parámetro de proceso de temperatura dentro del barril de cocción con la finalidad de obtener extruidos bien expandidos y además evaluar el efecto de la temperatura en la retención de bioactivos.

Llevar a cabo ensayos variando el parámetro de proceso de velocidad de alimentación con la finalidad de obtener extruidos mejor expandidos y además determinar su influencia en la retención de bioactivos.

Realizar el análisis sensorial de los extruidos enriquecidos con la finalidad de estudiar la aceptabilidad general, así como de determinar los descriptores predominantes de los productos obtenidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., Ishtiaq, A., Hussain, S., & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.
- Adem, M., J.A, S., Worku, A., & Neela, S. (2020). Optimization of lupine (*Lupinus albus* L.) composition, feed moisture content and barrel temperatures for best quality maize based extruded snack food. *Nutrition & Food Science*, 50(5), 853-869. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2019-0219>
- Alajil, O., Hymavathi, T. V., Maheswari, K. U., & Rudra, S. G. (2020). Nutritional, physico-chemical and sensory attributes of quinoa based extrudates. *Vegetos*, 33(3), 390-400. <https://doi.org/10.1007/s42535-020-00119-4>
- 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.
- Allai, F. M., Azad, Z. R. A. A., Dar, B. N., Gul, K., & Jabeen, A. (2022). Breakfast cereals from whole grain and Indian horse chestnut flours obtained through extrusion: Physical, mechanical and functional characteristics. *Applied Food Research*, 2(2), 100137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100137>
- Allai, F. M., Junaid, P. M., Azad, Z. R. A. A., Gul, K., Dar, B. N., Siddiqui, S. A., & Manuel Loenzo, J. (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>
- Asif, M., Khan, M. K. I., Khan, M. I., Maan, A. A., Helmick, H., & Kokini, J. L. (2023). Effects of citrus pomace on mechanical, sensory, phenolic, antioxidant, and gastrointestinal index properties of corn extrudates. *Food Bioscience*, 55, 103012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103012>
- Bekele, E. K., Nosworthy, M. G., Tyler, R. T., & Henry, C. J. (2021). Antioxidant capacity and total phenolics content of direct-expanded chickpea–

- sorghum snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15439>
- Berrios, J. D. J., Losso, J. N., & Albertos, I. (2022). Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses. In *Dry Beans and Pulses* (pp. 225-246). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119776802.ch9>
- 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 [Article]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(1), 98-104. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00880-0>
- Blandino, M., Alfieri, M., Giordano, D., Vanara, F., & Redaelli, R. (2017). Distribution of bioactive compounds in maize fractions obtained in two different types of large scale milling processes. *Journal of cereal science*, 77, 251-258.
- Bolling, B. W., Chen, C. Y. O., McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2011). Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutrition Research Reviews*, 24(2), 244-275. <https://doi.org/10.1017/S095442241100014X>
- Brandolini, A., Glorio-Paulet, P., Estivi, L., Locatelli, N., Cordova-Ramos, J. S., & Hidalgo, A. (2022). Tocopherols, carotenoids and phenolics changes during Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) seeds processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104335>
- 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 [<https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>]. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(5), 893-902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Brennan, M. A., Menard, C., Roudaut, G., & Brennan, C. S. (2012). Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch - Stärke*, 64(5), 392-398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201100150>
- Burin, M. A., Ferronato, C., Amorim, M. P., Pereira, L. M., Bilibio, D., Bender, J. P., Echevarria, D. P., Garcia, H. O., Nunez, J. G., & Bruno, A. N. (2022). Extraction of Pecan nut (*Carya illinoensis*) oil using different

techniques and its antitumor potential in human cancer cells. *The Journal of Supercritical Fluids*, 179, 105409.

Burns, R. E. (1971). Method for Estimation of Tannin in Grain Sorghum. *Agronomy Journal*, 63(3), 511-512. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj1971.00021962006300030050x>

Carvajal-Larenas, F. E., Linnemann, A. R., Nout, M. J. R., Koziol, M., & van Boekel, M. A. J. S. (2016). Lupinus mutabilis: Composition, Uses, Toxicology, and Debitting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(9), 1454-1487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772089>

Chávez, D. W. H., Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P., Godoy, R. L. O., & Pacheco, S. (2017). Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 29, 93-103.

Cheung, M., Robinson, J. A., Greenspan, P., & Pegg, R. B. (2023). Evaluating the phenolic composition and antioxidant properties of Georgia pecans after in vitro digestion. *Food Bioscience*, 51, 102351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102351>

Clemente-Suárez, V. J., Beltrán-Velasco, A. I., Redondo-Flórez, L., Martín-Rodríguez, A., & Tornero-Aguilera, J. F. (2023). Global Impacts of Western Diet and Its Effects on Metabolism and Health: A Narrative Review. *Nutrients*, 15(12).

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. (2022). Effect of sucrose on the extrusion of varied whole sorghum grits genotypes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17204.

Comettant-Rabanal, R., Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., Chávez, D. W. H., & Germani, R. (2021). Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. *LWT*, 150, 112042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112042>

Comettant-Rabanal, R., Hidalgo Chávez, D. W., Ascheri, J. L. R., Elías-Peñafiel, C., & Carvalho, C. W. P. (2023). Functionality of pre-cooked whole-grain corn, rice and sorghum flours for gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(11), 5781-5795. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.16676>

- Córdova-Ramos, J. S., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2020). Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet): processing effects on chemical composition, heat damage, and in vitro protein digestibility. *Cereal Chemistry*, 97(4), 827-835.
- Cortés-Avendaño, P., Tarvainen, M., Suomela, J.-P., Glorio-Paulet, P., Yang, B., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Profile and content of residual alkaloids in ten ecotypes of *Lupinus mutabilis* Sweet after aqueous debittering process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(2), 184-191.
- Cortés Avendaño, P. M. (2020). Caracterización funcional de ecotipos de Tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) para su inclusión en una bebida probiótica.
- 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>
- de la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Kernels and Shells of Mexican Pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 152-162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- do Prado, A. C. P., Manion, B. A., Seetharaman, K., Deschamps, F. C., Arellano, D. B., & Block, J. M. (2013). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. *Industrial Crops and Products*, 45, 64-73.
- Dorsey, A. (2020). *Iron, Infection, and Malnutrition: An Exploration of Childhood Anemia in a Peri-urban Community in Lima, Peru* [The University of North Carolina at Chapel Hill].
- Ebrahimi, A., & Schluesener, H. (2012). Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: Potentials and pitfalls. *Ageing Research Reviews*, 11(2), 329-345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.006>
- Egbuna, C., & Dable-Tupas, G. (2020). Functional foods and nutraceuticals. *Springer Nature Switzerland AG*, 1, 1-632.
- Ek, P., & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 1 - Basics of extrusion processing. In G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 1-28). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00001-8>

- Ek, P., Kowalski, R. J., & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 4 - Raw material behaviors in extrusion processing I (Carbohydrates). In G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 119-152). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00004-3>
- Estivi, L., Grassi, S., Briceño-Berrú, L., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2022). Free Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and FT-NIR Survey of Debittered *Lupinus mutabilis* Seeds. *Processes*, 10(8).
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT*, 124, 109172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Ganjyal, G. M. (2020). *Extrusion cooking: cereal grains processing*. Elsevier.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370-1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- Gill, S. K., Rossi, M., Bajka, B., & Whelan, K. (2021). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(2), 101-116. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4>
- Gomes, K. S., Berwian, G. F., Batistella, V. M. C., Bender, L. E., Reinehr, C. O., & Colla, L. M. (2023). Nutritional and Technological Aspects of the Production of Proteic Extruded Snacks Added of Novel Raw Materials. *Food and Bioprocess Technology*, 16(2), 247-267. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02887-0>
- Gutierrez, A., Infantes, M., Pascual, G., & Zamora, J. (2016). Evaluación de los factores en el desamargado de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Agroindustrial Science*, 6(1), 145-149.
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking: technologies and applications*. Woodhead publishing.
- Hidalgo Chávez, D. W. (2014). Efeito do processamento por extrusão de farinha mista de pó de café e sorgo nas características tecnológicas e capacidade antioxidante.

- INEI. (2023). *Perú: Indicadores de resultados de los programas presupuestales, primer semestre 2023 encuesta demográfica y de salud familiar*.  
[https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2023/ppr/Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales %20ENDES Primer Semestre 2023 FT.pdf](https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2023/ppr/Indicadores_de_Resultados_de_los_Programas_Presupuestales_%20ENDES_Primer_Semestre_2023_FT.pdf)
- Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J., Orkić, V., Guberac, S., & Miličević, B. (2021). Food Industry By-Products as Raw Materials in the Production of Value-Added Corn Snack Products. *Foods*, 10(5).
- Kaur, J., Singh, B., & Singh, A. (2023). Sorghum–mung bean combination snacks: Effect of extrusion temperature and moisture on chemical, functional, and nutritional characteristics. *Legume Science*, 5(3), e186.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/leg3.186>
- Khaliq, A., Wraith, D., Nambiar, S., & Miller, Y. (2022). A review of the prevalence, trends, and determinants of coexisting forms of malnutrition in neonates, infants, and children. *BMC Public Health*, 22(1), 879.  
<https://doi.org/10.1186/s12889-022-13098-9>
- Laura, A., Vazquez-Flores, A. A., Alvarez-Parrilla, E., Rodrigo-García, J., Medina-Campos, O. N., Ávila-Nava, A., Gonzalez-Reyes, S., & Pedraza-Chaverri, J. (2014). Content of major classes of polyphenolic compounds, antioxidant, antiproliferative, and cell protective activity of pecan crude extracts and their fractions. *Journal of Functional Foods*, 7, 219-228.
- Li, S., Chen, G., Zhang, C., Wu, M., Wu, S., & Liu, Q. (2014). Research progress of natural antioxidants in foods for the treatment of diseases. *Food Science and Human Wellness*, 3(3-4), 110-116.
- Linares-García, L., Repo-Carrasco-Valencia, R., Glorio Paulet, P., & Schoenlechner, R. (2019). Development of gluten-free and egg-free pasta based on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) with addition of lupine flour, vegetable proteins and the oxidizing enzyme POx. *European Food Research and Technology*, 245(10), 2147-2156.  
<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03320-1>
- Liu, S., Lin, F., Wang, J., Pan, X., Sun, L., & Wu, W. (2022). Polyphenols for the Treatment of Ischemic Stroke: New Applications and Insights. *Molecules*, 27(13), 4181. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/13/4181>
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., & Davies, M. J. (1993). A new method for measuring antioxidant activity. *Biochemical Society Transactions*, 21(2), 95S-95S. <https://doi.org/10.1042/bst021095s>

- Montero-Vargas, J. M., Ortíz-Islas, S., Ramírez-Sánchez, O., García-Lara, S., & Winkler, R. (2020). Prediction of the antioxidant capacity of maize (*Zea mays*) hybrids using mass fingerprinting and data mining. *Food Bioscience*, 37, 100647.
- Mujica, A., & Sven, J. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Universidad Nacional del Altiplano. Puno*.
- 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/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103515>
- Nascimento, T. A., Calado, V., & Carvalho, C. W. P. (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.
- Naseer, B., Sharma, V., Hussain, S. Z., & Bora, J. (2021). Development of functional snack food from almond press cake and pearl millet flour. *Letters in Applied NanoBioScience*, 11(1), 3191-3207.
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista boliviana de química*, 31(2), 68-81.
- Pérez Ramos, K., Elías Peñafiel, C., & Delgado Soriano, V. (2017). Bocado con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231-1237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reis Ribeiro, S., Klein, B., Machado Ribeiro, Q., Duarte dos Santos, I., Gomes Genro, A. L., de Freitas Ferreira, D., Janner Hamann, J., Smanioto Barin, J., Cichoski, A. J., Fronza, D., Both, V., & Wagner, R. (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>
- Rochín, S. M., Noris, A. K. M., & Carrillo, J. M. (2019). Maize. In *Whole Grains* (pp. 87-102).

- Romero Rodríguez, J. A., Ascheri, J. L. R., da Silva Lopes, A. J., Vargas-Solórzano, J. W., Pacheco, S., & de Jesus, M. S. C. (2021). Physical characterization of maize grits expanded snacks and changes in the carotenoid profile. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(1), 68-75.
- Salvador, A. A., Podestá, R., Block, J. M., & Ferreira, S. R. 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>
- Serna-Saldivar, S. O. (2023). Chapter 14 - Maize. In P. R. Shewry, H. Koxsel, & J. R. N. Taylor (Eds.), *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology* (pp. 131-143). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95295-8.00030-7>
- Siebeneichler, T. J., Hoffmann, J. F., Galli, V., & Zambiasi, R. C. (2023). Composition and impact of pre- and post-harvest treatments/factors in pecan nuts quality. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 46-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.010>
- Siger, A., Czubinski, J., Kachlicki, P., Dwiecki, K., Lampart-Szczapa, E., & Nogala-Kalucka, M. (2012). Antioxidant activity and phenolic content in three lupin species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25(2), 190-197. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.10.002>
- Silva, M. R., & Silva, M. A. A. P. d. (1999). Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. *Revista de Nutrição*, 12, 21-32.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- 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(10), 824. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04808-w>
- Taco-Taype, N., & Zúñiga-Dávila, D. (2020). Efecto de la inoculación de plantas de Tarwi con cepas de *Bradyrhizobium* spp. aisladas de un lupino silvestre, en condiciones de invernadero. *Revista peruana de biología*, 27(1), 35-42.
- Tadesse, S. A., Beri, G. B., & Abera, S. (2019). Chemical and sensory quality of sorghum-based extruded product supplemented with defatted soy

meal flour. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1653617.  
<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1653617>

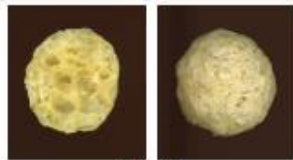
- Tanwar, B., Modgil, R., & Goyal, A. (2021). Nutritional and phytochemical composition of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] and its hypocholesterolemic effect in an animal model. *British Food Journal*, 123(4), 1433-1448. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2020-0689>
- Teles, A. S. C., Chávez, D. W. H., Oliveira, R. A., Bon, E. P. S., Terzi, S. C., Souza, E. F., Gottschalk, L. M. F., & Tonon, R. V. (2019). Use of grape pomace for the production of hydrolytic enzymes by solid-state fermentation and recovery of its bioactive compounds. *Food Research International*, 120, 441-448.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.083>
- 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.
- Toledo, V. C. S., Carvalho, C. W. P., Vargas-Solórzano, J. W., Ascheri, J. L. R., & Comettant-Rabanal, R. (2020). Extrusion cooking of gluten-free whole grain flour blends. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13303.
- 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.
- Vera-Vega, M., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. (2022). The micronutrient content in underutilized crops: the *Lupinus mutabilis* sweet case. *Scientific Reports*, 12(1), 1-10.
- Villacrés, E., Quelal, M. B., Jácome, X., Cueva, G., & Rosell, C. M. (2020). Effect of debittering and solid-state fermentation processes on the nutritional content of lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). *International Journal of Food Science & Technology*, 55(6), 2589-2598.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.14512>
- Villasante, J., Espinosa-Ramírez, J., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., Metón, I., & Almajano, M. P. (2022). Evaluation of non-extruded and extruded pecan (*Carya illinoensis*) shell powder as functional ingredient in bread and wheat tortilla. *LWT*, 160, 113299.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113299>
- Villasante, J., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., Metón, I., & Almajano, M. P. (2019). In vitro antioxidant activity optimization of nut shell (*Carya*

illinoensis) by extrusion using response surface methods. *Biomolecules*, 9(12), 883.

Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M. L., Hodgson, J. M., & Johnson, S. K. (2021). Multi-response surface optimisation of extrusion cooking to increase soluble dietary fibre and polyphenols in lupin seed coat. *LWT*, 140, 110767.

## ANEXOS

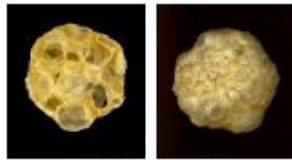
### ANEXO 1. CAPTURA DE IMÁGENES DE LOS EXTRUIDIDOS



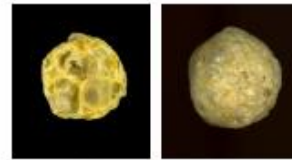
Control  
GM: 100%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 324 rpm



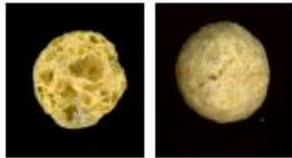
Tratamiento 1  
HIT: 9.5 %, NPM: 0.5 %  
H<sup>+</sup>: 17%, SS: 324 rpm



Tratamiento 2  
HIT: 6.1%, NPM: 3.9%  
H<sup>+</sup>: 17%, SS: 324 rpm



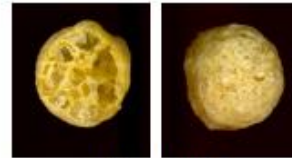
Tratamiento 3  
HIT: 10%, NPM: 0.0%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 324 rpm



Tratamiento 4  
HIT: 7.9%, NPM: 2.1%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 324 rpm



Tratamiento 5  
HIT: 6.1%, NPM: 3.9%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 324 rpm



Tratamiento 6  
HIT: 9.6%, NPM: 0.4%  
H<sup>+</sup>: 17%, SS: 396 rpm



Tratamiento 7  
HIT: 9.4%, NPM: 0.6%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 396 rpm



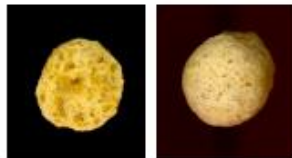
Tratamiento 8  
HIT: 8.3%, NPM: 1.7%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 396 rpm



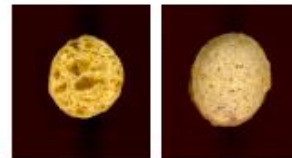
Tratamiento 9  
HIT: 7.6%, NPM: 2.4%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 396 rpm



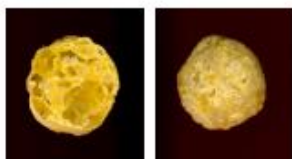
Tratamiento 10  
HIT: 9.1%, NPM: 0.9%  
H<sup>+</sup>: 13%, SS: 360 rpm



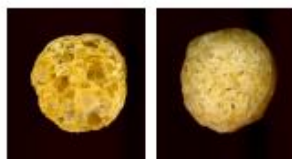
Tratamiento 11  
HIT: 9.0%, NPM: 1.0%  
H<sup>+</sup>: 13%, SS: 360 rpm



Tratamiento 12  
HIT: 6.8%, NPM: 3.2%  
H<sup>+</sup>: 13%, SS: 360 rpm



Tratamiento 13  
HIT: 9.5%, NPM: 0.5%  
H<sup>+</sup>: 17%, SS: 324 rpm



Tratamiento 14  
HIT: 7.6%, NPM: 2.4%  
H<sup>+</sup>: 15%, SS: 396 rpm



Tratamiento 15  
HIT: 6.8%, NPM: 3.2%  
H<sup>+</sup>: 13%, SS: 360 rpm

**ANEXO 2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICO DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL  
DE LAS MATERIAS PRIMAS**

a) MATERIA SECA

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	86.405	0.0636396	0.0736527%	86.36	86.45	0.09
HIT	2	92.54	0.0565685	0.0611287%	92.5	92.58	0.08
NPM	2	95.735	0.00707107	0.00738608%	95.73	95.74	0.01
Total	6	91.56	4.24116	4.63212%	86.36	95.74	9.38

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	89.9301	2	44.965	<b>18478.79</b>	<b>0.0000</b>	
Intra grupos	0.0073	3	0.00243333			
Total (Corr.)	89.9374	5				

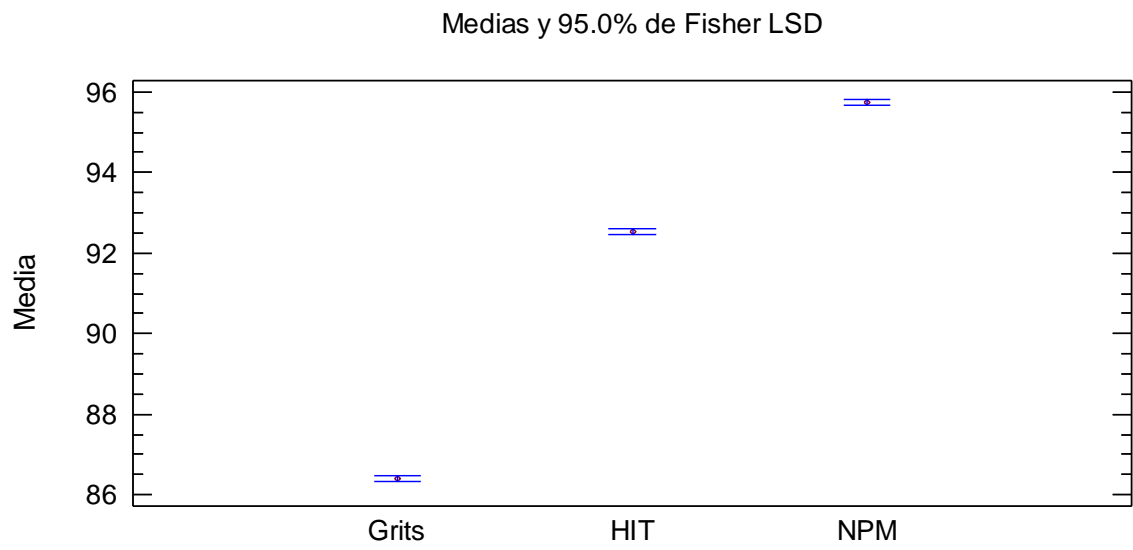
Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Grits	2	86.405	Xa
HIT	2	92.54	Xb
NPM	2	95.735	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	-6.135	0.156986
Grits - NPM	*	-9.33	0.156986
HIT - NPM	*	-3.195	0.156986

\* indica una diferencia significativa



## b) PROTEINA

### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	7.65	0.0989949	1.29405%	7.58	7.72	0.14
HIT	2	52.37	0.0848528	0.162026%	52.31	52.43	0.12
NPM	2	9.9	0.0424264	0.42855%	9.87	9.93	0.06
Total	6	23.3067	22.5349	96.6887%	7.58	52.43	44.85

### Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2539.09	2	1269.55	<b>202587.33</b>	<b>0.0000</b>	
Intra grupos	0.0188	3	0.00626667			
Total (Corr.)	2539.11	5				

### Pruebas de Múltiple Rangos

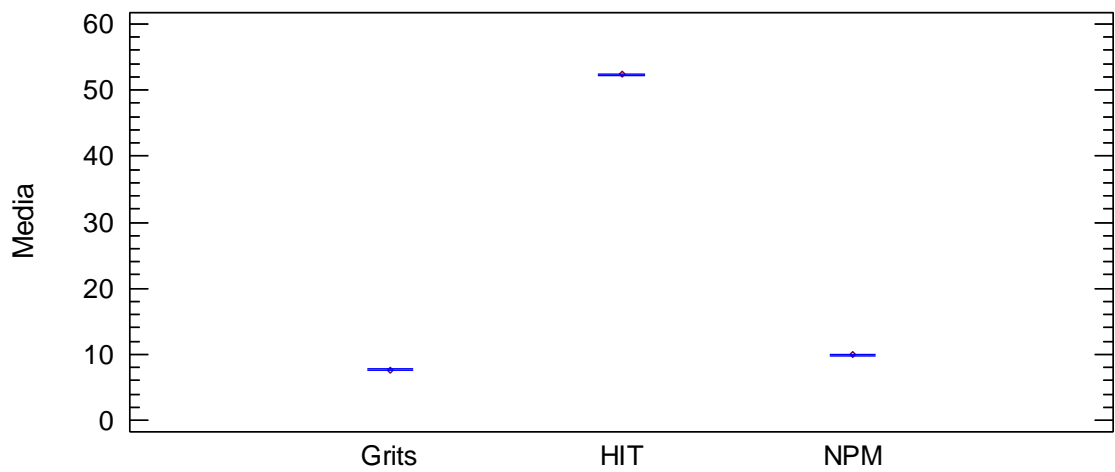
Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Grits	2	7.65	Xa
NPM	2	9.9	Xb
HIT	2	52.37	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	-44.72	0.25193
Grits - NPM	*	-2.25	0.25193
HIT - NPM	*	42.47	0.25193

\* indica una diferencia significativa

Medias y 95.0% de Fisher LSD



### c) CENIZAS

#### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	1.02	0.0141421	1.38648%	1.01	1.03	0.02
HIT	2	2.29	0.0282843	1.23512%	2.27	2.31	0.04
NPM	2	1.29	0.0282843	2.19258%	1.27	1.31	0.04
Total	6	1.53333	0.598721	39.047%	1.01	2.31	1.3

#### Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.79053		2	0.895267	1492.11	0.0000
Intra grupos	0.0018		3	0.0006		
Total (Corr.)	1.79233		5			

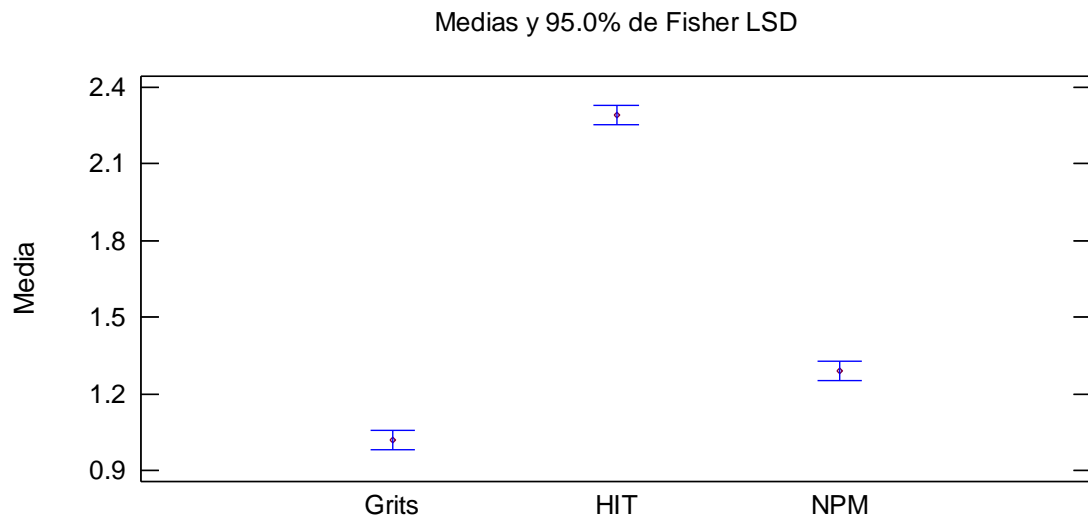
#### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Grits	2	1.02	Xa
NPM	2	1.29	Xb
HIT	2	2.29	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	-1.27	0.0779538
Grits - NPM	*	-0.27	0.0779538
HIT - NPM	*	1.0	0.0779538

\* indica una diferencia significativa.



#### d) LÍPIDOS

##### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	4.13	0.0424264	1.02727%	4.1	4.16	0.06
HIT	2	24.175	0.0636396	0.263246%	24.13	24.22	0.09
NPM	2	70.74	0.339411	0.479801%	70.5	70.98	0.48
Total	6	33.015	30.5662	92.5826%	4.1	70.98	66.88

##### Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4671.33	2	2335.66	57885.12	0.0000
Intra grupos	0.12105	3	0.04035		
Total (Corr.)	4671.45	5			

##### Pruebas de Múltiple Rangos

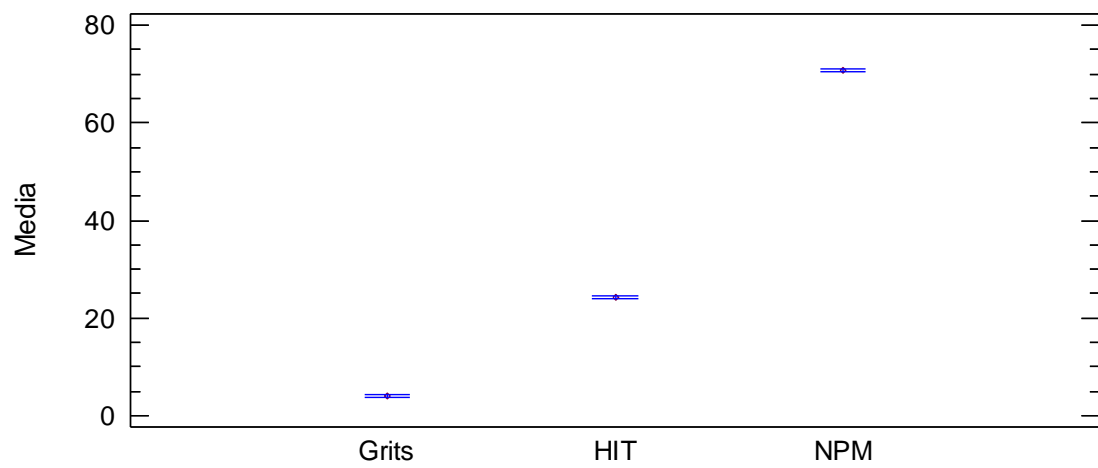
Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Grits	2	4.13	Xa
HIT	2	24.175	Xb
NPM	2	70.74	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	-20.045	0.639268
Grits - NPM	*	-66.61	0.639268
HIT - NPM	*	-46.565	0.639268

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



e) FIBRA CRUDA

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	0.59	0.0989949	16.7788%	0.52	0.66	0.14
HIT	2	18.695	0.318198	1.70205%	18.47	18.92	0.45
NPM	2	3.07	0.0282843	0.921312%	3.05	3.09	0.04
Total	6	7.45167	8.78066	117.835%	0.52	18.92	18.4

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	385.388		2	192.694	<b>5168.37</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	0.11185		3	0.0372833		
Total (Corr.)	385.5		5			

Pruebas de Múltiple Rangos

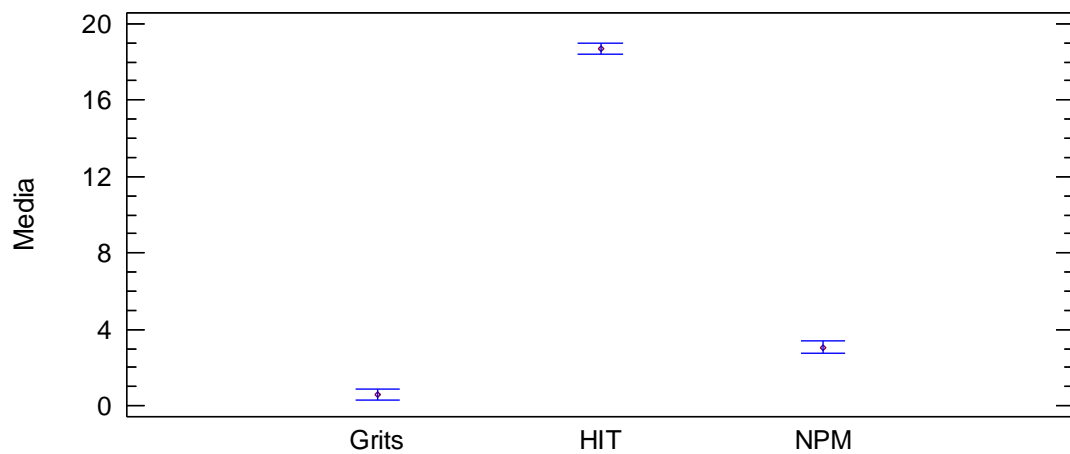
Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Grits	2	0.59	Xa
NPM	2	3.07	Xb
HIT	2	18.695	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	-18.105	0.614496
Grits - NPM	*	-2.48	0.614496
HIT - NPM	*	15.625	0.614496

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



## f) CARBOHIDRATOS

### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
Grits	2	86.61	0.0565685	0.0653141%	86.57	86.65	0.08
HIT	2	2.47	0.438406	17.7492%	2.16	2.78	0.62
NPM	2	14.995	0.346482	2.31065%	14.75	15.24	0.49
Total	6	34.6917	40.6048	117.045%	2.16	86.65	84.49

### Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8243.42	2	4121.71		39198.36	0.0000
Intra grupos	0.31545	3	0.10515			
Total (Corr.)	8243.73	5				

### Pruebas de Múltiple Rangos

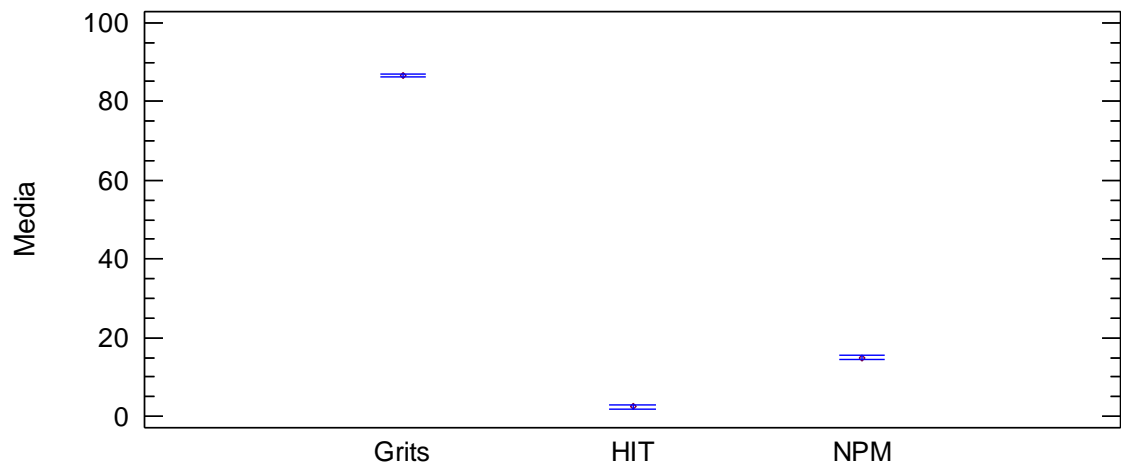
Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
HIT	2	2.47	Xa
NPM	2	14.995	Xb
Grits	2	86.61	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Grits - HIT	*	84.14	1.03197
Grits - NPM	*	71.615	1.03197
HIT - NPM	*	-12.525	1.03197

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



### ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS MATERIAS PRIMAS

#### a) COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)

##### Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
HIT	3	18.04	1.11301	6.1697%	17.08	19.26	2.18
NPM	3	228.063	7.41522	3.25138%	219.53	232.94	13.41
GM	3	20.4133	0.747819	3.66339%	19.55	20.86	1.31
Total	9	88.8389	104.491	117.619%	17.08	232.94	215.86

##### Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	87234.0	2	43617.0		2304.38	0.0000
Intra grupos	113.567	6	18.9278			
Total (Corr.)	87347.5	8				

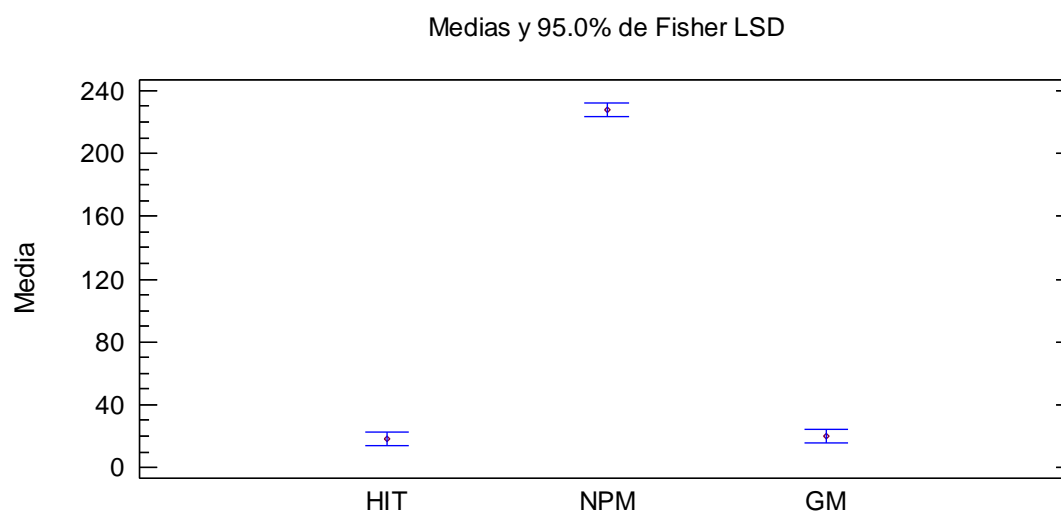
##### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
HIT	3	18.04	Xa
GM	3	20.4133	Xa
NPM	3	228.063	Xb

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
HIT - NPM	*	-210.023	8.69209
HIT - GM		-2.37333	8.69209
NPM - GM	*	207.65	8.69209

\* indica una diferencia significativa.



b) CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS\*\*

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
HIT	4	2.905	0.0369685	1.27258%	2.86	2.94	0.08
NPM	4	310.433	8.06297	2.59733%	304.49	322.15	17.66
GM	4	7.8975	0.129196	1.63591%	7.78	8.07	0.29
Total	12	107.078	150.261	140.328%	2.86	322.15	319.29

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	248167.		2	124084.	5724.34	0.0000
Intra grupos	195.089		9	21.6765		
Total (Corr.)	248362.		11			

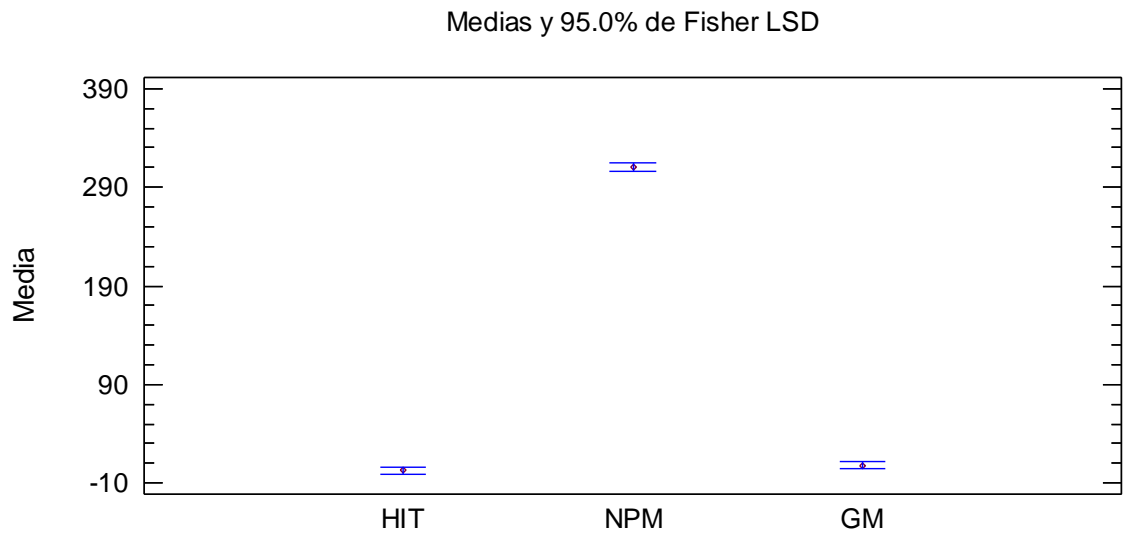
Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
HIT	4	2.905	Xa
GM	4	7.8975	Xb
NPM	4	310.433	Xc

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
HIT - NPM	*	-307.528	7.44738
HIT - GM	*	-4.9925	7.44738
NPM - GM	*	302.535	7.44738

\* indica una diferencia significativa.



c) CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH\*

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
HIT	3	1235.81	31.1122	2.51756%	1206.88	1268.72	61.84
NPM	3	154795.	875.518	0.565597%	153964.	155710.	1745.11
GM	3	3001.99	71.9098	2.39541%	2926.99	3070.35	143.36
Total	9	53011.1	76343.4	144.014%	1206.88	155710.	154503.

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.66249E10		2	2.33125E10	90513.91	0.0000
Intra grupos	1.54534E6		6	257557.		
Total (Corr.)	4.66265E10		8			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

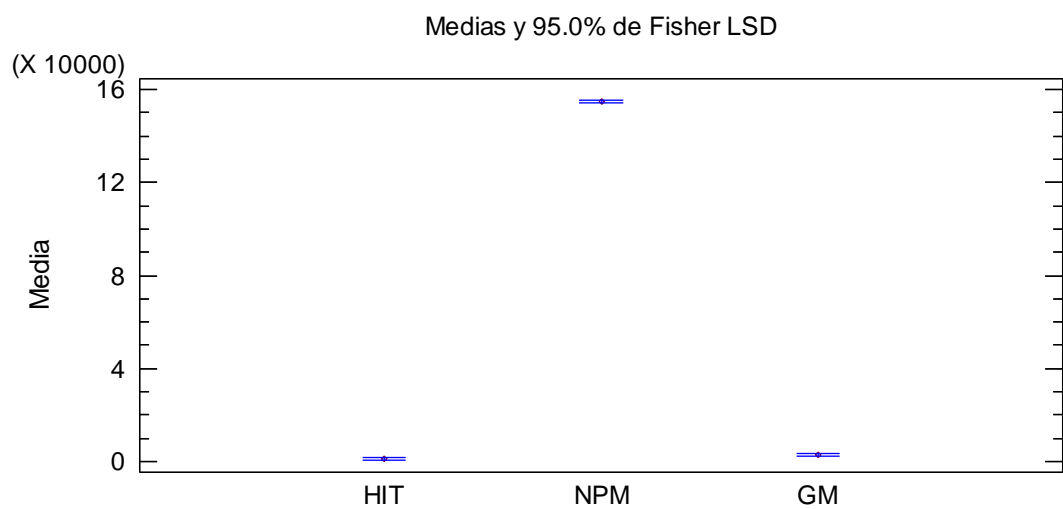
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
HIT	3	1235.81	Xa
GM	3	3001.99	Xb
NPM	3	154795.	Xc

---

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
HIT - NPM	*	-153560.	1013.94
HIT - GM	*	-1766.18	1013.94
NPM - GM	*	151793.	1013.94

---

\* indica una diferencia significativa.



d) TANINOS CONDENSADOS TOTALES (TCT)

Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
HIT	2	0.00495	0.000212132	4.2855%	0.0048	0.0051	0.0003
NP M	2	0.60565	0.000353553	0.0583759%	0.6054	0.6059	0.0005
GM	2	0.00015	0.0000707107	47.1405%	0.0001	0.0002	0.0001
Tota l	6	0.203583	0.311447	152.983%	0.0001	0.6059	0.6058

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.484996	2	0.242498	<b>4157107.31</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	1.75E-7	3	5.83333E-8		
Total (Corr.)	0.484996	5			

Pruebas de Múltiple Rangos

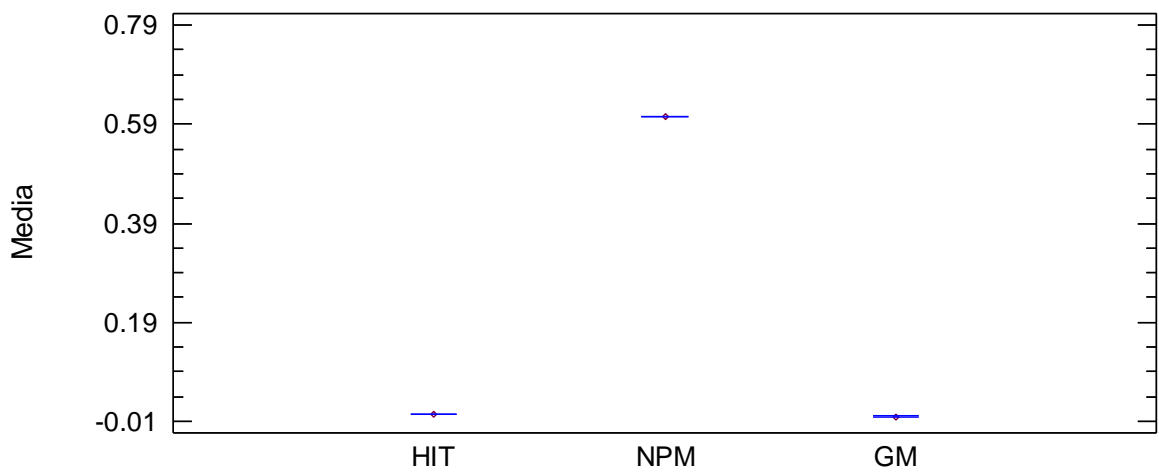
Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
GM	2	0.00015	Xa
HIT	2	0.00495	Xb
NPM	2	0.60565	Xc

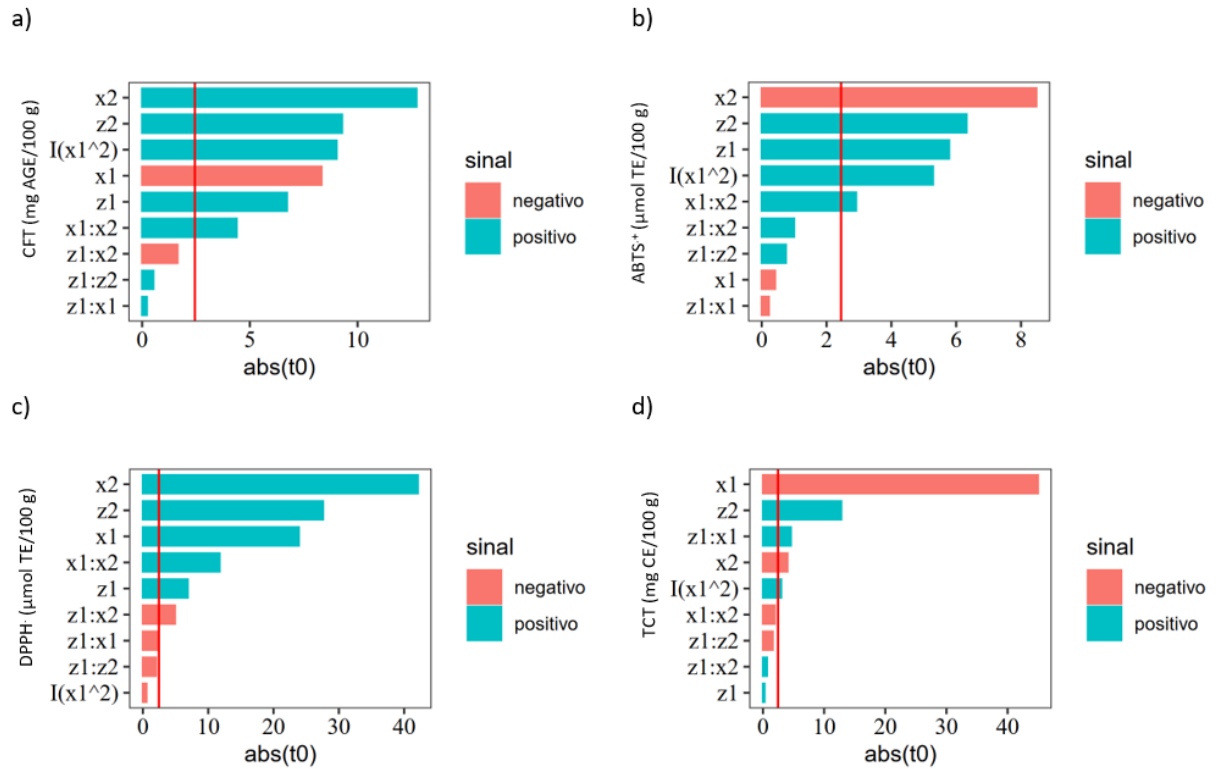
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
HIT - NPM	*	-0.6007	0.000768634
HIT - GM	*	0.0048	0.000768634
NPM - GM	*	0.6055	0.000768634

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



**ANEXO 4. DIAGRAMA DE PARETO DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS EXTRUIDOS ENRIQUECIDOS.**

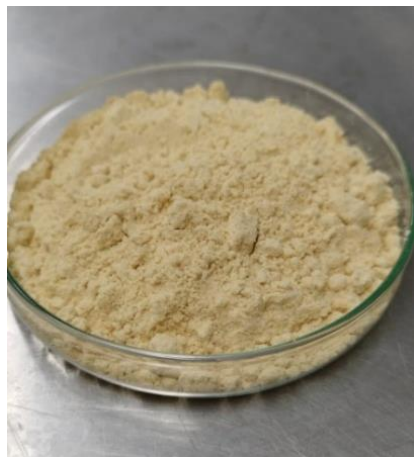


a) Compuestos fenólicos totales (CFT), b) Capacidad antioxidante por ABTS<sup>•+</sup>, c) Capacidad antioxidante por DPPH<sup>•</sup> y d) Taninos condensados totales (TCT).

## ANEXO 5. MATERIAS PRIMAS



Grits de maíz (GM)



Harina Integral de Tarwi (HIT)



Nuez de pecana molida  
(NPM)

## ANEXO 6. OBTENCIÓN DE NUEZ DE PECANA MOLIDA



**ANEXO 7. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA UNALM – LIMA**



Proceso de pesado y mezcla de las muestras



Acondicionamiento de las muestras

**ANEXO 8. PROCESO DE EXTRUSIÓN EN PLANTA PILOTO GALIX TECH  
- HUANCAYO**



## ANEXO 9. ANÁLISIS DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES EN LAS MUESTRAS EXTRUIDAS



Preparación de la mesa de trabajo



Preparación de las soluciones.



Pesado de la muestra extruida molida.



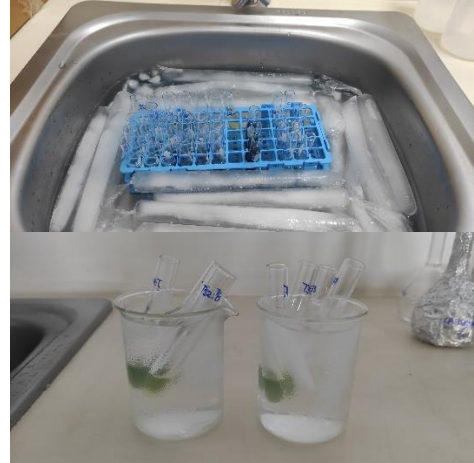
Extracción del compuesto bioactivo del extruido en acetona 70% (v/v).



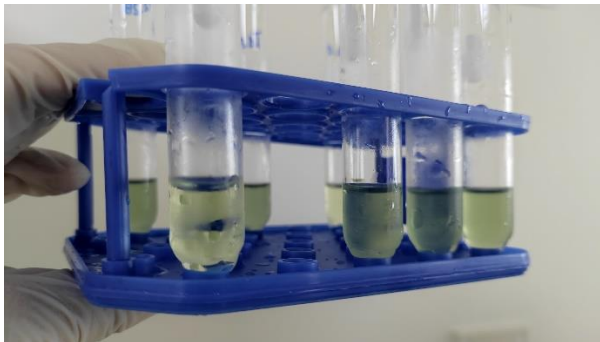
Reacción de las muestras



Baño maría a 50 °C por 15 min



Baño de hielo por 30 seg.

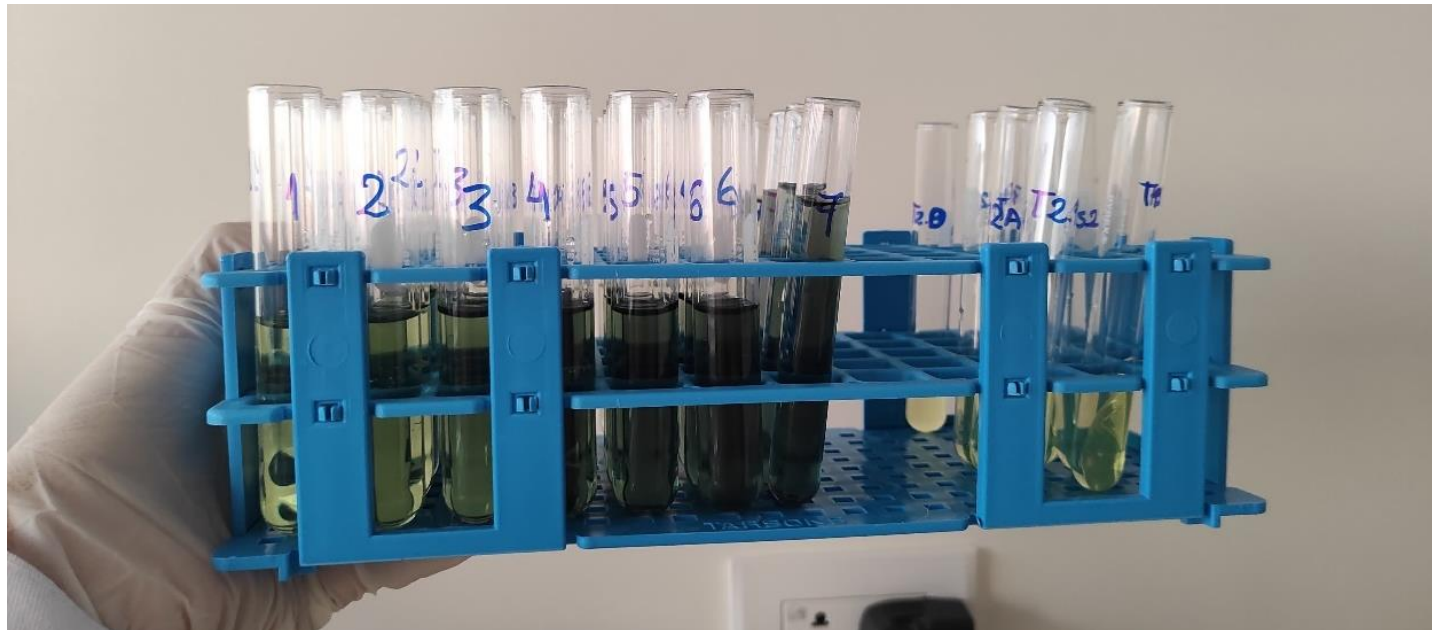


Muestras



Lectura de absorbancia de la muestra.

**ANEXO 10. CURVA DE CALIBRACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)**



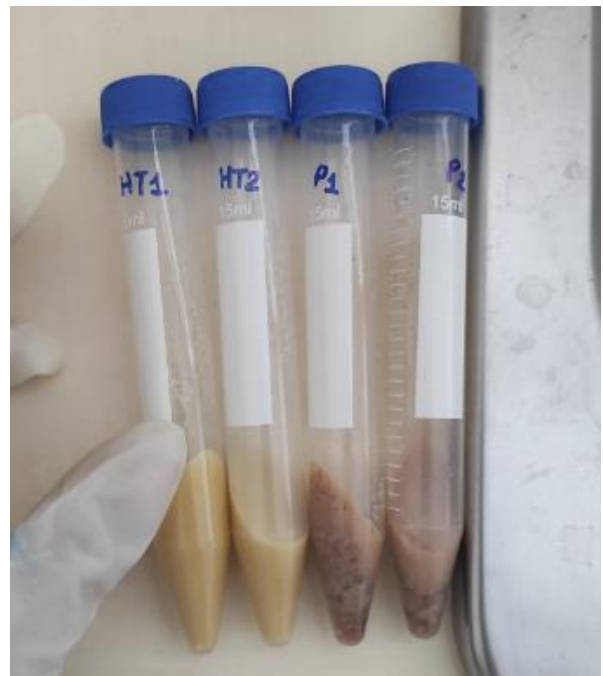
## ANEXO 11. PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE



Extracción, homogenización y centrifugación de las muestras.

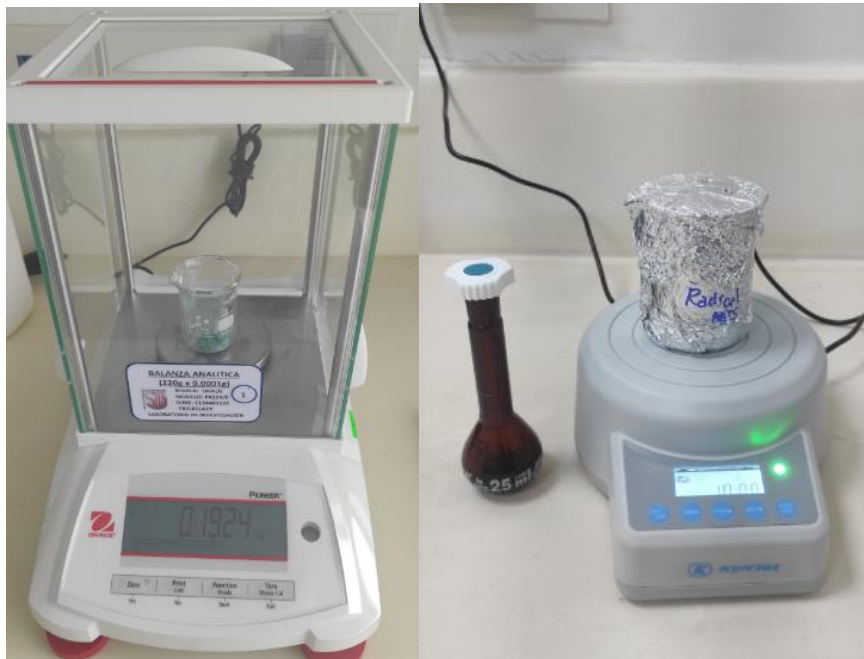


Extracto de la nuez de pecana molida.

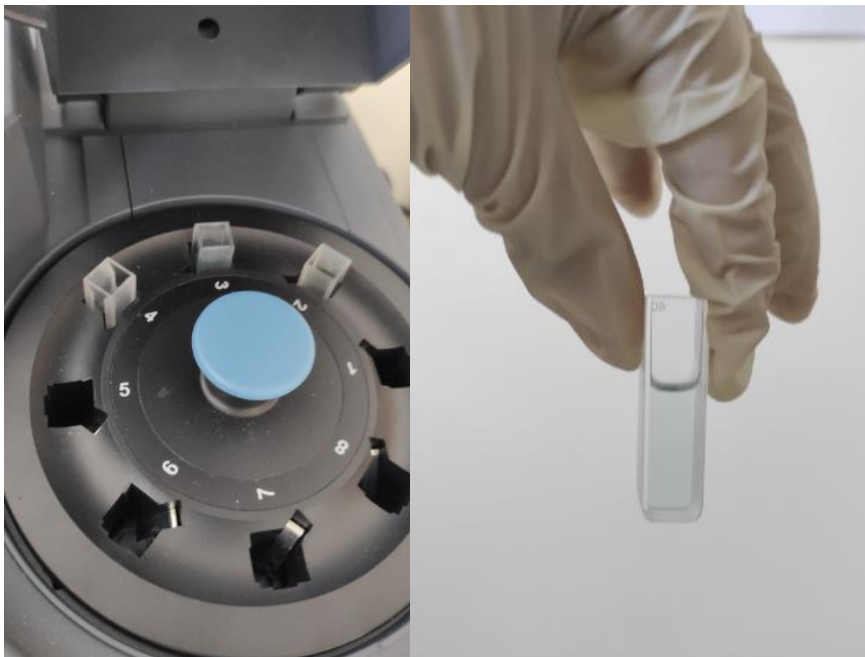


Residuos

## ANEXO 12. ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR ABTS<sup>•+</sup>

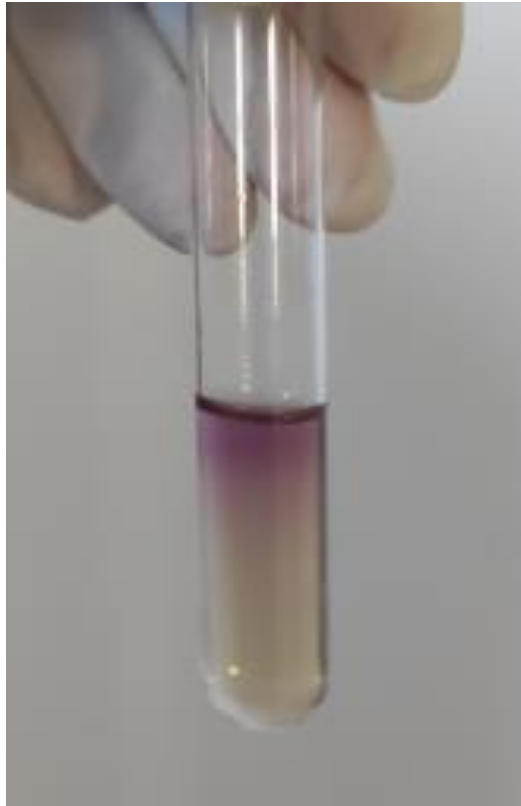


Preparación del radical ABTS con persulfato de potasio.



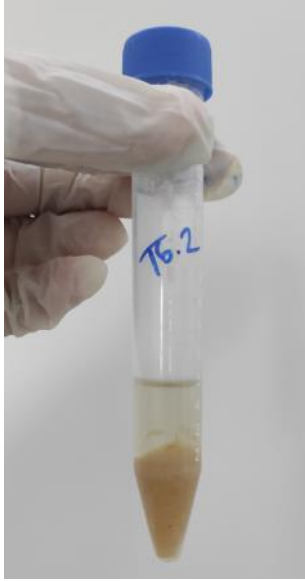
Leer la absorbancia a 734nm y anotar el resultado.

### ANEXO 13. ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR DPPH·



Reacción de la muestra en presencia del radical DPPH·.

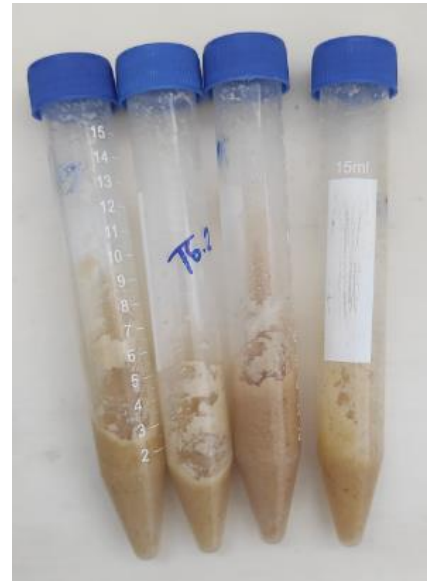
## ANEXO 14. ANÁLISIS DE TANINOS CONDENSADOS TOTALES (TCT)



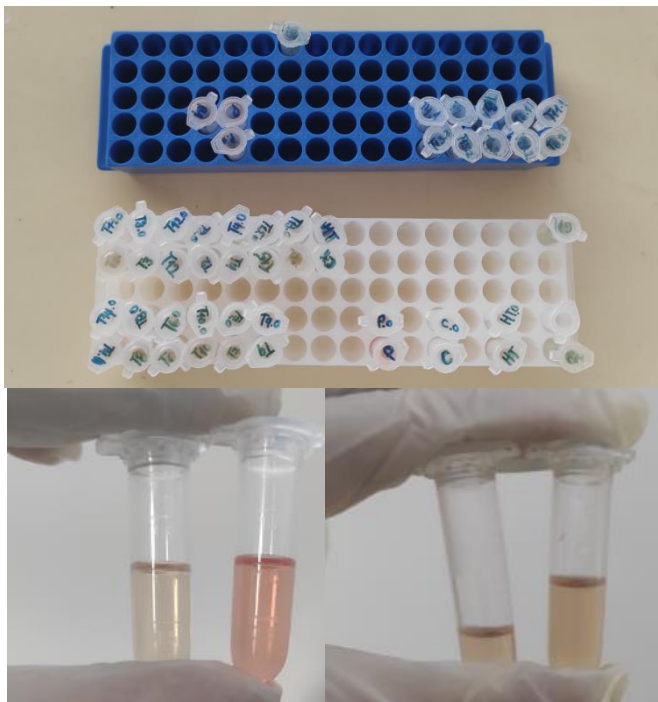
Extracción con metanol en ácido clorhídrico al 10%, por 8 h.



Previa centrifugación, se filtró con papel cuantitativo.



Residuos



Reacción de las muestras.



Lectura de la absorbancia a 500nm.

## ANEXO 15. MATRIZ DE CONSISTENCIA

**ALUMNO** : Katerin Franchesca Huamán Meza

**ASESOR** : Dr. Raúl Comettant Rabanal

**LOCAL** : Filial Ica

**TEMA** : CUANTIFICACIÓN DE RETENCIÓN DE BIOACTIVOS EN SNACKS EXPANDIDOS FUNCIONALES CON INCLUSIÓN DE TARWI (*Lupinus mutabilis*) Y PECANA [*Carya illinoensis* ((Wangenh.) K. Koch)] OBTENIDOS POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES
<p><b>General:</b></p> <p>PG: ¿Se podrá obtener un snack extruido con propiedades nutricionales y funcionales, utilizando como ingredientes al tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y la pecana [<i>Carya</i></p>	<p><b>General:</b></p> <p>OG: Estudiar la composición química y retención de bioactivos en snacks expandidos con inclusión de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y pecana [<i>Carya illinoensis</i> ((Wangenh.) K.</p>	<p><b>General:</b></p> <p>H1: Será posible mejorar el valor nutricional y retener compuestos bioactivos añadidos a los snacks expandidos mediante la inclusión de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y pecana [<i>Carya illinoensis</i></p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proporción de harina integral de tarwi.</li> <li>2. Proporción de nuez de pecana molida.</li> <li>3. Porcentaje de humedad de las harinas crudas.</li> </ol>

<p>illinoensis ((Wangenh) K. Koch)]?</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>PE1: ¿Cuál es la composición química y propiedades físicas de expansión de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?</p> <p>PE2: ¿Cuál es la retención de compuestos fenólicos totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?</p> <p>PE3: ¿Cuál es la cuantificación de taninos condensados totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?</p> <p>PE4: ¿Cuál es la capacidad antioxidante por los métodos</p>	<p>Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>OE1: Determinar la composición química y propiedades físicas de expansión de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.</p> <p>OE2: Analizar la retención de compuestos fenólicos totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.</p> <p>OE3: Cuantificación de taninos condensados totales de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana.</p> <p>OE4: Determinar la capacidad antioxidante por los métodos de ABTS<sup>••</sup> y DPPH<sup>•</sup> de los extruidos</p>	<p>((Wangenh.) K. Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica.</p> <p>H0: No será posible mejorar el valor nutricional y retener los compuestos bioactivos añadidos en snacks expandidos mediante la inclusión de tarwi (Lupinus mutabilis) y pecana [Carya illinoensis ((Wangenh.) K. Koch)] obtenidos por extrusión termoplástica</p> <p><b>Específicos:</b></p> <p>HE1: Los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana poseen mejor composición química y propiedades físicas de expansión.</p> <p>HE2: Los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana</p>	<p>4. Velocidad de rotación de tornillo.</p> <p><b>Dimensión:</b></p> <p>-</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proporción (%)</li> <li>2. Proporción (%)</li> <li>3. Porcentaje (%)</li> <li>4 rpm</li> </ol> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de compuestos nutricionales.</li> <li>2. Cantidad de compuestos bioactivos.</li> </ol> <p><b>Dimensión:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Cantidad de cenizas.</li> <li>1.2. Cantidad de proteínas.</li> <li>1.3. Cantidad de grasa.</li> </ol>
--	---	--	---

<p>de ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup> de los extruidos expandidos con inclusión de tarwi y pecana?</p>	<p>expandidos con inclusión de tarwi y pecana.</p>	<p>poseen compuestos fenólicos totales en su composición.</p> <p>HE3: Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana poseen taninos condensados totales en su composición.</p> <p>HE4: Los extruidos expandidos funcionales con inclusión de tarwi y pecana poseen capacidad antioxidante en su composición.</p>	<p>1.4. Cantidad de fibra. 1.5. Cantidad de carbohidratos. 2.1. Cantidad de compuestos fenólicos totales (CFT). 2.2. Cantidad taninos condensados totales (TCT). 2.3. Cantidad de la capacidad antiradical del catión ABTS<sup>•+</sup> 2.4. Cantidad de la capacidad antiradical del catión DPPH<sup>•</sup></p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p>1.1. Porcentaje (%). 1.2. Porcentaje (%). 1.3. Porcentaje (%). 1.4. Porcentaje (%). 1.5. Porcentaje (%). 2.1. mg ácido gálico equivalente/100 g. 2.2. mg catequina equivalente/100 g. 2.3. μmol de trolox equivalente/100 g. 2.4. μmol de trolox equivalente/100 g.</p>
---	--	--	---