UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Elaboración de pan mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino (*Phaseulus vulgaris*).

Tesis para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Presentado por:

Luis Antonio Pretell Portocarrero

Asesor:

Caleb Leandro Laguna

Co-Asesor:

Jaime E. Basilio Atencio

Yarinacocha – Ucayali

2025

DEDICATORIA

A Dios Padre, que me acompaña y guía en todo momento.

A mis padres Delicia Portocarrero T. y Alfonso Slater P. por el constante apoyo brindado durante los años de estudios, quienes me motivan de forma constante para seguir superándome.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, por haber sido mi centro de estudios de formación profesional.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales.

A cada uno de los docentes involucrados de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por la formación y enseñanzas brindadas durante mi estancia como estudiante.

A mi Asesor Ing. Caleb Leandro Lagunas por el valioso tiempo brindado y las enseñanzas vertidas para elaboración y ejecución de la presente tesis.

Al consorcio Gival Empresa Individual de Responsabilidad Limitada y conglomerados por el apoyo en el préstamo de sus instalaciones para el procesamiento de las unidades de muestra.

A todas las personas que apoyaron en el trabajo durante las distintas etapas del desarrollo de la tesis.

Índice General

Pág.

I. INTRODUCCIÓN 8
II. REVISIÓN DE LITERATURA 10
2.1. Antecedentes de la investigación 10
2.2. Marco teórico 12
2.2.1. Legumbres 12
a. Compuestos presentes 13
2.2.2. Frijol común 14
a. Distribución geográfica 14
b. Frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*) 14
c. Clasificación taxonómica 16
d. Composición química y valor nutricional 16
2.2.3. Proceso de germinación de leguminosas 17
a. Cambios durante la germinación de granos de leguminosas 18
b. Beneficios de incorporar harinas de leguminosas en panificación 19
2.2.4. Concentrados proteicos 20
a. Métodos de concentración de proteínas 20
2.2.5. Propiedades tecnofuncionales de las proteínas 21
a. Capacidad de retención de agua 22
b. Capacidad de absorción de aceite 22
c. Capacidad emulsificante 23
d. Capacidad de formación de espuma 23
2.2.6. Elaboración de pan 24
a. Materias primas 24
b. Métodos del proceso de elaboración de pan 27
c. Método de elaboración 27
2.2.7. Evaluación de atributos sensoriales de panes 28
a. Atributos de apariencia 29
b. Atributos de olor 29
c. Atributos de textura 30
d. Atributos de flavor 30
e. Procedimiento de cata de pan 31
2.3. Definición de términos 32
III. MÉTODOS 33
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio 33
3.1.1. Ubicación 33
3.1.2. Descripción del área de estudio 33
3.2. Identificación y descripción del material experimental 33
3.2.1. Identificación 33
3.2.2. Materiales y equipos 33

3.3. Procedimientos 34
3.3.1. Procedimiento para la obtención de la harina de frijol ucayalino germinado 34
3.3.2. Obtención del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino 34
3.3.3. Determinación de características fisicoquímicas del concentrado proteico 35
3.3.4. Determinación de propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico 36
3.3.5. Procedimiento para la elaboración de pan 36
3.3.6. Evaluación de los atributos sensoriales del pan 38
3.3.7. Determinación de las características fisicoquímicas del pan con mejores atributos sensoriales 38
3.4. Variables 39
3.5. Población y muestra 39
3.5.1. Población 39
3.5.2. Muestra 39
3.6. Tratamientos 40
3.7. Recolección de datos 40
3.7.1. Fuentes de información 40
3.7.2. Unidad experimental y de medición 41
3.7.3. Tipos de muestreo 41
3.7.4. Técnicas para recolección de datos 41
3.8. Procesamiento de datos 41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. Propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino 42
4.2. Propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino germinado 44
4.3. Propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol ucayalino germinado 48
4.4. Propiedades fisicoquímicas del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado 49
4.5. Propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado 51
4.6. Características sensoriales del pan elaborado mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado 54
4.6.1. Atributo color 54
4.6.2. Atributo sabor 55
4.6.3. Atributo olor 57
4.6.4. Atributo textura 58
4.6.5. Atributo apariencia general 61
4.7. Características fisicoquímicas del pan con mejores características sensoriales 63
V. CONCLUSIONES 66
VI. RECOMENDACIONES 67
VII. BIBLIOGRAFÍA 68
VIII. ANEXOS 78

RESUMEN

La mejora del contenido y calidad proteica en los alimentos ha motivado la incorporación de concentrado proteico (CP) de frijol ucayalino germinado en la elaboración de panes, mediante la sustitución parcial de harina de trigo. Se formularon cinco tratamientos con niveles crecientes de CP: T1 (0%-CP); T2 (5%); T3 (10%), T4 (15%) y T5 (20%). Se analizaron las características fIsicoquímicas de la harina de frijol, del germinado y del CP, así como sus propiedades tecnofuncionales. Además, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los panes , aplicando un diseño en bloques completos y la prueba de Friedman. La germinación mejoró el perfil nutricional del frijol, elevando el contenido proteico (24.37%) y de fibra (3.84%). El CP alcanzó 67.36% de proteína y 6.02% de cenizas. En cuanto a sus propiedades tecnofuncionales, se observó un incremento en la capacidad de absorción de agua (de 1.404 a 2.507 g/g), de aceite (de 0.907 a 3.133 g/g) y en la capacidad espumante (de 49.667 a 57.297), aunque se redujeron la capacidad emulsificante y de hinchamiento. Sensorialmente, el T3 (10%) fue el mejor valorado, este pan presentó 14.64% de proteína, destacando como un alimento nutritivo con harinas complementarias, El uso de CP de frijol germinado representa una alternativa viable para enriquecer el valor nutricional del pan sin afectar negativamente sus características sensoriales.

Palabras claves: Frijol ucayalino, germinación, digestibilidad, propiedades funcionales, concentrado proteico

ABSTRACT

The improvement of protein content and quality in food has motivated the incorporation of protein concentrate (PC) from sprouted Ucayali beans in bread making, through the partial replacement of wheat flour. Five treatments with increasing levels of PC were formulated: T1 (0%-PC); T2 (5%); T3 (10%), T4 (15%) and T5 (20%). The physicochemical characteristics of the bean flour, the sprout and the PC, as well as their technofunctional properties, were analyzed. In addition, the physicochemical and sensory properties of the breads were evaluated, applying a complete block design and the Friedman test. Germination improved the nutritional profile of the bean, increasing the protein content (24.37%) and fiber (3.84%). The PC reached 67.36% protein and 6.02% ash. Regarding its technofunctional properties, an increase in water absorption capacity (from 1.404 to 2.507 g/g), oil absorption capacity (from 0.907 to 3.133 g/g) and foaming capacity (from 49.667 to 57.297) was observed, although emulsifying and swelling capacities were reduced. Sensorily, T3 (10%) was the best valued, this bread presented 14.64% protein, standing out as a nutritious food with complementary flours. The use of sprouted bean CP represents a viable alternative to enrich the nutritional value of bread without negatively affecting its sensory characteristics.

Palabras claves: Ucayalino bean, germination, digestibility, functional properties, protein concentrate.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en nuestra región, la producción de frijol ucayalino ha disminuido (MIDAGRI 2020), lo que podría deberse a una deficiente política agraria regional, también por desconocimiento de las propiedades nutricionales que significa el consumo de leguminosas, y por falta de propuestas de aprovechamiento agroindustrial.

Sin embargo, las investigaciones vienen demostrando el interés en la fortificación de la harina de trigo con harinas sucedáneas rico en proteínas (lisina) para aumentar el contenido de proteínas y mejorar el equilibrio de aminoácidos esenciales de los productos horneados, especialmente el pan (Hallén *et al*. 2004). En ese sentido, las leguminosas constituyen una fuente de proteína vegetal, contienen un alto contenido de lisina, pero son deficientes en metionina y cisteína (Wang *et al*. citado por Vaz Patto 2016); sin embargo, si el consumo se realiza con un cereal (ricos en metionina y cisteína), el perfil de aprovechamiento proteico se eleva, por tener el cereal los aminoácidos esenciales complementarios (Vaz Patto 2016).

Por otro lado, se ha demostrado que el proceso de prefermentado y germinado de los granos de leguminosas mejora la digestibilidad de las proteínas, además de disminuir los componentes anti nutricionales (Sangronis y Machado 2007). El proceso de germinación implica cambios en la actividad enzimática de los granos e hidrólisis de macromoléculas, disminuyendo así los factores antinutricionales e incrementando la formación de otros compuestos, obteniéndose granos con mejores propiedades sensoriales y con mayor valor nutricional y funcional (Torres *et al*. 2018).

Según la literatura científica, los concentrados proteicos de cereales y leguminosas ayudan a la formulación de productos con mayor contenido proteico; para que una harina se considere como concentrado proteico el contenido de proteínas debe estar entre 60 y 80% (Pinciroli 2010); además, el proceso para la obtención de un concentrado proteico no es complicado, lo que permitiría su aplicación en la elaboración de muchos productos como los panarios, por ser un proceso de tecnología intermedia.

En la formulación de productos de panadería, el constituyente principal es la harina de trigo, esto porque durante el amasado se forma el gluten, proteína que permite a la masa tener las propiedades elásticas, reteniendo los gases productos de la fermentación, logrando obtener panes con buena presentación (Machado y Carvalho, citado por Vidaurre 2020). Sin embargo, es necesario la sustitución con harinas que aporten proteínas, en este caso las leguminosas; porque las proteínas de cereales y leguminosas son nutricionalmente complementarias entre sí (Obatolu, citado por Viswanathan y Ho 2014)

En nuestra región es común el consumo de panes elaborados a base de harina de trigo (panes blancos) o panes elaborados con harinas sucedáneas (solo aporta más harina), hecho que no contribuye a una mayor ingesta de proteínas necesarias para nuestro organismo. Luego, la investigación propone incorporar en la elaboración de pan el concentrado proteico de frijol ucayalino germinado, buscando incrementar el contenido y la calidad de proteínas. Por ello la investigación tuvo como objetivo:

- Evaluar las características fisicoquímicas y atributos sensoriales del pan elaborado mediante sustitución con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino (*Phaseulus vulgaris*) germinado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Antay (2021) expuso su investigación: “Sustitución parcial de la harina de trigo con harina de frijol palo (*Cajanus cajan* L.) germinado, en la elaboración de pan de molde”. Estableció cinco niveles de sustitución: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Los resultados del análisis fisicoquímico de harina de frijol germinado mostraron una mejora en proteína (1.08%) y fibra (0.04%). La reología de masas de las mezclas demostró que los niveles de sustitución: 0%, 5%, 10% y 15%; son aptos para la elaboración de pan. El análisis fisicoquímico de los panes mostró un incremento según las formulaciones, proteínas (7.22% a 12.16%), fibra (1.68% a 2.03) y ceniza (1.92 a 2.03%), disminuyó la grasa (3.31% a 3.21%) y carbohidratos (58.34% a 42.49%). El análisis sensorial reveló diferencias significativas ($p<0.05$), siendo el nivel de sustitución al 5% el más aceptado.

García *et al*. (2019) publicaron la investigación: “Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina de fríjol blanco (*Phaseolus lunatus* L.) y la determinación de su potencial uso agroalimentario”. Los granos fueron sometidos a tratamientos previos a la etapa de secado (60ºC), los cuales fueron: remojo (12h), cocción (97ºC, 90 min) y escaldado (72ºC, 5 min). El contenido proteico disminuyó al aumentar el tiempo de exposición a los tratamientos. La cocción incrementó las propiedades de absorción de agua y aceite. El mejor resultado para la capacidad emulsificante (43.0%) los mostró el tratamiento de remojo. No hubo diferencias el remojo y escaldado para la capacidad espumante. Las harinas sometidas a los tratamientos presentan propiedades funcionales que les confieren gran potencial para la elaboración de productos, como: bebidas instantáneas, salsas, galletas, embutidos, productos fritos y productos de repostería.

Ríos (2019) publicó los resultados de su investigación: “Obtención de concentrados proteicos de la torta residual de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), mediante tres métodos de extracción para su empleo en alimentos de consumo humano”. Para obtener el concentrado proteico aplicó los métodos de extracción hidroalcohólica, extracción isoeléctrica y extracción térmica. Analizó la composición química proximal y las propiedades tecnofuncionales: Capacidad de retención de agua; capacidad de absorción de aceite, capacidad de gelificación, capacidad emulsificante, capacidad de formación de espuma, estabilidad de espuma y solubilidad. El mejor tratamiento fue la extracción hidroalcohólica, cuyo contenido de proteínas fue 75.06 ± 1.23% y un rendimiento de 88.06%.

Tirgar *et al*. (2017) investigaron el efecto del método de extracción sobre las propiedades funcionales de los concentrados de proteína de linaza. Evaluaron la solubilidad de proteínas, capacidad de emulsión, actividad emulsionante y estabilidad, y las propiedades de los concentrados de proteína extraídos con álcalis, enzimáticos y enzimáticos-solventes de la harina de linaza y compararon con el concentrado de proteína de guisante comercial. El rendimiento, la composición y las propiedades de los concentrados de proteínas fueron influenciados por los métodos de extracción. La mayor solubilidad fue para concentrados de proteína obtenidos mediante extracción enzimática, seguido de proteína extraídos con álcalis a pH neutro. Las proteínas extraídas con álcalis mostraron significativamente ($p < 0,05$) la capacidad de emulsión más alta (87.91%), actividad emulsionante (87.18 m^2/g) y estabilidad (12.51 min) en comparación con los otros concentrados de proteínas.

Ouazib *et al*. (2016) estudiaron el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de garbanzo cruda y germinada a diferentes niveles sobre parámetros físicos y nutricionales de los panes. Los panes con un 10% de reemplazo de harina de trigo mostraron cambios menores en su calidad, pero un 20% de reemplazo resultó en un gran detrimento de la calidad. La dureza de la miga mejoró enormemente cuando se incorporó un 20% de harina cruda o tostada. En general, las harinas de garbanzo germinadas fueron la harina más apropiada para el reemplazo del trigo en lo que respecta al volumen específico del pan, la dureza de la miga y la composición nutricional (mayor contenido de proteínas).

Rivadeneyra y Zuloaga (2019) elaboraron pan con sustitución parcial de harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y fortificado con hierro hemínico. Prepararon panes con diferentes porcentajes de harina de tarwi, harina de trigo, hierro hemínico. Los resultados evidenciaron que los panes fortificados presentaron aumento en el contenido proteico conforme se incrementa los niveles de fortificación. La evaluación sensorial lo realizaron con un panel de 30 niños en edad escolar, evaluaron los atributos: dulce, salado, acido, amargo, color, aroma, utilizaron una ficha que contenía una escala hedónica estructurada de 1 a 5 puntos. Los panes elaborados con harina de trigo 80%, harina de tarwi 20% y hierro hemínico 5% tuvo mayor aceptación. El análisis fisicoquímico de la muestra de pan con harina de trigo 70%, harina de tarwi 30% y hierro hemínico 6% presentó el mayor contenido proteico.

Viswanathan y Ho (2014) investigaron la fortificación de pan blanco con brotes frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*), Para ello agregaron harina de frijol rojo germinado: 5, 15 y 25% a la harina blanca. Determinaron la digestibilidad de la proteína cruda y la proteína in vitro. El

contenido de proteína de los frijoles crudos mostró un aumento al remojar durante 17 h y brotar durante 3 días. Observaron un aumento en la digestibilidad de las proteínas. La germinación de los frijoles durante 72 h no mostró aumento significativo en el contenido de proteínas, pero se observó un aumento significativo en la digestibilidad de las proteínas in vitro. Los panes elaborados con un 15% de harina de leguminosas fueron comparativamente iguales en contenido de proteína, con una calidad general aceptable.

Borijindakul y Phimolsiripol (2013) investigaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas nativas y germinadas de frijol lablab. Germinaron a 25°C durante 12, 24, 36 y 48 h. Como control utilizaron frijoles sin germinación (harina nativa) y almidón de laboratorio nativo. Los resultados mostraron que el contenido de proteína de la harina aumentó con un aumento del tiempo de germinación. La germinación mostró un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre las propiedades de empastado de las harinas, como se refleja en la menor viscosidad máxima de las harinas. La capacidad de absorción de agua y aceite de las harinas germinadas no cambió después de la germinación. La germinación mejoró el valor nutricional de la harina de lablab.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Legumbres

Son aquellas leguminosas que se cosechan para obtener la semilla seca, los frijoles secos, lentejas y guisantes son las legumbres más populares y consumidos; no se consideran legumbres aquellos cultivos que son cosechados verdes (guisantes verdes, judías verdes), más bien son considerados hortalizas; también, no se consideran aquellos cultivos que se utilizan para extraer aceite (soja y maní) y otras legumbres (trébol y alfalfa) que su uso es sólo con fines de siembra (FAO 2015).

Son fijadoras de nitrógeno, por lo que mejoran la fertilidad del suelo permitiendo disminuir la aplicación de fertilizantes sintéticos. Las legumbres producen un aumento en la productividad de las tierras de cultivo. También son usados como cobertura (Palma aceitera) para el control de malezas (FAO 2015).

La proteína vegetal (en especial las leguminosas) cumple un papel importante en la nutrición, proporcionan nutrientes esenciales (proteínas, carbohidratos de bajo índice glicémico, fibra dietética, minerales y vitaminas) (Valiño *et al*. citado por Marrugo-Ligardo *et al.* 2016). Es importante resaltar su alto contenido proteico: 20 – 25% (FAO 2015). Además, al tener aminoácidos esenciales, péptidos bioactivos y propiedades funcionales, mejoran la estabilidad, textura y la calidad nutricional de los productos (Yewande y Thomas, citado por Marrugo-Ligardo *et al.* 2016). Las

leguminosas constituyen un grupo de alimenticios de consumo directo, siendo una de las opciones de mayor importancia para solucionar el problema de la dependencia alimentaria, pudiéndose utilizar en el desarrollo de una variedad de productos alimentarios (Olapade *et al*. citado por Marrugo-Ligardo *et al.* 2016).

Las legumbres tienen un alto contenido de proteínas, contienen poca grasa, pero son ricas en fibra soluble, que puede disminuir el colesterol y contribuir a controlar el azúcar en la sangre. Por ello, su consumo se recomienda para contrarrestar las enfermedades no transmisibles (diabetes y las dolencias cardíacas); también se ha demostrado que el consumo de legumbres ayudan a combatir la obesidad (FAO 2015). Además, las legumbres son un cultivo prioritario para los agricultores, porque pueden venderlas y también consumidas a nivel familiar, esto genera cierta seguridad alimentaria y estabilidad económica de sus hogares (FAO 2015).

Entre las legumbres más consumidas tenemos los frijoles blancos (*Phaseolus vulgaris* L.), habas (*Vicia faba* L.), garbanzos (*Cicer arietinum*), guisantes o arvejas (*Pisum sativum*), frijol mungo (*Vigna radiata L*.), caupí, frijoles de carete [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], y diversas variedades de lentejas (*Lens culinaris* Medik.). También hay muchas especies menos conocidas de legumbres como altramuces (*Lupinus albus* L., *Lupinus mutabilis* Sweet) y guisante de tierra (bámbara) (*Vigna subterranea* L.) (FAO 2015).

a. Compuestos presentes

Las legumbres son ricas en nutrientes, y son una buena fuente de proteínas; luego, al consumir juntamente con cereales, la calidad de la proteína se ve mejorada y se forma una proteína completa (FAO 2015).

Las legumbres tienen un bajo contenido en grasa y no contienen colesterol; la distribución del contenido graso se muestra en la Figura 1. Su índice glucémico es bajo; además, son una fuente importante de fibra en la dieta. Constituye un alimento perfecto para las personas celíacas, porque no contienen gluten. Además, las legumbres son ricas en minerales (hierro, magnesio, potasio, fósforo, zinc) y vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, niacina, B_6 y ácido fólico) (FAO 2015). El bajo contenido de aminoácidos azufrados de la proteína de las leguminosas requiere ser complementada con cereales para mejorar el perfil de la proteína dietaria (Sangronis *et al*. 2004).

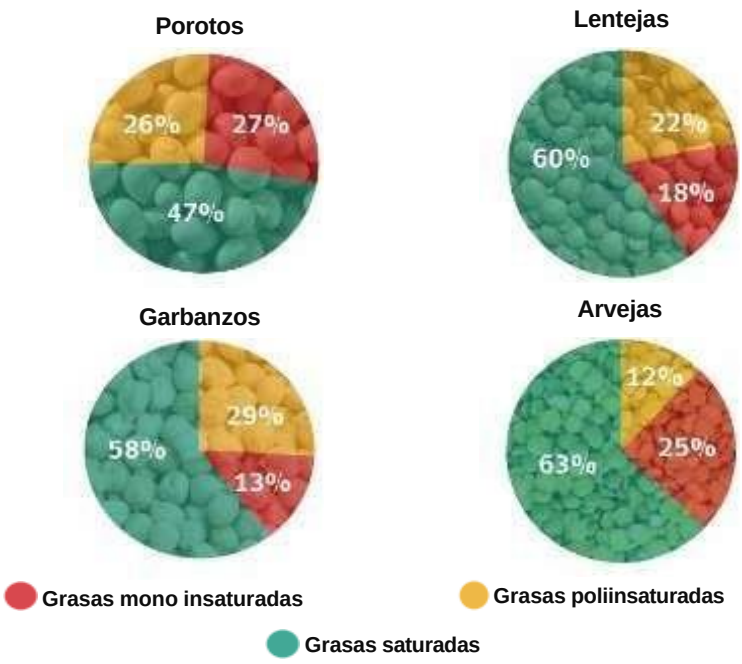


Figura 1. Tipo de grasas presentes en las legumbres.
FUENTE: Tay y Tay (2018).

2.2.2. Frijol común

a. Distribución geográfica

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se originó en América Central y del Sur. Es un cultivo antiguo y la evidencia arqueológica indica se cultiva desde el año 6000 a. C. Fue llevada a África en el siglo XVI por comerciantes portugueses y llevada a regiones de gran altitud por caravanas y comerciantes de esclavos. La domesticación se produjo en América Central (México y Guatemala) y en América del Sur (Perú) de forma independiente, lo que dio lugar a dos grupos de genes distintos (Sherasia *et al*. 2017).

El frijol común crece bien a temperaturas que oscilan entre 15 y 27ºC y resiste temperaturas de hasta 29.5ºC. Las altas temperaturas (alrededor de 35ºC) y el estrés hídrico durante el cuajado de flores y vainas provocan el aborto de gran número de flores y vainas en desarrollo. La mayoría de los frijoles requieren una temporada de crecimiento libre de heladas de 85 a 120 días. Los tipos de suelo adecuados van desde suelos ligeros a moderadamente pesados y turbosos (con materia orgánica) con pH casi neutro y buen drenaje (Sherasia *et al*. 2017).

b. Frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*)

Es una variedad regional que se caracteriza por tener el hábito de crecimiento trepador, alcanzando de 1.5 a 2.5 m de altura, robusto, granos con testa de color

marrón claro y de tamaño mediano. Con un rendimiento entre 900 a 1200 kg/há, el rango de adaptación se encuentra entre 120 a 750 msnm (INIPA, citado por Sánchez 2018).

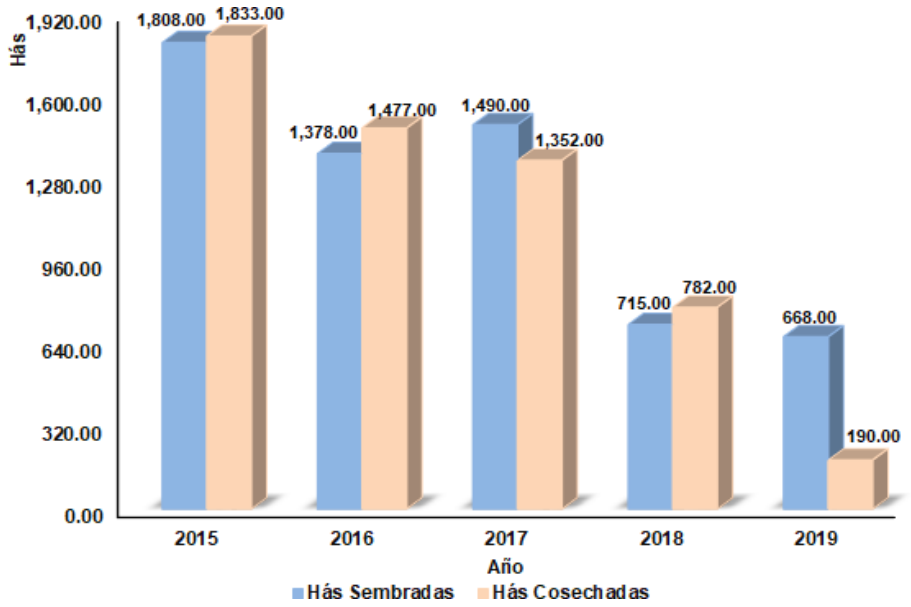


Figura 2. Variación de las hectáreas sembradas y cosechadas del cultivo de frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*).
FUENTE: MIDAGRI (2020).

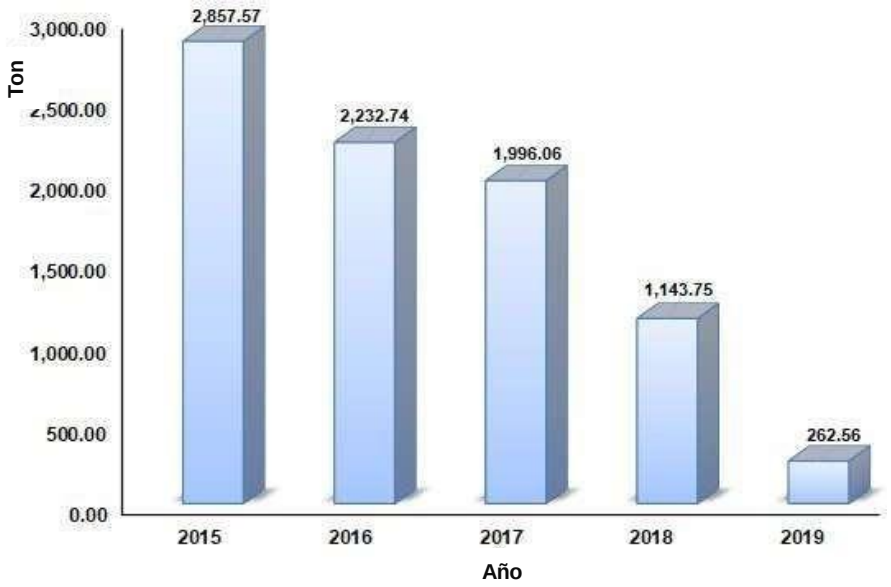


Figura 3. Producción (en toneladas) de granos de frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*).
FUENTE: MIDAGRI (2020).

Los terrenos de cultivo se ubican en las márgenes del río Ucayali y sus tributarios, los suelos se caracterizan por su buena fertilidad, la que es favorecidas por las inundaciones en temporadas de mayor precipitación. Dichas

áreas están cubiertas por una vegetación compuestas por especies pioneras y con alta capacidad de regeneración natural (MIDAGRI, citado por Sánchez 2018).

c. Clasificación taxonómica

Sherasia *et al*. (2017) reporta la clasificación taxonómica siguiente:

Reino	:	Plantae
Sub reino	:	Tracheobionta
Súper división	:	Spermatophyta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Sub clase	:	Rosidae
Orden	:	Fabales
Familia	:	Leguminosae
Sub familia	:	Papilionoidae
Género	:	Phaseolus
Especie	:	*Phaseolus vulgaris* L.

d. Composición química y valor nutricional

En el Cuadro 1, se muestra las características químicas y nutricionales del frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*).

Cuadro 1. Composición química y valor nutricional del frijol ucayalino.

Componente	Unidad	Cantidad
Energía	kcal	334.00
Humedad	g	13.50
Proteínas	g	21.70
Grasa total	g	2.30
Carbohidratos totales	g	58.80
Cenizas	g	3.70
Calcio	mg	830
Zinc	mg	3.48
Hierro	mg	5.44

FUENTE: Reyes *et al.* (2017).

Las dietas en las que se incluyen frijoles reducen las lipoproteínas de densidad baja, e incrementan los niveles de lipoproteínas de densidad alta y afectan positivamente los factores de riesgo del síndrome metabólico, de ahí la

propiedad de disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes (McCrory *et al*. citado Ganesan y Xu 2017). El valor nutritivo de las leguminosas es por su contenido proteico; además, son fuente importante de carbohidratos complejos, de absorción lenta y no digeribles (fibra alimentaria) (Aguilera 2009). Sin embargo, su composición varía considerablemente entre las distintas especies, e incluso entre variedades dentro de una misma especie (McCance y Winddson, citado por Aguilera 2009).

2.2.3. Proceso de germinación de leguminosas

La germinación de la semilla es el proceso de desarrollo de una semilla (un óvulo fertilizado que contiene un embrión, que forma una nueva planta al germinar). La hidratación de una semilla es un paso esencial para la germinación de la semilla. El embrión, una futura planta, emerge de una semilla a través de los tejidos que lo recubren, incluyendo la testa (cubierta de la semilla) y el endospermo (tejido nutritivo) (Martínez-Andújar y Nonogaki 2020).

La imbibición es la fase en la cual la semilla seca absorbe agua a través de los distintos tejidos que la conforman provocando el hinchamiento y el aumento de peso fresco (Goyoaga, citado por Cruz *et al*. 2015) Esta absorción conlleva a cambios metabólicos que incluyen la respiración y la síntesis proteica (Melgarejo, citado por Cruz *et al*. 2015).

En la actualidad se aplican nuevas tecnologías para disminuir los factores antinutricionales y mejorar el valor nutritivo de las leguminosas. La germinación es un método, que involucra cambios complejos en la actividad enzimática del grano y ruptura de macromoléculas, los cuales no solo disminuyen los factores antinutricionales, sino también incrementan la síntesis de proteína, la tasa de digestibilidad y disponibilidad del almidón, la fibra dietaría, el contenido de las vitaminas del complejo B y C (Khattab y Arntfield, citado por Piñero *et al*. 2013). En consecuencia, se obtienen granos germinados con mejores características sensoriales y mayor valor nutricional y funcional (Piñero *et al*. 2013).

La germinación es un proceso utilizado para modificar ciertas propiedades de las leguminosas y así poder usar como ingrediente en la formulación de productos. Las propiedades de hidratación, emulsificación, formación de espuma, gelificación, viscosidad, absorción de agua y aceite, solubilidad, dispensabilidad, sabor, formación de filmes, entre otras, son las propiedades funcionales que definen la aplicabilidad de un ingrediente (Sathe *et al*., citado por Sangronis *et al*. 2004).

Las legumbres germinadas son alimentos altamente nutritivos, especialmente por su mayor biodisponibilidad de hierro, principalmente debido a la reducción de fitatos y al aumento de ácido ascórbico con un avance del período de germinación. El tiempo de germinación seguido de diferentes tratamientos térmicos afecta el valor nutritivo de los brotes de leguminosas (Bains *et al*. 2011).

a. Cambios durante la germinación de granos de leguminosas

Durante el proceso de germinación se dan cambios positivos en la calidad nutricional y las características organolépticas de la semilla. Favorece la ruptura de polímeros de alto peso molecular, contribuyendo a la síntesis de compuestos biofuncionales, afectando la composición proximal y haciéndose más digestible, más suave y con mejor sabor (Meneemegalai y Nandakumar, citado por Cruz *et al*. 2015); puede incrementar el contenido de proteínas, fibra dietética, reducir el contenido de factores antinutricionales (taninos y ácido fítico), y aumentar la biodisponibilidad de vitaminas y minerales (Megat *et al*. citado por citado por Cruz *et al*. 2015), estos cambios pueden variar según al tipo de vegetal, la variedad de semilla y las condiciones de germinación (Sangronis y Machado 2007).

Los frijoles contienen alfa (α) - galactósidos, oligosacáridos de la familia de la rafinosa. Los α-galactósidos son un factor antinutricional del frijol porque no puede ser degradado por las enzimas digestivas humanas. Este problema conduce a la producción de CO_2, CH_4 y H_2, lo que resulta en flatulencias y otros trastornos digestivos después de su consumo (Borijindakul y Phimolsiripol 2013).

La germinación es uno de los métodos sugeridos como tratamiento eficaz para eliminar los factores antinutricionales (Valverde *et al*. citado por Borijindakul y Phimolsiripol 2013). El mecanismo de reducción de los factores antinutricionales se debe a la actividad de la enzima α-D-galactosidasa (Borijindakul y Phimolsiripol 2013). Durante la germinación, esta enzima descompone los α-galactósidos en sacarosa y glucosa como fuente de energía para el crecimiento de las plantas (Kadlec *et al*. citado por Borijindakul y Phimolsiripol 2013). La germinación es un método efectivo para reducir la actividad inhibidora de la tripsina (Ramakrishna *et al*. citado por Borijindakul y Phimolsiripol 2013).

El proceso de germinación mejora la solubilidad proteica, la capacidad de absorción de agua, de lípidos, la capacidad espumante, todos dependientes del pH; luego, la harina de granos germinados es recomendable para la elaboración de productos horneados, salchichas o postres (Sangronis *et al*. 2004).

Durante la germinación hubo una reducción de la humedad también disminuyó el contenido de grasa (Ghavidel y Prakash 2007), que podría deberse a la pérdida total de sólidos durante el remojo antes de la germinación (Wang *et al*. citado por Ghavidel y Prakash 2007) o a la utilización de la grasa como fuente de energía durante la germinación (Ghavidel y Prakash 2007). Mientras que el contenido de proteína después de la germinación aumentó significativamente (Ghavidel y Prakash 2007).

El proceso de germinación aumenta el contenido de proteínas, biodisponibilidad mineral y fibra dietética y reduce significativamente la actividad inhibidora de antinutrientes como el tanino, el ácido fítico, el ácido oxálico y la tripsina (Abioye *et al*. 2018). La germinación es una herramienta de enriquecimiento bioquímico que implica la transición de una semilla del estado latente al estado vital activo. Mejora el valor nutritivo de las semillas y reduce el nivel de antinutrientes y maximiza el nivel óptimo de nutrientes absorbibles (Inyang y Zakari, citado por Chauhan y Sarita 2018). También, se reporta en la literatura que la germinación (72 h) disminuye en la harina el amargor y el sabor (Akkad *et al*. 2021).

b. Beneficios de incorporar harinas de leguminosas en panificación

La adición de harinas de leguminosas en los productos de panificación mejora su calidad nutricional al aumentar su cantidad y calidad proteica; por su contenido de almidón resistente, puede ser usado en formulaciones con cantidades reducidas de grasa y azúcar y como fuente de fibra. También, el frijol contiene polifenoles, inhibidores de tripsina, lectinas, fibra, y biopéptidos, que son beneficiosos para la salud (Campos *et al*. citado por Cruz *et al*. 2015).

El almidón del frijol se digiere más lento y en menor cantidad comparado con cereales. Cerca del 20% del almidón del frijol no logra digerirse; sin embargo, los carbohidratos no lograron digerirse previenen el desarrollo de cáncer de colon (Feregrino-Pérez *et al*. citado por Cruz *et al*. 2015). Por la limitación en la digestibilidad del almidón, al frijol es considerado un alimento de bajo índice glicémico (Cruz *et al*. 2015).

Se reportan investigaciones sobre el uso de la harina de arroz integral germinado como insumo alimentario funcional en la panificación (Charoenthaikij *et al*. citado por Cornejo y Rosell 2015), debido a su alto contenido en compuestos bioactivos (Cáceres *et al*. citado por Cornejo y Rosell 2015). Dicha práctica produce cambios en las propiedades reológicas del rebozado, modificando el manejo de

la masa, además de una mejora de la textura de la miga, aumento de la producción de gas durante la fermentación y retardo del envejecimiento del pan (Charoenthaikij *et al*. citado por Cornejo y Rosell 2015). Por otro lado, la germinación podría producir una licuefacción excesiva y una dextrinización del granulado de almidón, produciendo "miga húmeda pegajosa" (Hallen *et al*. citado por Cornejo y Rosell 2015), por lo que es necesario definir el tiempo de germinación adecuado para optimizar las características de panificación de la harina (Cornejo y Rosell 2015).

2.2.4. Concentrados proteicos

Se denomina concentrado proteico cuando el contenido de proteínas está entre 60 y 80%; en tanto que, un aislado proteico presenta un contenido de proteínas superior al 80% (Pinciroli 2010). La producción de aislados de proteínas vegetales es de creciente interés para la industria alimentaria debido a las crecientes aplicaciones de las proteínas vegetales en los mercados alimentarios, productos nutracéuticos y alimentos funcionales (Poveda *et al*. 2016).

Los concentrados de proteínas de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*, por sus características nutricionales que poseen: proteína, coeficiente de digestibilidad, proteína disponible, cómputo químico e índice de calidad proteica, pueden ser adicionados a ciertos tipos de productos alimentarios para enriquecerlos y mejorar su calidad nutritiva (Marrugo-Ligardo *et al.* 2016).

a. Métodos de concentración de proteínas

Los métodos más utilizados para la obtención de concentrados proteicos son:

- **Extracción de compuestos no proteicos mediante el uso de agua ajustada al punto isoeléctrico de las proteínas**

  El método consiste en extracciones sucesivas con agua y centrifugaciones para separar la parte insoluble del sobrenadante en el que van disueltos los compuestos que se deben eliminar. La extracción acuosa a pH controlado es poco desnaturalizante para las proteínas, esto permite mantener las propiedades funcionales del producto (Sair, citado por Vioque *et al.* 2001).

- **Extracción de compuestos no proteicos con agua tras tratamiento térmico**

  Primero se realiza una insolubilización de las proteínas tratando la harina desengrasada con vapor de agua a presión atmosférica. El vapor va a permitir el arrastre de componentes volátiles responsables de olores y sabores

desagradables, como son los ácidos grasos de cadena corta y sus derivados oxidados (McAnelly, citado por Vioque *et al.* 2001).

- **Extracción de compuestos no proteicos mediante soluciones hidroalcohólicas**

  Las mezclas hidroalcohólicas permiten una adecuada extracción de compuestos tales como lípidos polares y sus productos de oxidación, fenoles, isoflavonas, esteroles, azucares, etc. Además, las proteínas son generalmente poco solubles en mezclas agua-alcohol sobre todo cuando el alcohol representa más del 40% v/v (Kozlowska *et al*. citado por Vioque *et al*. 2001).

2.2.5. Propiedades tecnofuncionales de las proteínas

Son propiedades fisicoquímicas que contribuyen a las características deseadas de un alimento. Se clasifican en tres grandes grupos: Propiedades de hidratación dependiente de las características proteína–agua, propiedades dependientes de las interacciones proteína-proteína y propiedades superficiales (Marrugo *et al*. citado por Jaimes *et al*. 2014).

Las propiedades funcionales de las harinas simples y compuestas determinan la aplicación de alimentos y el uso final de dichos materiales para otras aplicaciones (Valencia *et al*. citado por Dussán-Sarria *et al*. 2019). Dichas propiedades determinan los requisitos de empaque, manejo de materias primas y la aplicación en el procesamiento en húmedo en la industria alimentaria (Valencia *et al*. citado por Dussán-Sarria *et al*. 2019).

Las propiedades tecnofuncionales de una proteína están determinadas por sus propiedades físicas y químicas que intervienen en el proceso alimentario, como el almacenamiento, la preparación y el consumo, debido a los múltiples cambios en el comportamiento proteico; existen factores intrínsecos y extrínsecos que afectan las propiedades tecnofuncionales de una proteína (Yu *et al*. citado Garrido-Balam *et al*. 2024). Es necesario comprender las propiedades de las proteínas y sus cambios en relación con los diferentes sistemas alimentarios, y su relación con la calidad de los productos alimenticios; entre las propiedades funcionales tenemos, la capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, la capacidad de formación de espuma, la estabilidad de la formación de espuma y la emulsificación (Zhang *et al*. citado Garrido-Balam *et al*. 2024).

Las harinas vegetales contienen mayormente almidones; luego, los índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Damodaran *et al*. citado por Dussán-Sarria *et al*. 2019). Un mayor índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento en las harinas de origen vegetal, son indicadores de una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua (Damodaran *et al*. citado por Dussán-Sarria *et al*. 2019).

a. Capacidad de retención de agua

Es la cantidad de agua absorbida por gramo de material proteico, la capacidad de retención de agua tiene que ver con la cantidad de agua que es absorbida por los gránulos de almidón hinchados y/o embebidos en agua (Cauvain y Young, citado por Hoyos y Palacios 2015),

Los materiales con alta capacidad de absorción de agua proporcionan dureza y evitan la liberación de agua, especialmente durante el almacenamiento de los productos (Boye *et al*. citado por Porras 2010). Entre los factores principales que afectan la capacidad de absorción de agua son la desnaturalización y el desdoblamiento de las proteínas, y la presencia de carbohidratos y componentes no proteicos (Kinsella, citado por Mune Mune *et al*. 2014).

b. Capacidad de absorción de aceite

Es la facilidad que presentan las proteínas para unir aceite, es aprovechado mayormente en aquellos productos donde se desea reemplazar carne, se utiliza como extensores debido a que mejora la retención del sabor y aroma; además, mejora la sensación en el paladar cuando se consume el producto (Ogunwolu *et al*. citado por Porras 2010). Su mecanismo se debe a la retención física del aceite y al número de cadenas laterales no polares en las proteínas que enlazan las cadenas hidrocarbonadas de las grasas (Sangronis *et al*. citado por Romero y Tuiran 2017). Algunas ocasiones referida como capacidad de retener aceite, es calculada como la cantidad de aceite absorbida por cantidad de proteína (g) (Porras 2010).

La capacidad de las proteínas de retener lípidos es afectada por las interacciones proteína-lípido y la configuración espacial de la fase lipídica, el cual lo determina las interacciones lípido-lípido. Los enlaces hidrófobos, electrostáticos, no covalentes y puentes de hidrógeno son los involucrados en las interacciones

proteína-lípido (Zayas, citado por Polanco 2017). La habilidad proteica para retener lípidos es de importancia para aplicaciones como sustitutos de carnes y extensores, porque mejora la retención de sabor y mejora la sensación en la boca (Kinsella y Melachouris, citado por Polanco 2017).

c. Capacidad emulsificante

Las proteínas como compuestos tensioactivos y antivíricos se pueden utilizar como agentes emulsionantes en la producción de sistemas alimentarios. Las propiedades emulsionantes de las proteínas se caracterizan como capacidad emulsionante y estabilidad de la emulsión; la estabilidad de la emulsión es medida en un cierto período de tiempo, y la actividad de la emulsión es una medida de cuánto aceite puede emulsionar una proteína por unidad de proteína (Boye *et al*. citado por Barac *et al*. 2015).

Una proteína que presenta cualidades ideales como emulsionante, para una emulsión de aceite - agua tendría un peso molecular relativamente bajo, una composición de aminoácidos equilibrada (términos de residuos cargados, polares y no polares), buena solubilidad en agua, hidrofobicidad superficial bien desarrollada, y una conformación relativamente estable (Belitz *et al*. citado por Barac *et al*. 2015).

Los factores extrínsecos que afectan las propiedades de formación de espuma son, por ejemplo, pH, temperatura y fuerza iónica. La proteína también debe tener la capacidad de formar enlaces fuertes como enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Klupšaitė y Juodeikienė 2015).

d. Capacidad de formación de espuma

Las espumas son dispersiones de burbujas de gas en una fase continua líquida o semisólida; las proteínas cumplen la función de reducir la tensión interfacial orientando sus grupos hidrofílicos hacia el exterior de la burbuja en contacto con el agua, y los hidrofóbicos hacia el interior, con el aire (Murria y Ettelaie, citado por Castel 2010).

Las proteínas son los agentes espumantes por excelencia en muchos productos alimenticios, debido a que son fuertemente adsorbidas en la interfase agua-gas, tienen buena estabilización estérica y electrostática, y la película adsorbida presenta cierta coherencia estructural evitando la coalescencia y desproporción de la estructura; la formación y estabilidad de espumas pueden ser modificadas

por diversos factores, como la concentración y solubilidad proteica, el pH, la concentración y tipo de sales e hidratos de carbono y por factores intrínsecos de la proteína como la hidrofobicidad total y superficial, la carga neta y superficial, la flexibilidad, la conformación molecular y la susceptibilidad al trabajo mecánico durante el espumado (Castel 2010).

Los alimentos como la crema batida, los helados, las tortas, los merengues y el mouse, son espumas o sistemas mixtos. En estos productos las proteínas son los principales agentes tensoactivos que ayudan en la formación y estabilidad de la fase gaseosa dispersa (Damodaran y Paraf, citado por Castel 2010).

2.2.6. Elaboración de pan

El pan es un producto horneado, es un alimento presente en la dieta familiar, suministra una porción significativa de nutrientes (Bennion, citado por Ibáñez 2014). Los panes varían en tamaño, forma, textura, apariencia y sabor. En su elaboración participan insumos que difieren de acuerdo al tipo y a su formulación (Bennion, citado por Ibáñez 2014; Ayón 2017). Cada uno de los insumos del pan, desempeña en el proceso un determinado papel funcional y aporta uno o más nutrientes (Bennion, citado por Ibáñez 2014).

Un pan de buena calidad debe tener un volumen suficiente, el cual genera un aspecto atractivo, tanto en su forma, como en el color, y una miga porosa uniforme (alveolos) y suave para permitir una fácil masticación; sin embargo, suficientemente firme que permita su corten en rebanadas (FAO, citado por Salazar 2015). Las diferencias entre las formas distintas de elaboración de pan se encuentran en la mezcla, amasado, incorporación de aire, formación y desarrollo del gluten. La subdivisión de la masa y las etapas del proceso que afecten a las piezas individuales modifican la calidad del producto, aunque dicha calidad se genere durante el desarrollo de la masa (Parra y Valencia 2017).

a. Materias primas

Las materias primas incorporadas durante el proceso de elaboración de pan tenemos: harina, agua, sal, levadura y otros ingredientes (Miralbés, citado por Ayón 2017). Los cuatro primeros componentes se utilizan en la elaboración de pan común, la falta de una de ellas o la incorporación de otro componente particular implica la elaboración de panes especiales (Ayón 2017).

- **Harina**

  La harina es el resultado que se obtiene luego de la molturación fina de los granos de trigo maduros, sanos, secos e inocuos (Calaveras, citado por Ayón 2017).

- **Agua/hielo**

  Luego de la harina, el agua es el componente sustancial de la masa, y ejerce un papel fundamental en el proceso de elaboración. El agua, al hidratar la harina logra hinchar los glóbulos de almidón lo que favorece el ablandamiento y alargamiento del gluten, esto da a la masa las características de plasticidad que proporciona su desarrollo y manejo (Calvel, citado por Ayón 2017).

- **Gluten**

  Está formado por las proteínas insolubles en agua, gliadina y glutenina. La gliadina proporciona la tenacidad y la glutenina la extensibilidad y elasticidad de la masa. Son las responsables de las características reológicas de las masas y forman el gluten, dando la estructura de la masa (Calaveras, citado por Ayón 2017).

- **Antimoho**

  Los productos panarios son sensibles al ataque de mohos y hongos. Para incrementar la vida útil se usan sales de propionatos los que inhiben su crecimiento, sin alterar la acción fermentable de la levadura. Los ácidos orgánicos que resultan de la fermentación bajan el pH originando sinergia con el conservador (Othón, citado por Ayón 2017).

- **Sal yodada**

  La sal incrementa las características de consistencia y tenacidad de la masa, permite aumentar ligeramente la adición de agua. También actúa sobre la fermentación, ralentizando un poco el proceso y actuando en este como reguladora de la fermentación. Durante la cocción favorece la tonalidad característica de la corteza; además, mejora el sabor del pan (Calvel, citado por Ayón 2017).

- **Levadura**

  La levadura lleva a cabo el proceso fermentativo, cuyo producto es alcohol y anhidrido carbónico. acondicionada la masa lo airea haciéndolo más liviano y de mejor apariencia; se utilizan las levaduras (*Saccharomyces cereviciae*) de dos tipos: Levadura seca (forma granulada) y levadura en pasta (US Wheat Associates, citado por Ayón 2017). Para ejerza su acción la levadura es necesario humedad, azúcar, materias nitrogenadas, minerales y temperatura

adecuada (26°C), las temperaturas bajas retardan su acción. A temperaturas superiores de 35°C se debilita su acción (US Wheat Associates, citado por Ayón 2017).

- **Azúcar**

  Las azúcares más importantes en la harina son la sacarosa y la maltosa; pero no son fermentables, por ello los enzimas los desdoblan para tener azúcares más sencillos, lo que se hace posible gracias a la mezcla harina más agua (Calaveras, citado por Ayón 2017).

  La levadura se alimenta de glucosa, la que permite llevar a cabo su metabolismo, favoreciendo la acción de los enzimas. Además, impulsa la rápida formación de la corteza del pan debido al proceso de caramelización y a la reacción de Maillard entre azúcares reductores (maltosa, dextrosa y levulosa) y las proteínas de la harina, lo que permite temperaturas de horno más bajas, más rápida cocción y mayor cantidad de agua retenida en el producto final (US Wheat Associates, citado por Ayón 2017).

- **Manteca**

  La manteca es la grasa más usada, por su costo o porque le da al pan un sabor más aceptable para el consumidor. Tecnológicamente es el vehículo que permite la distribución de los insumos en la masa (Quaglia, citado por Ayón 2017). Mejora la apariencia de los productos de panificación, se distribuye en finas láminas entre los hilos de gluten en la masa lo que produce un efecto lubricante, dando una masa suave y agradable y la uniformidad de la miga es muy pronunciada. Además, mejora la conservación, al disminuir la pérdida de agua y ayuda a mantener la frescura del pan, mejorando la corteza (US Wheat Associates, citado por Ayón 2017).

- **Mejoradores**

  Son tratamientos o productos que se utilizan para mejorar el valor de una harina respecto a su color, su poder diastásico o las propiedades plásticas de la masa resultante (Calvel, citado por Ayón 2017).

  En algunos países está prohibido la adición de mejoradores químicos oxidantes que tienen por efecto mejorar la acción del gluten (bromato de potasio, persufato de amonio, etc.). Sólo están permitidos los mejoradores biológicos, son menos eficaces, pero no presentan peligro alguno (Calvel, citado por Ayón 2017).

b. Métodos del proceso de elaboración de pan

Se reportan dos métodos principales de producción de pan:

- *Método directo*: Es el menos utilizado, se caracteriza porque se usa sólo levadura comercial. Requiere un tiempo de reposo de la masa (unos 45 minutos) antes realizar la división de la misma. No es aplicable en procesos mecanizados con división automática volumétrica (Parra y Valencia 2017).

- *Método esponja*: Es el más utilizado en el proceso de elaboración de pan francés y pan de molde. Para ello se prepara una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% de toda la harina, toda la levadura (comercial) y litros de agua como kilogramos de harina. Se deja reposar la masa unas horas, luego se adiciona la harina restante y del agua, a partir de ahí se procede como en el método directo (Parra y Valencia 2017).

c. Método de elaboración

El método de elaboración depende de los procedimientos de elaboración y según del tipo de pan.

- **Mezclado / Amasado**

  Consiste en la integración de los ingredientes de acuerdo al tipo de pan que se trabaje, esta etapa determina la calidad final del producto. Varía según el tipo de pan a trabajar debido a los distintos ingredientes que se utilizan, cantidades y forma de amasar la mezcla (Cuyún 2015). En esta etapa se alcanza la mezcla íntima de los insumos y se logra las propiedades plásticas de la masa, también la oxigenación. El amasado se realiza en máquinas amasadoras (Quaglia, citado por Ayón 2017).

- **División y pesado**.

  Se realiza para que las piezas tengan el peso correspondiente. Si son piezas grandes se pesan a mano, pero si son piezas pequeñas se utiliza una divisora hidráulica, pesando a mano una porción de masa múltiplo del número de piezas que da la divisora (Quaglia, citado por Ayón 2017).

- **Formado / boleado**

  El objetivo es dar forma a la masa según el tipo de pan. Por lo general para formas especiales del pan el boleado debe realizarse en forma manual (Quaglia, citado por Ayón 2017).

- **Fermentación**

  Consiste en una fermentación anaeróbica (alcohólica) realizada por levaduras que degradan los azúcares fermentables en etanol, anhidrido carbónico y algunos productos secundarios. Si se utiliza levadura de masa se producen en menor medida otras fermentaciones llevadas a cabo por bacterias. El CO_2 producido es retenido por la masa, logrando esponjarse, también mejora el sabor del pan debido a las modificaciones que soportan los componentes de la harina (Quaglia, citado por Ayón 2017).

- **Horneado**

  Transforma los bolos de masa fermentada en pan, por evaporación del etanol producido en la fermentación, evaporación de una parte del agua contenida en la masa. Se realiza en hornos a temperaturas entre 220 y 260°C, aunque en el interior de la masa no llega a superar los 100ºC. Los hornos que se utilizan en panadería son diversos, desde continuos (hornos de túnel), o discontinuos (hornos de solera, de pisos, de coches, etc.) (Quaglia, citado por Ayón 2017).

2.2.7. Evaluación de atributos sensoriales de panes

Las evaluaciones sensoriales permiten diversificar el uso de materias primas alternativas (sean originarias o introducidas), en la fabricación de nuevos productos alimentarios que enriquezcan la disponibilidad y el acceso a los alimentos (Metcalf y Eddy, citado por Surco y Alvarado 2011). No es suficiente que un nuevo producto alimentario contenga cantidades apropiadas de componentes proximales. La palatabilidad y aceptabilidad también son componentes importantes de la calidad nutricional. Si el alimento no es sensorialmente aceptable, su consumo no se constituirá en una alternativa (Surco y Alvarado 2011).

La necesidad de sustituir las fuentes tradicionales de alimentos es creciente; pues los actuales sistemas de producción tienen que abastecer a una población más grande y cada vez más exigente (Surco y Alvarado 2011). Las limitaciones de la producción llevan a diversificar las fuentes de productos agroalimentarios y aliviar el peso de la importación para satisfacer el consumo nacional, aliviando el peso de la importación y avanzando hacia la seguridad alimentaria (Surco y Alvarado 2011). La calidad sensorial del pan se percibe con los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto (Meilgaard *et al*. citado por Callejo 2016) y es importante en la calidad total del producto (Curic *et al*. citado por Callejo 2016).

Existen dos métodos de evaluación sensorial, los métodos afectivos (tests de aceptación de consumidores) que permiten evaluar la actitud del consumidor respecto a los atributos relacionados con la calidad del pan y la decisión de compra, está influenciado por el origen socio-cultural, percepción de frescura, actitud del consumidor hacia los panes ecológicos y desarrollo de nuevos productos de panificación (Callejo 2016), y los métodos analíticos (análisis descriptivos sensoriales) en los se utilizan panelistas entrenados, los que permiten la elaboración del perfil sensorial de un pan. Los panelistas deberán estar familiarizados con los descriptores sensoriales y la intensidad de cada atributo (Katina, citado por Callejo 2016). Generalmente los atributos sensoriales del pan se agrupan en cuatro niveles: apariencia, olor, textura y flavor (Kihlberg, citado por Callejo 2016).

a. Atributos de apariencia

Son aquellos atributos evaluados mediante la vista: el color de la miga y de la corteza, el número de alveolos, su forma y regularidad. Los panes elaborados con harina de trigo, presentan un color de miga varía del blanco crema al marrón claro (Kihlberg *et al*. citado por Callejo 2016). El tipo de harina que se utiliza en la elaboración del pan afecta el color de la miga, aunque otros factores, como la oxidación de carotenoides que ocurre durante el amasado, podría incidir en un blanqueo de la miga de los panes elaborados con harinas de trigo (Callejo 2016).

El color de la corteza se origina e incrementa durante el proceso de cocción del pan (horneado) y está relacionado con las reacciones de Maillard y de caramelización, originándose compuestos que afectan al color y al flavor del pan (Callejo 2016). También, las α-amilasas, hidrolizan el almidón en glucosa y maltosa, que serán asimiladas por las levaduras y actuarán también como sustratos en las reacciones de Maillard. Una baja actividad α -amilásica de la harina podría dar lugar a cortezas deficientes de color (Callejo 2016).

La cantidad de alveolos y la variación en su tamaño en la miga influyen en las propiedades asociadas con la textura del pan y están relacionados con el contenido en proteína de la harina y con las condiciones de fermentación (Salmenkallo-Martila *et al*. citado por Callejo 2016).

b. Atributos de olor

El olor del pan es determinante en la aceptación por el consumidor. Se han identificado un gran número de compuestos volátiles asociados al aroma del pan,

sólo algunos tienen una incidencia determinante en su olor final (Pozo Bayón *et al*. citado por Callejo 2016).

Se originan por la actividad enzimática durante el amasado, por el metabolismo de las levaduras y las bacterias lácticas durante el proceso fermentativo, las reacciones de oxidación de las grasas y las reacciones térmicas durante el horneado (cocción), principalmente reacciones de Maillard y de caramelización (Cayot, citado por Callejo 2016). También las recetas (insumos y técnicas de elaboración) contribuyen en gran medida al aroma final del pan (Callejo 2016).

Los componentes aromáticos de la miga se originan durante el proceso fermentativo, mientras el color de la corteza se ve afectada durante el proceso de cocción (Callejo 2016). El olor tostado de los panes depende de la producción en la corteza de compuestos activos de flavor durante el horneado. El compuesto que contribuye en el olor de la corteza de los panes es la 2-Acetyl-1-pirrolina (Thiele, citado por Callejo 2016). Se han identificado otros once compuestos volátiles que inciden en el olor y el flavor de la miga y la corteza del pan (Thiele, citado por Callejo 2016).

c. Atributos de textura

En los panes fermentados (con volumen) la textura es un factor que determina la calidad sensorial del pan e influye en gran medida en la decisión de compra del consumidor (Heenan *et al*. citado por Callejo 2016). La vida útil corta y la pérdida de frescura de la miga está principalmente relacionada con el desarrollo de dos parámetros de textura: el incremento de firmeza y pérdida de elasticidad (Poinot *et al*. citado por Callejo 2016).

La textura de la miga está asociada con la cantidad de agua adicionada y por el tipo de harina (cantidad y calidad proteica) utilizada; la percepción de los atributos de textura por paneles de jueces entrenados se realiza en dos etapas: fase táctil (compresión de la miga con el dedo) done se evalúan los atributos de compacidad y elasticidad, y una segunda fase (introducción de la miga en la boca), donde se evalúan la humedad, adhesividad y cohesividad (Callejo 2016).

d. Atributos de flavor

El flavor es la percepción simultánea del sabor, el aroma y la respuesta del nervio trigerminal; comprende las percepciones olfatorias originadas por las componentes volátiles captadas en la cavidad nasal, también las percepciones

causadas por los componentes solubles que se detectan en la boca como sabores básicos, así como los factores sensoriales químicos (astringencia, picor, calor, frío) (Callejo 2016).

e. Procedimiento de cata de pan

Existe una gran variabilidad de métodos para la preparación de muestras, así como en la evaluación de los atributos (grosor de las rebanadas, separación o no de corteza y miga, recipientes para contener las muestras, etc.), luego, es difícil la comparación de resultados (Guardia *et al*. citado por Callejo 2016).

El panel evaluador debe cumplir ciertos requisitos; en el caso de evaluaciones sensoriales con jueces afectivos, aleatorios no entrenados es conveniente conformar un panel de degustación que reúna ciertas características (Surco y Alvarado 2011). En referencia al tamaño del panel se necesitan como mínimo 10 personas para que los resultados sean significativos (Hill y Bart, citados por Surco y Alvarado 2011) los evaluadores deben ser consumidores habituales del producto evaluado, tomados al azar (Crites, citado por Surco y Alvarado 2011).

Durante la evaluación de la calidad desde el punto de vista del consumidor, el análisis sensorial se transforma en una herramienta de suma utilidad, que permite encontrar atributos de valor importantes para los consumidores, que sería muy difícil evaluar de otra manera (Surco y Alvarado 2011). Las preferencias de los consumidores varían según las perspectivas culturales o demográficas, de un consumidor a otro, dentro de un grupo cultural o demográfico o incluso en el mismo consumidor dependiendo de muchos factores como el humor o el uso que le intenta dar al producto (Prussia y Shewfelt, citado por Surco y Alvarado 2011), lo que puede presentar alguna limitante.

Se debe garantizar la seguridad e higiene del alimento; luego, las propiedades organolépticas son el criterio que determina la elección y la fidelidad del consumidor hacia un producto (Grupo Eroski, citado por Surco y Alvarado 2011).

La calidad como aceptabilidad por parte del consumidor de un determinado producto está integrada por distintos aspectos recogidos por los sentidos: vista (color y defectos), olfato (aroma y sabor), tacto (manual y bucal), oído (tacto y durante la masticación) y gusto (sabor); los aspectos de calidad, tanto externos como internos, son valorados por el consumidor a la hora de decidir sobre la adquisición de un producto para consumo en fresco (Surco y Alvarado 2011).

2.3. Definición de términos

Leguminosas

Son plantas de la familia de las Fabaceae (Mazur *et al*. citado por Rusydi *et al*. 2011). Sus frutos contienen vainas y son comestibles, otras se utilizan como forraje; estas plantas fijan el nitrógeno atmosférico en el suelo (Acosta 2021).

Legumbres

Son las semillas comestibles de las leguminosas (Mazur *et al*. citado por Rusydi *et al*. 2011). Es una de las fuentes importantes de proteínas, carbohidratos, fibra dietética y minerales (Tharanathan y Mahadevamma, citado por Rusydi *et al*. 2011).

Frijol ucayalino

Legumbre producida en la región Ucayali, utilizada como alimento por los pobladores amazónicos, de excelente sabor luego de la cocción (Collado y Pinedo 2010).

Pre fermentado

Es el proceso de remojar antes de cocinar las legumbres con el fin de reducir las cantidades de oligosacáridos que causan flatulencias (Fernandes *et al*. 2010).

Germinación

Proceso natural que ocurre durante el período de crecimiento de las semillas en el que cumplen con las condiciones mínimas para su crecimiento y desarrollo (Sangronis *et al*. citado por Rusydi *et al*. 2011).

Digestibilidad proteica

Es una forma de medir el aprovechamiento de la proteína, tiene dos procesos, la digestión (hidrólisis) y absorción (aminoácidos) (Manríquez, citado por Espinoza y Herrera 2019).

Concentrado proteico

Es un producto proteínico vegetal cuyo porcentaje de proteínas varía entre 60 y 80% (Pinciroli 2010).

Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de las proteínas son todas las propiedades no nutricionales que éstas imparten a los productos alimenticios (Roussel-Philippe *et a*l. citado por Polanco 2017), implican las características fisicoquímicas que determinan el uso de las proteínas en los alimentos y el comportamiento durante el procesado, almacenamiento y consumo de los mismos (Zayas, citado por Polanco 2017).

III. MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El estudio se llevó a cabo en dos ubicaciones: los laboratorios de Poscosecha y Química de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, ubicados en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, y la empresa GIVAL E.I.R.L., ubicado en carretera Federico Basadre (km 6.200), manzana L Lote 15, Urbanización Santa Marina, distrito de Callería, ambos en la región Ucayali.

3.1.2. Descripción del área de estudio

Según el Plan de Estudios de la carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el estudio forma parte de la línea: Procesamiento de lácteos, cárnicos, frutas y hortalizas, cereales, oleaginosas y leguminosas, y que forma parte del área: Tecnología de productos alimentarios. Corresponde a una investigación de tipo aplicada y de nivel experimental.

3.2. Identificación y descripción del material experimental

3.2.1. Identificación

Se utilizó frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*), las que se adquirieron del Mercado de Yarinacocha, “Inversiones Peña”.

3.2.2. Materiales y equipos

Material biológico y otros: Concentrado proteico de frijol ucayalino, harina de trigo

Material de campo: Bolsas de papel kraft, bolsas ziploc.

Equipos: Balanza de precisión, balanza analítica, estufa Memert, pH-Metro, Baño maría, agitador, mufla, centrífuga, vortex, molinillo manual, tamizador analítico, equipo de titulación.

Equipos de proceso: Batidora-amasadora, mesa de acero inoxidable, divisora, cámara de fermentación, bandejas y coches, horno eléctrico.

Materiales: Mortero y pilón, tamiz, varilla de vidrio, probetas, campanas de desecación, placas Petri, termómetro, vaso de precipitado, matraz, luna de reloj, pipeta, tubos falcom, platos y casos descartables.

Reactivos: Agua destilada, soluciones buffer, hidróxido de sodio, aceite de maíz.

3.3. Procedimientos

3.3.1. Procedimiento para la obtención de la harina de frijol ucayalino germinado

- **Recolección de la muestra de frijol ucayalino**

  Los granos de frijol ucayalino se adquirieron del mercado de Yarinacocha. Se tuvo en cuenta la sanidad de los granos. Una vez completado el peso correspondiente se trasladaron al Laboratorio de Poscosecha de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

- **Proceso de germinación de los granos de frijol ucayalino**

  Para el proceso de germinación se consideró el procedimiento reportado por Sangronis *et al*. (2004) y Borijindakul y Phimolsiripol (2013) con ligeras modificaciones; los granos de frijol fueron lavados y se desinfectó por inmersión en una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 1% durante 10 min, luego se enjuagó con agua corriente y abundante.

  Seguidamente se remojaron en agua destilada en una relación 1:3 (p/V) por seis horas, drenándose luego el exceso de agua. Los granos escurridos se colocaron sobre bandejitas conteniendo una tela de algodón húmedo, se germinaron a temperatura ambiente (28 ± 2°C) y en oscuridad durante 72 horas. Diariamente se tuvo que humedecer con agua destilada para mantener una adecuada hidratación, este proceso se realizó durante los tres días.

- **Secado de los granos germinados de frijol ucayalino**

  Los granos de frijol ucayalino germinados se secaron en la estufa a 60°C, con ventilación, durante 10 horas (Sangronis *et al*. 2004).

- **Molienda de los granos germinados de frijol ucayalino**

  Los granos secos fueron triturados en el molino de discos (Laboratorio de Procesos Agroindustriales), luego se procedió a tamizar la harina obtenida en un intervalo de tamices N° 325 (45 µm) y N° 120 (125 µm). Se envasaron en bolsas de aluminio laminado, luego colocados en bolsas de papel kraft y empacados en bolsas ziploc.

3.3.2. Obtención del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino

Para la obtención del concentrado proteico se consideró el procedimiento reportado por Aguilar *et al*. (2000), Vioque *et al*. (2001) y Jaimes *et al*. (2014), con ligeras modificaciones.

- **Extracción de grasa de la harina**

  Se realizó por método de soxhlet bajo condiciones térmicas moderadas no superior a 40°C, para conservar las propiedades funcionales de las proteínas (AOAC, citado por Jaimes *et al*. 2014).

- **Extracción de los carbohidratos solubles y sales minerales**

  Con la harina desengrasada se preparó suspensiones de harina-agua para la extracción de los carbohidratos solubles y sales minerales en la relación 1:8 y se ajustó el pH a 8 utilizando NaOH 1N (Vioque *et al*. 2001; Jaimes *et al*. 2014).

- **Obtención del concentrado proteico**

  Luego de lograr separar los carbohidratos de la harina se procedió a la obtención del concentrado proteico. Para ello se mezcló la harina de frijol ucayalino germinado con una solución de etanol al 60% (v/v) en una relación 1:8, regulando el pH a 7.0 con NaOH 1N, esta mezcla se mantuvo a 40°C y en agitación (300 rpm) durante una hora, luego del cual se filtró y posteriormente se secó el producto a 60°C (Vioque *et al*. 2001; Jaimes *et al*. 2014).

3.3.3. Determinación de características fisicoquímicas del concentrado proteico

Las características fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino germinado y del concentrado proteico se realizaron según los métodos oficiales de la AOAC (1995) según lo reporta Aguilera (2009), y que involucra la determinación de humedad, cenizas, grasa y proteína.

- La determinación de la humedad, se realizó por diferencia de peso antes y después del secado de la muestra en estufa a 65°C y a presión atmosférica, hasta alcanzar peso constante (método 934.01, AOAC).

- La determinación de cenizas se hizo mediante mineralización de las muestras a una temperatura de 525°C en una mufla durante 4 horas (método 942.05, AOAC).

- La determinación de grasa se realizó mediante Soxhlet (método 991.10, AOAC).

- La determinación de proteína se hizo mediante el digestor Kjeldahl (método 32.1.22, AOAC).

- La determinación de carbohidratos se calculó por diferencia.

3.3.4. Determinación de propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico

Se realizó en el Laboratorio de Poscosecha. La determinación se hizo según la metodología reportada en las investigaciones de Modercay y Bermudez (1994), Aguilera (2009), Jaimes *et al*. (2012) y Jaimes *et al*. (2014). Los procedimientos se reportan en el Anexo 2.

3.3.5. Procedimiento para la elaboración de pan

Para el proceso de elaboración de panes se procedió según la propuesta de Ordóñez y Oviedo (2010) y Freire (2019) cuyas etapas se muestran en la Figura 4.

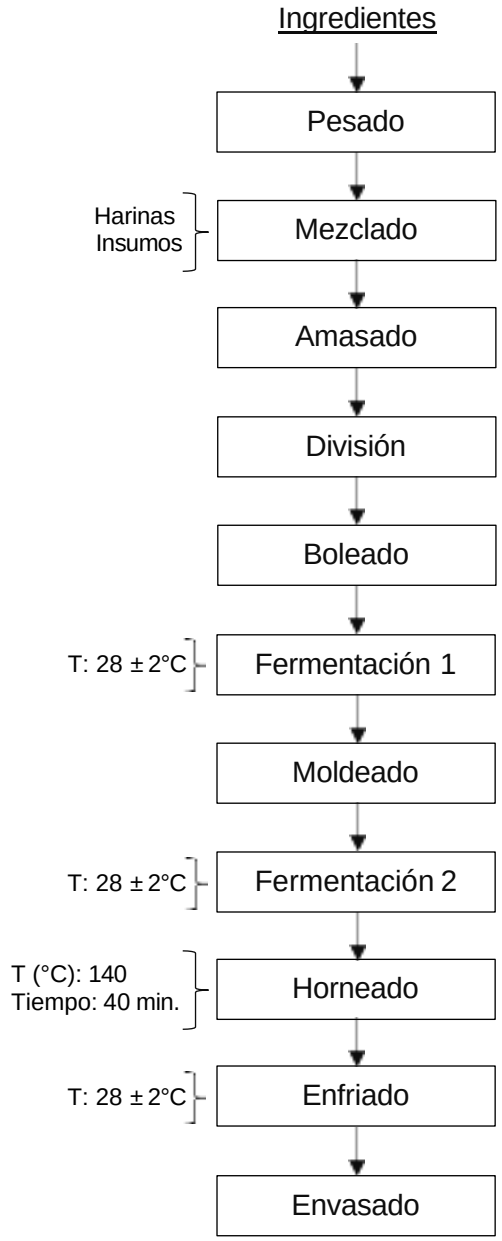


Figura 4. Diagrama de flujo seguido para la elaboración de pan.

FUENTE: Adaptado de Ordóñez y Oviedo (2010) y Freire (2019).

Pesado

Los ingredientes para la elaboración de pan fueron pesados para evaluar rendimientos, se realizó según la formulación.

Mezclado

Los ingredientes se mezclaron en un inicio en la amasadora considerado como recipiente, primeramente, los sólidos, luego los productos líquidos.

Amasado

Se realizó en la amasadora con los ingredientes, esta etapa se es muy importante porque se debe controlar la temperatura para no tener problema de desnaturalización de proteína. Una parte del agua será agua fría.

División

Una vez alcanzada la masa las características se dividieron en bloques de masa para una fermentación adecuada.

Fermentado 1

Como la temperatura de la ciudad es cercana a la temperatura óptima del desarrollo de la masa, solo se colocaron en bandejas para que pueda dar inicio a la fermentación, durante 40 minutos.

Moldeado

Los bloques de masa fueron moldeados pero a la forma definida del pan, considerando el peso. Seguidamente se colocaron en las bandejas.

Fermentado 2

Las bandejas conteniendo los panes en masa se colocaron en los coches y se llevarán a reposo para su segundo proceso de fermentación, durante 30 minutos aproximadamente.

Horneado

Esta etapa las bandejas conteniendo los panes que fueron colocados en los coches, se trasladaron al horno eléctrico, durante 40 min a 140°C.

Enfriado

Los panes se enfriaron a temperatura ambiente en las mismas bandejas que salieron del horno, aproximadamente 30 minutos.

Envasado

Los panes enfriados a temperatura ambiente fueron colocados en una bolsa de papel kraft, y colocados en canastas hasta la evaluación sensorial.

3.3.6. Evaluación de los atributos sensoriales del pan

Los panes elaborados fueron evaluados por 30 panelistas semi entrenados; personas que consumen pan y que conozcan de las características que debe tener un pan (Surco y Alvarado 2011).

La evaluación se llevó a cabo en el Laboratorio Poscosecha, para ello se adecuó el ambiente con cabinas individuales de modo que no haya interferencia entre los panelistas. Además, la hora de evaluación fue de 10:00 am a 11:00 am, para que las decisiones en cuanto a los atributos del pan no se vean afectados por la ingesta de los alimentos en el desayuno y el almuerzo (Surco y Alvarado 2011).

La presentación de la muestra se hizo en platos descartables, en la que se colocaron los panes enteros, también se colocó dos vasos descartables, uno lleno de agua para enjuagar la boca, y otro vacío para desechar el agua de enjuague.

También se colocó dentro de la cabina, el formato de evaluación de los atributos sensoriales: color, sabor, olor, textura y apariencia general. Con las intensidades establecidas mediante prueba hedónica:

Me gusta mucho (5)
Me gusta poco (4)
No me gusta no me disgusta (3)
Me disgusta poco (2)
Me disgusta mucho (1)

3.3.7. Determinación de las características fisicoquímicas del pan con mejores atributos sensoriales

Los panes con mejores atributos sensoriales fueron analizados fisicoquímicamente. Para ello se separó una muestra (diez panes) y debidamente rotuladas se trasladaron a los Laboratorios de Poscosecha y Química para el análisis de algunas características fisicoquímicas; el análisis proximal fue realizado por terceros.

3.4. Variables

Variables independientes

Factor; Porcentaje de sustitución con concentrado proteico de frijol ucayalino germinado.
Niveles: 0, 5, 10, 15 y 20% de concentrado proteico.

Variables dependientes

Atributos sensoriales (Color, sabor, olor, textura y apariencia general).
Características fisicoquímicas (pan con mejor atributo sensorial)

Cuadro 2. Operacionalización de variables.

	Variables	Dimensiones	Indicador
Variable independiente	Porcentaje de sustitución con concentrado proteico de frijol ucayalino germinado.	%	0, 5, 10, 15 y 20%
Variable dependiente	Atributos sensoriales del pan	Color, olor, sabor, apariencia general.	Puntuación 1 al 5
	Características fisicoquímicas del pan.	Acidez	% de ácido
		pH	-
		Humedad, proteína, grasa, carbohidratos.	g/100 g

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población considerada fue el correspondiente a la cantidad de frijol ucayalino que se produce en la provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

3.5.2. Muestra

La muestra se frijol ucayalino fueron adquiridos del mercado de Yarinacocha, empresa “Inversiones Peña”, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. En total se compró 10 kg de frijol. La muestra se obtuvo de modo no probabilístico – en forma intencional, granos que sean sanos, secos y frescos (Otzen y Manterola 2017).

3.6. Tratamientos

En el trabajo de investigación el porcentaje máximo de sustitución será 20% (Abdelaal *et al*. citado por Viswanathan y Ho 2014). Se estudió un solo factor: Porcentaje de sustitución con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino. En el Cuadro 3, se muestran los niveles de sustitución con concentrado proteico, los que constituyen los tratamientos.

Cuadro 3. Nivel de sustitución parcial (tratamiento) de concentrado proteico de frijol ucayalino germinado en la elaboración de pan.

Componente [1]	**T_1**	**T_2**	**T_3**	**T_4**	**T_5**
Harina de trigo (%)	100	95	90	85	80
Concentrado proteico (%)	0	5	10	15	20
Agua (%)	63.7	63.7	63.7	63.7	63.7
Manteca (%)	4	4	4	4	4
Levadura (%)	4	4	4	4	4
Sal (%)	2	2	2	2	2
Azúcar (%)	7	7	7	7	7
Mejorador (%)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

[1] Porcentaje a incorporar de cada insumo.

Para la evaluación sensorial se aplicó un diseño en bloque completos al azar, siendo el modelo lineal aditivo:

$$Yij = \mu + Si + P_j + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} : Observación (atributo sensorial del pan)

μ : Media general.

S_i : Efecto de la sustitución parcial (concentrado proteico).

P_j : Efecto de los panelistas (bloque).

E_{ijk} : Error experimental.

3.7. Recolección de datos

3.7.1. Fuentes de información

Como fuentes de información se tuvo la bibliografía especializada. Además, se consideró como fuente de información los resultados de la determinación de las características fisicoquímicas y evaluación de los atributos sensoriales realizados al pan.

3.7.2. Unidad experimental y de medición

La unidad experimental serán los panes elaborados con diferentes niveles de sustitución de concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado.

Las unidades de medición serán los expresados según los resultados obtenidos de la evaluación de los atributos sensoriales y de la determinación de las características fisicoquímicas del pan con mejor atributo sensorial.

3.7.3. Tipos de muestreo

La obtención de las muestras de frijol ucayalino se hizo de forma no probabilístico (intencional o por criterio), toda vez que sólo se considerará parte de la muestra los frijoles sanos.

3.7.4. Técnicas para recolección de datos

La recolección de datos fue del tipo instrumental, toda vez que son equipos de instrumentación los que se utilizó para la determinación de las características fisicoquímicas; mientras que para la evaluación de los atributos sensoriales realizados al pan se utilizó formatos tipo encuestas. Los datos obtenidos se procesaron utilizando la hoja de cálculo Excel. El análisis y procesamiento de datos se realizó con el programa STATGRAPHICS Centurión XV.

3.8. Procesamiento de datos

Los datos se analizaron estadísticamente considerando la normalidad de los datos, es así que los datos cualitativos (evaluación sensorial) se evaluaron mediante procedimientos no paramétricos (prueba de Friedman).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino

En el Cuadro 4 se muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino.

Cuadro 4. Parámetros fisicoquímicos de la harina de frijol ucayalino.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado
Materia seca	%	Gravimétrico	88.07
Humedad	%	Gravimétrico	11.93
Proteína	%	Kjeldahl	**20.68**
Aceites y grasas	%	Extracción por solvente - Gravimétrico	2.85
Carbohidratos	%	Indirecto	60.92
Ceniza	%	Gravimétrico	3.62

Según la NTP 205.040, la humedad de la harina sucedánea no debe ser superior a 15%; luego, como el contenido de humedad de la harina de frijol ucayalino fue de 11.93%, entonces dicha harina cumple con la NTP; por otro lado, el valor determinado en la investigación para la harina de frijol ucayalino es superior al porcentaje de humedad: 12.70 ± 0.11 para el mismo tipo de frijol (Rada 2021); también, es mayor a lo reportado para la harina de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) que presentó una humedad de 5.78% (López 2018), pero cercano al valor de humedad (11.52% ± 0.03) determinado para la harina de frijol de palo (Antay 2021). Sin embargo, la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, presentó una humedad (%):7.9 ± 0.27 (García *et al*. 2019). Es necesario mencionar que el contenido elevado de humedad favorece el crecimiento microbiano y de las reacciones oxidativas (Awol *et al*. 2024), también están directamente relacionadas con la calidad y estabilidad de los alimentos (Tapia *et al*. 2020). Por tanto, el almacenamiento de la harina debe hacerse en sitios frescos y secos, la humedad no debe sobrepasar el 15%, debido a que provocan cambios físicos indeseables y apelmazamiento (Asecnsa, citado por Tulcán 2020).

Respecto al contenido de proteína, el frijol ucayalino presenta un 20.68%, valor inferior al porcentaje 23.5 ± 0.11 reportado para el mismo tipo de frijol (Rada 2021), pero de valor similar al contenido proteico de la harina de frijol de palo (*Cajanus cajan*): 20.14% ± 0.02 (Antay 2021) y ligeramente superior al contenido proteico de la harina de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray): 19.94% (López 2018). Mientras que la harina de frijol

blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, presentó un menor contenido proteico (%): 18.3 ± 0.05 (García *et al*. 2019). La variación en el contenido proteico podría ser debido a la desnaturalización parcial o total de las proteínas al someterse los granos a procesamiento (López-Alcocer *et al*. citado por García *et al*. 2019).

Las proteínas son esenciales para el funcionamiento del organismo, contienen péptidos bioactivos beneficiosos; las proteínas de origen animal son más digeribles y aportan todos los aminoácidos esenciales; sin embargo, representan una huella ecológica con un impacto negativo para los recursos ambientales; por otro lado, al combinar diversas proteínas de origen vegetal se puede lograr las necesidades proteicas requeridas; además, un mayor consumo de proteínas de origen vegetal está asociado al menor riesgo problemas cardiovasculares (Quesada y Gómez 2019).

El contenido de aceites y grasas de la harina de frijol ucayalino fue 2.85%, dicho valor es superior a lo que se reportaron para el frijol ucayalino: 2.20% ± 0.06 (Rada 2021). También, superior a la harina de *Phaseolus acutifolius* Gray, 1.89% (López 2018), para la harina de frijol de palo (*Cajanus cajan*): 1.54% ± 0.02 (Antay 2021); también, mayor a lo determinado para la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, que presentó un contenido de lípidos de 0.90% ± 0.07 (García *et al*. 2019). Las legumbres por lo general presentan bajo porcentaje de lípidos, a excepción de las oleaginosas; sin embargo, entre los lípidos presentes están en mayor proporción los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, de mayor importancia biológica para el organismo, y también están presentes en menor proporción los ácidos grasos saturados (Nor Azmah *et al*. 2023).

Para el contenido de cenizas, la NTP 205.040 indica que el contenido máximo de cenizas para harinas (sucedáneas) de legumbres es 5.0%, en la investigación el contenido de cenizas para la harina fue de 3.62%, dicho valor está dentro de lo exigido por la NTP. El contenido de cenizas de la harina de frijol ucayalino es ligeramente mayor a lo reportado para la misma especie: 3.45% ± 0.13 (Rada 2021), también fue mayor que el contenido de cenizas reportados para las harinas de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) que presentó 3.4% (López 2018) y de frijol de palo (*Cajanus cajan*) que presentó 3.34% ± 0.10 (Antay 2021); sin embargo, la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, presentó un contenido de cenizas (%): 4.4 ± 0.13 (García *et al*. 2019), valor mayor a lo determinado en la investigación para la especie de frijol estudiado.

Un mayor contenido de cenizas de la harina de legumbres significa un potencial del incremento de ingesta de minerales en la dieta al combinar con otros productos

alimenticios con bajo contenido de cenizas (Millar *et al*. 2019); sin embargo, los panaderos consideran que una harina con alto contenido de cenizas (> 1%) es de peor calidad debido al efecto de dilución de las proteínas funcionales (Cauvain, citado por Millar *et al*. 2019) 2015). Esto puede tener un efecto negativo en la elaboración del pan y puede resultar en una reducción del volumen del pan (Mohammed *et al*. citado por Millar *et al*. 2019).

Respecto al contenido de carbohidratos, el frijol ucayalino presenta un 60.92%; mientras que para la misma especie se reportaron un contenido de carbohidratos: 54.68% ± 0.29 y un contenido de fibra de 3.47% ± 0.10 (Rada 2021). Dicha diferencia se explica porque en la investigación no se determinó el contenido de fibra, por lo que el contenido de carbohidratos es mayor. También, en la literatura se reportan para la harina de frijol de palo (*Cajanus cajan*) un contenido de fibra cruda (%): 7.18 ± 0.02 y carbohidratos (%): 56.28 ± 0.03 (Antay 2021), y para la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, un contenido de fibra cruda (%): 4.0 ± 0.03 y carbohidratos (%): 64.5 ± 0.50 (García *et al*. 2019).

La variación en las características fisicoquímicas se debe a factores como la variedad, especie, cultivo, composición nutricional (Miquilena *et al*. citado por García *et al*. 2019), desnaturalización parcial o total de las proteínas al someterse los granos a procesamiento, el cual afecta la composición nutricional y las propiedades funcionales del producto final (López-Alcocer *et al*. citado por García *et al*. 2019).

4.2. Propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino germinado

En el Cuadro 5 se muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino germinado.

Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos de la harina de frijol ucayalino germinado.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado [1]
pH	-	Potenciométrico	6.48 ± 0.03
Humedad	%	Gravimétrico	8.50 ± 0.02
Ceniza	%	Gravimétrico	4.13 ± 0.03
Fibra bruta	%	Digestión ácida - básica	3.84 ± 0.03
Aceites y grasas	%	Extracción por solvente	1.58 ± 0.11
Proteína	%	Kjeldahl	**24.37 ± 0.54**
Carbohidratos	%	Diferencial	57.58 ± 0.67

[1] Los resultados corresponden a la media ± SD, para n = 3.

Según la NTP 205.040, la humedad de la harina sucedánea no debe ser superior a 15%; luego, como el contenido de humedad de la harina de frijol ucayalino germinado fue de 8.50% ± 0.02, entonces dicha harina cumple con la NTP; por otro lado, el valor determinado en la investigación para la harina de frijol ucayalino germinado es similar al porcentaje de humedad: 8.85 ± 0.10 para el mismo tipo de frijol pero germinado (Rada 2021); también fue similar para la harina de frijol de palo (*Cajanus cajan*) germinado que presentó una humedad (%):8.46 ± 0.03 (Antay 2021), pero menor a los valores reportados de la humedad(%): 11,62 ± 0,02, para la harina de frijol rojo germinado y la humedad (%): 15,04 ± 0,02, para el frijol mungo (Sattar *et al*. 2024),

Comparando con la humedad de la harina de frijol ucayalino crudo (Cuadro 4), la humedad del frijol germinado es menor, dicha variación podría deberse a las condiciones de secado de los granos, en ambos casos el secado fue en estufa. Por otro lado, durante la germinación, las legumbres absorben el agua circundante para el inicio del proceso metabólico (Medhe *et al*. 2019); además, las legumbres secas ingieren agua rápidamente; sin embargo, puede ser afectada por la estructura de la legumbre; luego, el aumento en la absorción de agua durante un período de tiempo se debe al aumento del número de células dentro de la semilla que se hidratan (Medhe *et al*. 2019).

En la investigación el contenido proteico (%) de la harina de frijol ucayalino germinado fue: 24.37 ± 0.54, dicho valor es menor a lo reportado para la harina de frijol ucayalino germinado (%): 28.40 ± 0.12 (Rada 2021), pero mayores a lo reportado para las harinas de frijol de palo (*Cajanus cajan*) germinado (%): 21.22 ± 0.03 (Antay 2021), frijol rojo germinado (%): 20.12 ± 0.02, frijol blanco germinado (%): 18.04 ± 0.03 (Sattar *et al*. 2024). Además, comparando el contenido proteico de la harina de frijol ucayalino crudo con la harina germinada, en la investigación observamos que, el contenido proteico se incrementó en la harina de frijol germinado; el mismo comportamiento reportaron para la harina de frijol ucayalino germinado (Rada 2021), harina de frijol de palo germinado (*Cajanus cajan*) (Antay 2021):para las harina de frijol rojo germinado, harina de frijol blanco germinado y harina de frijol mungo germinado (Sattar *et al*. 2024).

La germinación de los frijoles mejora la actividad proteolítica, lo que provoca la hidrólisis de las proteínas de almacenamiento (Ghavidel y Prakash 2007); luego, la disminución del contenido proteico después de la germinación podría deberse al aumento del nivel de proteasa durante la germinación (Medhe *et al*. 2019), también, el aumento de la actividad proteolítica durante la germinación de las semillas tiende a la descomposición de las proteínas de reserva para la asignación de recursos de nitrógeno (aminoácidos libres) para el proceso de germinación (Medhe *et al*. 2019). Sin embargo, un incremento en el

contenido proteico podría deberse a la variedad del frijol y las condiciones de germinación (Liu *et al*. 2018); también se menciona que, el incremento en el contenido proteico de la harina de frijol germinado podría deberse a la liberación de proteínas empaquetadas (Hejazi y Orsat, citado por Yang *et al*. 2021) y a la síntesis de proteínas (Chauhan *et al*. citado por Yang *et al*. 2021), también, por la disminución en el contenido de carbohidratos. Además, dicho incremento podría atribuirse a la respiración del frijol durante el proceso de germinación que consumió la mayor parte de la grasa y los carbohidratos, y la síntesis de nueva proteína (Zheng y Qu, citado por Liu *et al*. 2018).

El contenido de aceites y grasas (%) de la harina de frijol ucayalino germinado fue: 1.58 ± 0.11, dicho valor es mayor a lo reportado para la harina de frijol ucayalino germinado (%): 0.80 ± 0.08 (Rada 2021) y harina de frijol rojo germinado (%): 1.47 ± 0.02 (Sattar *et al*. 2024), pero similar a lo reportado para la harina de frijol mungo germinado (%): 1.59 ± 0.02 (Sattar *et al*. 2024), y ligeramente mayor a lo reportado para la harina de *Cajanus cajan* germinado (%): 1.42 ± 0.03 (Antay 2021): sin embargo, se reportaron mayores valores de aceites y grasas para las harinas de frijol blanco germinado (%): 2.04 ± 0.03, frijol negro germinado (%): 2.08 ± 0.02 (Sattar *et al*. 2024). Además, comparando el contenido proteico de la harina de frijol ucayalino crudo con la harina germinada, en la investigación observamos que, el contenido de aceites y grasas disminuyó en la harina de frijol germinado; el mismo comportamiento reportaron para la harina de frijol ucayalino germinado (Rada 2021), harina de frijol de palo (*Cajanus cajan*) germinado (Antay 2021); para las harina de frijol mungo germinado y harina de frijol negro germinado (Sattar *et al*. 2024); sin embargo se incrementó para la harina de frijol de rojo germinado, harina de frijol blanco germinado (Sattar *et al*. 2024), y harina de *Vigna aconitifolia* germinada (Medhe *et al*. 2019).

La disminución en el contenido de aceites y grasas, es posible porque hay un consumo de grasa en el proceso de germinación o la descomposición de la molécula pequeña como un nuevo componente resultó en la disminución de la grasa (Liu *et al*. 2018); la grasa almacenada en el frijol podría haberse utilizado en actividades catabólicas de las semillas durante la germinación (Onimawo y Asugo, citado por Liu *et al*. 2018).

En la investigación el contenido de cenizas (%) de la harina de frijol ucayalino germinado fue: 4.13 ± 0.03, dicho valor es mayores a lo reportado para las harinas de frijol ucayalino germinado (%): 4.05 ± 0.14 (Rada 2021), frijol *Cajanus cajan* germinado (%): 3.27 ± 0.02 (Antay 2021), frijol *Vigna aconitifolia* germinada (%): 3.27 ± 0.09 (Medhe *et al*. 2019). frijol rojo germinado (%): 2.04 ± 0.03, frijol mungo germinado (%): 3.83 ± 0.02, frijol negro germinado (%): 3.80 ± 0.02 (Sattar *et al*. 2024). Además, comparando el contenido de

cenizas de la harina de frijol ucayalino crudo con la harina germinada, en la investigación observamos que, el contenido de cenizas se incrementó en la harina de frijol germinado; el mismo comportamiento reportaron para las harinas de frijol ucayalino germinado (Rada 2021); frijol blanco germinado, frijol mungo germinado y frijol negro germinado (Sattar *et al*. 2024). En el caso de la harina de frijol de *Cajanus cajan* germinado presentó una disminución en el contenido de cenizas (Antay 2021); la disminución del contenido de cenizas podría deberse a la eliminación de la parte de la cáscara y de las raíces, que tienen algunas cantidades de minerales (Ghavidel y Prakash, citado por Liu *et al*. 2018).

En la harina de frijol ucayalino germinado el contenido de fibra bruta (%) fue: 3.84 ± 0.03 y el contenido de carbohidratos (%): 57.58 ± 0.67; dichos valores son cercanos a lo reportado para la harina de frijol ucayalino germinado (%):3.95 ± 0.15, y 53.95 ± 0.35 (Rada 2021) para la fibra bruta y carbohidratos respectivamente. Sin embargo, la harina de *Cajanus cajan* presentó mayor contenido de fibra cruda (%): 7.22 ± 0.01 y similar contenido de carbohidratos (%): 58.40 ± 0.03 (Antay 2021).

También en la literatura se reportan menores valores del contenido de fibra cruda para las harinas de frijol blanco germinado (%): 2.83 ± 0.02 y frijol de rojo germinado (%): 3.64 ± 0.02 (Sattar *et al*. 2024), pero el mayor contenido de fibra cruda se reporta para las harinas de frijol negro germinado (%): 5.63 ± 0.04, frijol mungo germinado (%): 7.79 ± 0.03 (Sattar *et al*. 2024) y harina de *Vigna aconitifolia* germinado (%): 7.00 ± 0.12 (Medhe *et al*. 2019). Además, comparando el contenido de fibra cruda de la harina de frijol ucayalino crudo con la harina germinada se incrementó (Rada 2021), del mismo modo para la harina de frijol *Cajanus cajan* germinado (Antay 2021); también para la harina de *Vigna aconitifolia* germinada (Medhe *et al*. 2019), y para las harinas de frijol blanco germinado, frijol de rojo germinado, frijol negro germinado y frijol mungo germinado (Sattar *et al*. 2024).

En la investigación la cantidad de fibra bruta se vio afectada por el proceso de germinación, luego, a medida que aumenta la concentración de fibra en el frijol germinado, estos serán más adecuados para el consumo debido a la mayor ingesta de fibra (Medhe *et al*. 2019). Además, el incremento de fibra cruda podría ser debido a la síntesis de nuevas células y al aumento de los carbohidratos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa de la planta durante la germinación (Wang et al. Citado por Medhe *et al*. 2019). Por otro lado, el aumento de fibra cruda se debe principalmente a las alteraciones en los polisacáridos encontrados en la pared celular, como la celulosa, la glucosa y la manosa (Medhe *et al*. 2019); también, el contenido de fibra cruda de las

harinas aumenta con la germinación debido al crecimiento de brotes que conducen a la síntesis de nuevas paredes celulares primarias (Jan *et al*. citado por Yang *et al*. 2021).

Los germinación granos, imparte un sabor nutricional al mejorar la biodisponibilidad de sustancias nutricionales y la textura, convirtiéndolas en los ingredientes alimentarios de carácter funcional (Sattar *et al*. 2024).); durante un proceso de germinación, las hormonas vegetales comienzan a liberarse junto con las enzimas digestivas (amilasas, proteasas y lipasas), quienes degradan el almidón, las proteínas y los lípidos, respectivamente, afectando la función y la calidad de la harina de legumbres germinadas (Akkad 2021).

4.3. Propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol ucayalino germinado

En el Cuadro 6 se muestra los resultados de las propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol ucayalino germinado.

Cuadro 6. Propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol ucayalino germinado.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado [1]
Capacidad de absorción de agua (CAA)	g agua/g muestra	Gravimétrico	1.404 ± 0.017
Capacidad de absorción de aceite (CAG)	g aceite/g muestra	Gravimétrico	0.907 ± 0.001
Capacidad emulsificante	%V/V	Volumétrico	62.333 ± 0.289
Capacidad de hinchamiento	mL/g muestra	Volumétrico - Gravimétrico	1.365 ± 0.013
Capacidad espumante	%V/V	Volumétrico	49.667 ± 0.577

[1] Los resultados corresponden a la media ± SD, para n = 3.

El valor de las propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol ucayalino germinado es menor a lo reportado para la harina de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) cruda, que presentó una capacidad de retención de agua (g/g muestra): 2.40 ± 0.20; capacidad de retención de aceite (g/g muestra): 1.26 ± 0.40; capacidad emulsionante (mL/100 mL): 100 ± 0.00, pero similar en cuanto a la capacidad espumante (mL/100 mL): 0.50 ± 0.50 (López 2018).

También fue menor que las propiedades tecnofuncionales de la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus*) remojado durante 12 horas, que presentó una capacidad de absorción de agua (g/g muestra): 2.40; capacidad de retención de aceite (g/g muestra): 2.0; pero fue mayor en cuanto a la capacidad emulsificante (%): 43.5 y la capacidad de formación de espuma (%): 14.0 (García *et al*. 2019).

La capacidad de retención de aceite es muy importante para la formulación de productos de panadería, productos cárnicos y sustitutos de carne, sopas y alimentos para freír ya que se relaciona con la capacidad de retención de los sabores y con la suavidad que adquiere el producto (García *et al*. citado por García *et al*. 2019).

Comparando la capacidad de absorción de agua de la harina de frijol ucayalino germinado con la capacidad de absorción de agua (1.40 - 1.38) de las harinas de frijol carioca, el del frijol ucayalino fue mayor; la capacidad de absorción de agua es importante para ciertas características del producto, como la humedad y la retrogradación del almidón con el posterior endurecimiento del producto (Sathe, citado por Marquezi *et al*. 2017). En la literatura se reporta sobre la sustitución de carne con harina de frijol en salchichas, y encontraron que a mayor cantidad de harina de frijol adicionada a las salchichas, se incrementaba su capacidad para retener agua (Dzudie *et al*. citado por Marquezi *et al*. 2017)

En cuanto a la capacidad de absorción de aceite, la harina de frijol ucayalino presento valores similares a la capacidad de absorción de aceite (0.86 - 0.98) de las muestras de frijol carioca. La capacidad de absorción de aceite de la harina de frijol es importante en el desarrollo de nuevos productos fritos, así como para su estabilidad durante el almacenamiento (Sathe, citado por Marquezi *et al*. 2017). Estos valores pueden variar según el cultivo y la ubicación de siembra (Marquezi *et al*. 2017).

4.4. Propiedades fisicoquímicas del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado

En el Cuadro 7 se muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas del concentrado de frijol ucayalino germinado.

Cuadro 7. Parámetros fisicoquímicos del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado [1]
pH	-	Potenciométrico	6.76 ± 0.01
Humedad	%	Gravimétrico	7.52 ± 0.02
Proteína	%	Kjeldahl	**67.30 ± 0.80**
Aceites y grasas	%	Extracción por solvente - Gravimétrico	0.10 ± 0.005
Carbohidratos	%	Indirecto	18.44 ± 0.82
Ceniza	%	Gravimétrico	6.02 ± 0.01

[1] Los resultados corresponden a la media ± SD, para n = 3.

El concentrado proteico de frijol ucayalino germinado presentó un 176% de incremento en el contenido proteico respecto a la harina de frijol ucayalino germinado (Figura 5), una disminución del 67.97% de carbohidratos, una disminución de 93.67% de lípidos y un incremento en 45.76% en cenizas, esto fue logrado por el método de concentrado proteico aplicado en la investigación. Los concentrados proteicos y los aislados proteicos son comunes actualmente; la diferencia entre ellos es el porcentajes proteico producto de las diferencias en el proceso de producción; los concentrados de proteínas por lo general contienen entre un 65 y un 70 % de proteínas o llegar hasta un 80 %, mientras que los aislados de proteínas pueden contener más del 90 % de proteínas, esto debido al proceso de eliminación de cualquier componente no proteico (Lusas y Riaz, citado por Pham *et al*. 2022).

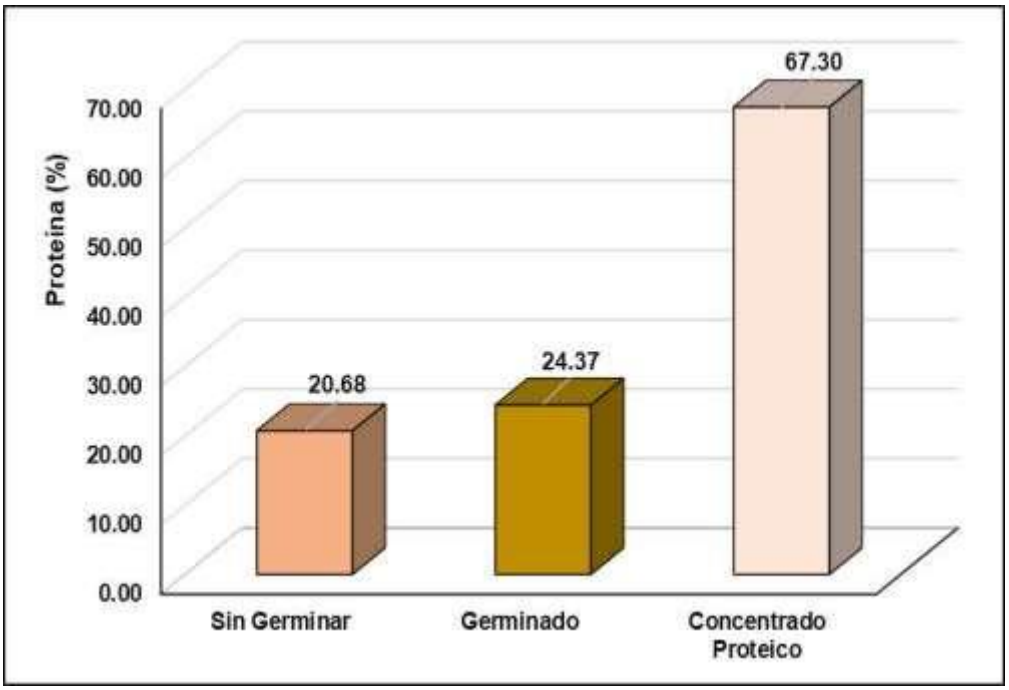


Figura 5. Variación del contenido proteico del frijol ucayalino, según proceso.

El contenido de proteínas del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado fue cercano a lo reportado para el concentrado proteico de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray): 68.21 ± 2.49 (López 2018); concentrado proteico de *Phaseolus lunatus*: 66.80 ± 0.29, y concentrado proteico de *Vigna unguiculata*: 65.29 ± 035, (Marrugo-Ligardo *et al*. 2016). Pero menor a lo reportado para el concentrado proteico de frijol Lima (*Phaseolus lunatus*): 71.77 ± 2.72 (Pham *et al*. 2022); concentrado proteico de quinua: 71.42 ± 0.54, y el concentrado proteico de *Vigna unguiculata*: 65.29 ± 0.35 (Marrugo-Ligardo *et al*. 2016).

El contenido de lípidos del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado fue ligeramente menor a lo reportado para el concentrado proteico de frijol Lima (*Phaseolus lunatus*): 0.22 ± 0.01(Pham *et al*. 2022); pero menor a lo reportado para el concentrado proteico de *Phaseolus lunatus*: 0.76 ± 0.08, y concentrado proteico de *Vigna unguiculata*: 0.78 ± 0.07 (Marrugo-Ligardo *et al*. 2016); concentrado proteico de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray): 5.12 ± 0.03 (López 2018) y el concentrado proteico de quinua; 7.83 ± 0.51 (Yaranga y Cangana 2023).

El contenido de cenizas del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado fue cercano a lo reportado para el concentrado proteico de frijol Lima (*Phaseolus lunatus*): 6.23 ± 0.01 (Pham *et al*. 2022), pero fue mayor a lo reportado para el concentrado proteico de *Phaseolus lunatus*: 4.40 ± 0.04, y el concentrado proteico de *Vigna unguiculata* presentó: 4.56 ± 0.07 (Marrugo-Ligardo *et al*. 2016); concentrado proteico de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray): 2.86 ± 0.10 (López 2018) y el concentrado proteico de quinua: 2.13 ± 0.32 (Yaranga y Cangana 2023). La diferencia en las características fisicoquímicas es debido a la variedad, especie, cultivo, composición nutricional, método de procesamiento y análisis (Miquilena *et al*. citado por García *et al*. 2019).

Las proteínas de las semillas de legumbres son menos digeribles que las proteínas animales; sin embargo, los cambios de las proteínas durante la germinación generalmente aumentan la proteólisis y la digestibilidad, al reducir los niveles de inhibidores de proteasas antinutrientes, activar las proteasas y descomponer las proteínas de almacenamiento (incluidos los alérgenos); sin embargo, el grado de mejora en la digestibilidad depende de la especie vegetal y el grado de germinación (Bera *et al*. 2023).

Por otro lado, el pan blanco contiene de 8 a 9% de proteína y carece de un aminoácido esencial llamado lisina (Anjum *et al*. citado por Viswanathan y Ho 2014). Las proteínas de cereales y leguminosas son nutricionalmente complementarias entre sí en términos de aminoácidos que contienen azufre, metionina y lisina (Obatolu citado por Viswanathan y Ho 2014)

4.5. Propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado

El concentrado proteico presentó un color ligeramente amarillo pálido, pero presenta un sabor y olor neutro, notándose la ausencia de olor a frijol. En el Cuadro 8 se muestra los resultados de las propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico del frijol ucayalino germinado.

Cuadro 8. Propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado
Capacidad de absorción de agua (CAA)	g agua/g muestra	Gravimétrico	2.507 ± 0.021
Capacidad de absorción de aceite (CAG)	g aceite/g muestra	Gravimétrico	3.133 ± 0.015
Capacidad emulsificante	%V/V	Volumétrico	56.153 ± 0.100
Capacidad de hinchamiento	mL/g muestra	Volumétrico - Gravimétrico	0.517 ± 0.015
Capacidad espumante	%V/V	Volumétrico	57.297 ± 0.184

El concentrado proteico de frijol ucayalino germinado presentó un valor mayor respecto a las propiedades de absorción de agua (se incrementó en un 78.56%) y capacidad de absorción de aceite (se incrementó en un 245.41%). Los principales factores que afectan la capacidad de absorción de agua son la desnaturalización y el desdoblamiento de las proteínas, y la presencia de carbohidratos y componentes no proteicos (Kinsella, citado por Mune Mune *et al*. 2014); por otro lado, la mayor absorción de agua del concentrado proteico se podría deber al mayor contenido de proteínas, especialmente proteínas solubles (Dogan *et al*. citado por Pham *et al*. 2022).

El concentrado de proteína de frijol ucayalino germinado mostró un valor más alto de capacidad de absorción de agua que el concentrado proteico de harina de *Phaseolus lunatus*: 2.26 ± 0.20 g/g muestra, y concentrado proteico de harina de *Vigna unguiculta*: 2.20 ± 0.31 g/g muestra (Marrugo *et al*. 2012); concentrado proteico de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) cruda: 1.40 ± 0.00 g/g muestra (López 2018); aislado proteico de frijol caupí fue: 2.10 - 2.33, y para el aislado proteico de lupino fue: 2.09 – 2.21 (Ikhlas y Sirelkhatim 2013); pero menor que la capacidad de absorción de agua del concentrado proteico de frijol Lima (*Phaseolus lunatus*): 3,01 g/g (Pham *et al*. 2022).

El concentrado de proteína de frijol ucayalino germinado mostró un valor más alto de capacidad de absorción de aceite que el concentrado proteico de harina de *Phaseolus lunatus*: 1.73 ± 0.11 g/g muestra, y concentrado proteico de harina de *Vigna unguiculta*: 1.66 ± 0.12 g/g muestra (Marrugo *et al*. 2012): concentrado proteico de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) cruda: 1.46 ± 0.20 g/g muestra (López 2018); concentrado de frijol Lima (*Phaseolus lunatus*): 2.86 mL/g (Pham *et al*. 2022); aislado proteico de frijol caupí fue: 1.90 - 2.37, y para el aislado proteico de lupino fue: 2.80 – 2.90 (Ikhlas y Sirelkhatim 2013).

La variación en la capacidad de absorción de aceite podría deberse a la diferente proporción de cadenas laterales no polares de los aminoácidos en la superficie de las moléculas de proteína. Varios autores han informado de la capacidad de absorción de aceite de las cadenas laterales no polares de la proteína, así como de las diferentes características conformacionales de la proteína (Ikhlas y Sirelkhatim 2013).

El concentrado proteico de frijol ucayalino germinado mostró mayor capacidad emulsionante que el concentrado proteico de harina de *Vigna unguiculta*: 0.43 ± 0.07 mL/100 mL, y concentrado proteico de harina de *Phaseolus lunatus*: 0.50 ± 0.07 mL/100 mL (Marrugo *et al*. 2012); pero menor que el concentrado proteico de harina de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) cruda: 94.66 ± 9.23% (López 2018).

Por otro lado, en la investigación la harina de frijol ucayalino germinado presentó mayor capacidad emulsionante que el concentrado proteico, esto podría deberse a que, la interfaz hidrofílica-lipófila (depende del pH), podría estar impidiendo (para el concentrado) o facilitando (para la harina germinada) la actividad emulsionante de las proteínas; además, también afecta las interacciones de otros componentes (presencia de carbohidratos) de las harinas que influyen en sus propiedades (Adeyoju *et al*. 2021).

El concentrado de proteína de frijol ucayalino germinado mostró 0.517 un valor más bajo en la capacidad de hinchamiento que el concentrado proteico de harina de *Phaseolus lunatus*: 1.93 ± 0.20 mL/g, y del concentrado proteico de harina de *Vigna unguiculta*: 1.86 ± 0.20 mL/g (Marrugo *et al*. 2012). Respecto a la capacidad espumante, el concentrado proteico de frijol ucayalino germinado presentó ligeramente un mayor valor comparado con el concentrado proteico de harina de frijol tépari blanco (*Phaseolus acutifolius* Gray) cruda: 0.50 ± 0.50 mL/100 mL (López 2018). La variación en las propiedades tecnofuncionales de los concentrados proteicos se explican por los factores que lo afectan, como: la especie y variedades, las condiciones ambientales, las condiciones de preparación y el valor de pH en el que se probaron las propiedades específicas (Barac et al. 2015).

Los valores relativamente altos de la capacidad de absorción de agua y capacidad de absorción de aceite del concentrado de frijol ucayalino germinado, comparado con otros concentrados proteicos de otros frijoles, esta comportamiento se debe a que el tipo, cantidad y estructura de las proteínas en el frijol afectan dichas propiedades físicas (Sathe y Salunkhe, citado por Marquezi *et al*. 2017); además, las proteínas tienen propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas singulares, que interactúan con el agua y el aceite en los alimentos (Pham *et al*. 2022).

Una baja capacidad de absorción de agua de la harina puede atribuirse a su bajo contenido proteico (Ikhlas y Sirelkhatim 2013); sin embargo, según los resultados obtenidos se tiene cierta ventaja del concentrado proteico de frijol ucayalino germinado para la aplicación en algunos alimentos. Por otro lado, la propiedad de absorción de aceite es de importancia, porque explica la formación de productos para freír y para la retención de los sabores (Granito *et al*. citado por Marrugo *et al*. 2012).

La capacidad para absorber agua y la capacidad de hinchamiento, son propiedades tecnofuncionales de los concentrados proteicos fundamentales en el desarrollo de alimentos viscosos (Granito *et al*. citado por Marrugo *et al*. 2012). También, por las propiedades de capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad de formación de espuma, el concentrado proteico de frijol ucayalino germinado podría aplicarse en la industria alimentaria, podría utilizarse en la producción de salchichas, fabricación de productos lácteos, productos de confitería, fuente de suplementos proteicos para vegetarianos y como insumo para para productos de panadería sin gluten.

4.6. Características sensoriales del pan elaborado mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado

4.6.1. Atributo color

En el Cuadro 9 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de tipo no paramétrico para el atributo color.

Cuadro 9. Resumen de prueba de hipótesis para el atributo color.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4 y T5 son las mismas.	Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman.	0.051	Aceptar la hipótesis nula.

El nivel de significación es de 0.05.

Observamos que se acepta la hipótesis estadística nula, porque el valor de probabilidad (Pv = 0.051) es mayor que 0.05. Luego, los panelistas no detectaron diferencia estadística significativa para el atributo color de los panes elaborados mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino.

En la Figura 6, se muestra el diagrama de caja y bigotes para observar la distribución de las puntuaciones de los panelistas en función a la mediana, para el atributo color.

Observamos que para el tratamiento **T1**, la evaluación del atributo color para el 50% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO” y el 25% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

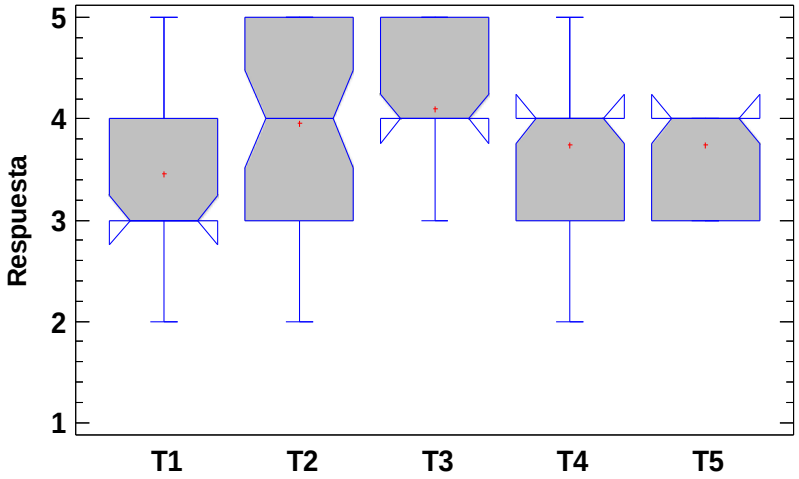


Figura 6. Diagrama de caja y bigotes para el atributo color.

Para el tratamiento **T2**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T3**, el 50% de los panelistas evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el otro 50% lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T4**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.
Para el tratamiento **T5**, la evaluación del 100% de los panelistas estuvo en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”.

4.6.2. Atributo sabor

En el Cuadro 10 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de tipo no paramétrico para el atributo sabor.

Cuadro 10. Resumen de prueba de hipótesis para el atributo sabor.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4 y T5 son las mismas.	Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman.	0.062	Aceptar la hipótesis nula.

El nivel de significación es de 0.05.

Se puede observar que se acepta la hipótesis estadística nula, porque el valor de probabilidad (Pv = 0.062) es mayor que 0.05. Luego, los panelistas no detectaron diferencia estadística significativa para el atributo sabor de los panes elaborados mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado.

En la Figura 7, se muestra el diagrama de caja y bigotes para observar la distribución de las puntuaciones de los panelistas en función a la mediana, para el atributo color.

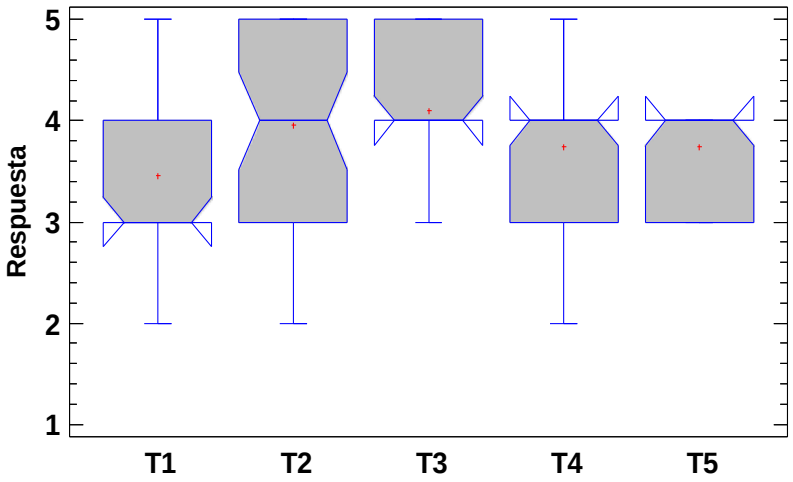


Figura 7. Diagrama de caja y bigotes para el atributo sabor.

Observamos que para el tratamiento **T1**, la evaluación del atributo sabor para el 50% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO” y el 25% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T2**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T3**, el 50% de los panelistas evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el otro 50% lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T4**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T5**, la evaluación del 100% de los panelistas estuvo en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”.

4.6.3. Atributo olor

En el Cuadro 11 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de tipo no paramétrico para el atributo olor.

Cuadro 11. Resumen de prueba de hipótesis para el atributo olor.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4 y T5 son las mismas.	Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman.	0.229	Aceptar la hipótesis nula.

El nivel de significación es de 0.05.

Observamos que se acepta la hipótesis estadística nula, porque el valor de probabilidad (Pv = 0.229) es mayor que 0.05. Luego, los panelistas no detectaron diferencia estadística significativa para el atributo olor de los panes elaborados mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado.

En la Figura 8, se muestra el diagrama de caja y bigotes para observar la distribución de las puntuaciones de los panelistas en función a la mediana, para el atributo olor.

Observamos que para el tratamiento **T1**, la evaluación del atributo olor para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO” y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

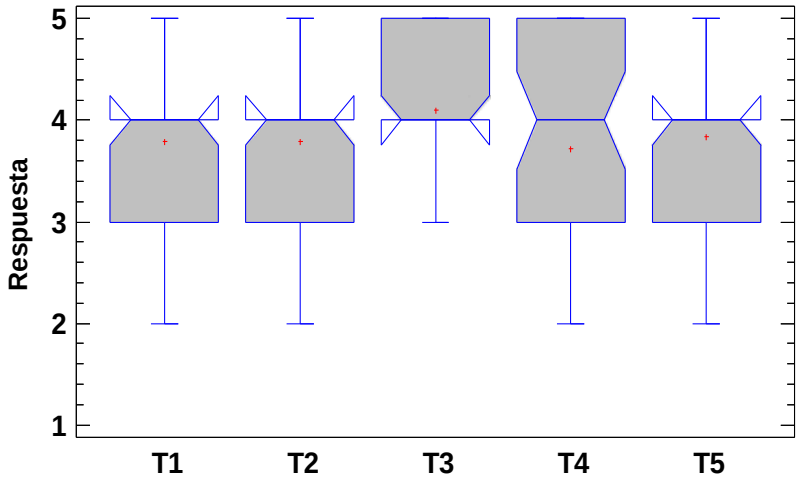


Figura 8. Diagrama de caja y bigotes para el atributo olor.

Para el tratamiento **T2**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T3**, el 50% de los panelistas evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el otro 50% lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T4**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T5**, la evaluación del atributo olor para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO” y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

4.6.4. Atributo textura

En el Cuadro 12 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de tipo no paramétrico para el atributo textura.

Cuadro 12. Resumen de prueba de hipótesis para el atributo textura.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4 y T5 son las mismas.	Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman.	0.000	Rechazar la hipótesis nula.

El nivel de significación es de 0.05.

Se puede observar que se rechaza la hipótesis estadística nula, porque el valor de probabilidad (Pv = 0.000) es menor que 0.05. Luego, los panelistas detectaron diferencia estadística altamente significativa para el atributo textura de los panes elaborados mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado.

En el Cuadro 13 se muestra el resultado de la prueba de comparación de Friedman para el atributo textura.

Cuadro 13. Prueba de Friedmann, subconjuntos homogéneos para el atributo textura.

Tratamiento	Tamaño de muestra	Rango promedio
T1	42	2.167 [a]
T5	42	3.048 [b]
T4	42	3.095 [b]
T2	42	3.155 [b]
T3	42	3.536 [b]
Estadístico = 21.80550		Pv = 0.0002

Observamos que se ha formado dos grupos homogéneos entre los cuales existe, diferencia altamente significativa (Pv = 0.002); el primer grupo formado por el tratamiento T1 y el segundo grupo formado por los tratamientos: T5. T4, T2 y T3, entre los cuales no existe diferencia significativa.

En la Figura 9, se muestra el diagrama de caja y bigotes para observar la distribución de las puntuaciones de los panelistas en función a la mediana, para el atributo textura.

Observamos que para el tratamiento **T1**, la evaluación del atributo textura para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA MUCHO” y “ME DISGUSTA POCO”, el 25% lo evaluó en el intervalo ME DISGUSTA POCO” y “NI

ME GUSTA NI ME DISGUSTA", el otro 25% lo evaluó en el intervalo "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA" y "ME GUSTA POCO", y el 25% restante lo evaluó en el intervalo "ME GUSTA POCO" y "ME GUSTA MUCHO".

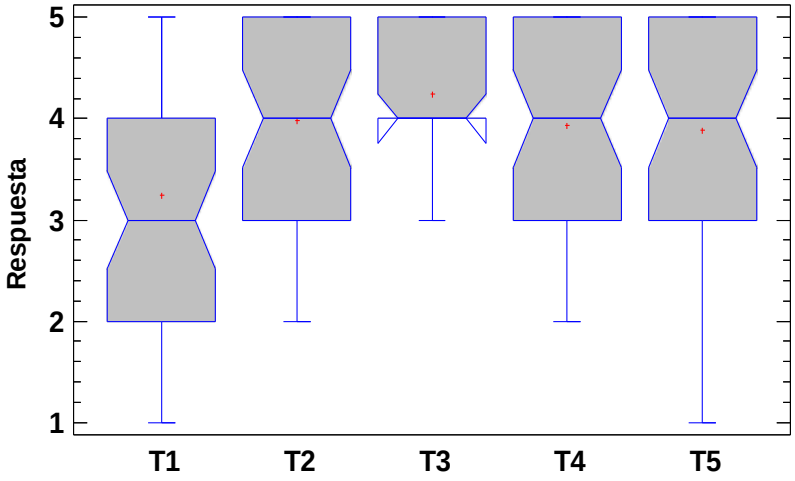


Figura 9. Diagrama de caja y bigotes para el atributo textura.

Para el tratamiento **T2**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo "ME DISGUSTA POCO" y "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA", el otro 25% lo evaluó en el intervalo "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA" y "ME GUSTA POCO", y el 50% restante lo evaluó en el intervalo "ME GUSTA POCO" y "ME GUSTA MUCHO".

Para el tratamiento **T3**, el 50% de los panelistas evaluó en el intervalo "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA" y "ME GUSTA POCO", y el otro 50% lo evaluó en el intervalo "ME GUSTA POCO" y "ME GUSTA MUCHO".

Para el tratamiento **T4**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo "ME DISGUSTA POCO" y "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA", el otro 25% lo evaluó en el intervalo "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA" y "ME GUSTA POCO", y el 50% restante lo evaluó en el intervalo "ME GUSTA POCO" y "ME GUSTA MUCHO".

Para el tratamiento **T5**, la evaluación del atributo textura para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo "ME DISGUSTA MUCHO" y "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA", el 25% lo evaluó en el intervalo "NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA" y "ME GUSTA POCO" y el 50% restante lo evaluó en el intervalo "ME GUSTA POCO" y "ME GUSTA MUCHO".

4.6.5. Atributo apariencia general

En el Cuadro 14 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de tipo no paramétrico para el atributo apariencia general.

Cuadro 14. Resumen de prueba de hipótesis para el atributo apariencia general.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4 y T5 son las mismas.	Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman.	0.023	Rechazar la hipótesis nula.

El nivel de significación es de 0.05.

Se observa que se rechaza la hipótesis estadística nula, porque el valor de probabilidad (Pv = 0.023) es menor que 0.05. Luego, los panelistas detectaron diferencia estadística altamente significativa para el atributo apariencia general de los panes elaborados mediante sustitución parcial con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino.

En el Cuadro 15 se muestra el resultado de la prueba de Friedman para el atributo apariencia general.

Cuadro 15. Prueba de Friedmann, subconjuntos homogéneos para el atributo apariencia general.

Tratamiento	Tamaño de muestra	Rango promedio
T5	42	2.536 [a]
T4	42	2.821 [a, b]
T2	42	2.976 [a, b]
T1	42	3.190 [a, b]
T3	42	**3.476** [b]
Estadístico = 11.3218		Pv = 0.0232

Observamos que se ha formado dos grupos homogéneos entre los cuales existe, diferencia significativa (Pv = 0.0232); el primer grupo formado por los tratamientos: T5, T4. T2 y T1 y el segundo grupo formado por los tratamientos: T4. T2, T1 y T3,

entre los cuales no existe diferencia significativa para el atributo apariencia general. Sin embargo, es preciso mencionar que el T3 pertenece exclusivamente al segundo grupo.

En la Figura 8, se muestra el diagrama de caja y bigotes para observar la distribución de las puntuaciones de los panelistas en función a la mediana, para el atributo olor.

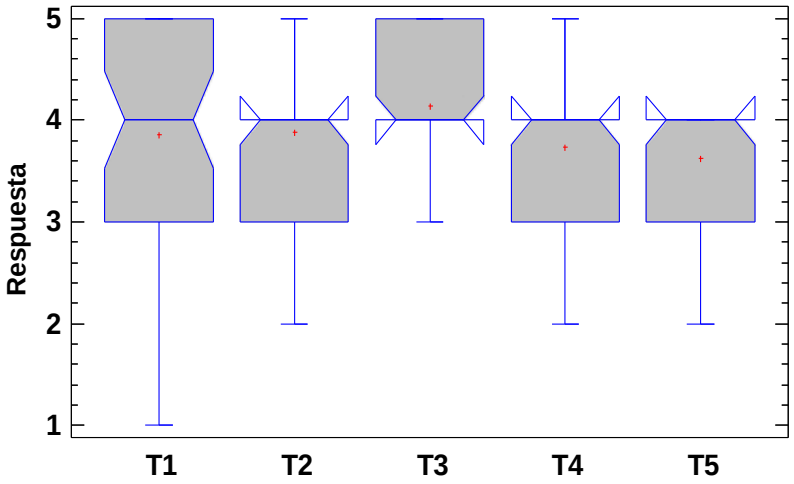


Figura 10. Diagrama de caja y bigotes para el atributo apariencia general.

En el caso de la evaluación sensorial del atributo apariencia general, observamos que para el tratamiento **T1**, la evaluación del atributo apariencia general para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA MUCHO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T2**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T3**, el 50% de los panelistas evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el otro 50% lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T4**, la evaluación del 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el otro 25% lo evaluó

en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Para el tratamiento **T5**, la evaluación del atributo apariencia general para el 25% de los panelistas estuvo en el intervalo “ME DISGUSTA POCO” y “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA”, el 25% lo evaluó en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO” y el 50% restante lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”.

Por lo tanto, como el tratamiento **T3** presentó las mayores puntuaciones en todos los atributos sensoriales, y mediante el análisis de los diagramas de caja y bigotes, donde el 50% de los panelistas lo evaluaron en el intervalo “NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA” y “ME GUSTA POCO”, y el otro 50% lo evaluó en el intervalo “ME GUSTA POCO” y “ME GUSTA MUCHO”, entonces se determinó que el mejor tratamiento es **T3**.

4.7. Características fisicoquímicas del pan con mejores características sensoriales

En el Cuadro 16 se muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas del concentrado de frijol ucayalino.

Cuadro 16. Parámetros fisicoquímicos del pan con mejores características sensoriales.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado
pH	-	Potenciométrico	6.40 ± 0.01
Ac. Titulable (Ác. Láctico)	%	Titrimétrico	0.14 ± 0.00
Humedad	%	Gravimétrico	13.33 ± 0.02
Proteína	%	Kjeldahl	**14.64 ± 0.16**
Aceites y grasas	%	Extracción por solvente - Gravimétrico	11.36 ± 0.05
Fibra bruta	%	Digestión ácido-básica	0.61 ± 0.01
Carbohidratos	%	Indirecto	55.36 ± 0.16
Ceniza	%	Gravimétrico	4.70 ± 0.01

Observamos que el contenido de humedad (%) para el pan elaborado con el 10% de sustitución de harina de trigo por concentrado proteico de harina de frijol ucayalino es: 13.33 ± 0.02. Dicho valor es superior a lo reportado par el pan de molde elaborado con concentrado proteico de anchoveta, harina de cáscara de mango y aceite girasol, la humedad (%) estuvo entre: 6.120 - 7.778 (Arquero 2024); sin embargo, en la literatura se reportan panes con mayor contenido de humedad, como en los panes de

moldes elaborados mediante la adición de un ingrediente funcional, la humedad (%) estuvo entre 34.02 y 34.79 (Guzmán 2015); pan tipo baguette con sustitución parcial con harina de chícharo, presentó una humedad (%) entre 37.18 y 40.46 (Calvo-Carrillo *et al*. 2020); panes de chía, humedad (%): 34.49 ± 0.09. (Pérez-Hernández *et al*. 2018); pan de ajonjolí, humedad (%): 33.22 ± 0.24 (Pérez-Hernández *et al*. 2018) y pan con harina de trigo, humedad (%): 32.05 ± 0.18; (Pérez-Hernández *et al*. 2018).

El contenido (%) proteico de los panes elaborados con el 10% de sustitución de harina de trigo por concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado fue: 14.64 ± 0.16. Dicho valor es superior a lo reportado para oros panes, como el pan de molde elaborado con concentrado proteico de anchoveta, harina de cáscara de mango y aceite girasol, cuyo contenido proteico (%) fue entre 7.22 y 12.16 (Arquero 2024); pan de molde elaborado con sustitución parcial de harina de trigo por harina de *Cajanus cajan* germinado, que tuvo un contenido proteico (%) entre 11.62 y 12.98 (Antay 2021); panes de molde elaborados mediante la adición de un ingrediente funcional; el contenido de proteínas (%) fue entre 4.85 y 5.76 (Guzmán 2015); pan tipo baguette con sustitución parcial con harina de chícharo, su contenido de proteína (%) fue entre: 9.91 y 11.49 (Calvo-Carrillo *et al*. 2020); panes compuestos, pan de chía, cuyo contenido proteico (%) fue: 9.27 ± 0.02; también en pan de ajonjolí, el contenido de proteínas (%) fue entre: 9.86 ± 0.41, y pan con harina de trigo,: donde el contenido de proteínas (%) fue: 8.90 ± 0.02; (Pérez-Hernández *et al*. 2018).

La diferencia en el contenido proteico se debe principalmente a las características de la materia prima, en la mayoría de los panes se trabajó con harina cruda germinada; mientras que en la investigación se utilizó concentrado proteico de frijol ucayalino, cuyo contenido proteico (%) era: 67.30 ± 0.80.

El contenido de grasa (%) de los panes elaborados con el 10% de sustitución de harina de trigo por concentrado proteico de harina de frijol ucayalino germinado fue; 11.36 ± 0.05. Dicho valor es superior a lo reportado para oros panes, como el pan de molde elaborado con concentrado proteico de anchoveta, harina de cáscara de mango y aceite girasol, cuyo contenido de grasa (%) fue entre 0.712 y 1.063 (Arquero 2024); pan de molde elaborado con sustitución parcial de harina de trigo por harina de *Cajanus cajan* germinado, que tuvo un contenido de grasa (%) entre 3.21 y 3.31 (Antay 2021).

También, en panes de molde elaborados mediante la adición de un ingrediente funcional; el contenido de grasa (%) fue entre 2.03 y 2.18 (Guzmán 2015); pan tipo baguette con sustitución parcial con harina de chícharo, su contenido de grasa (%) fue entre: 0.90 y

0.98 (Calvo-Carrillo *et al*. 2020); panes compuestos, pan de chía, cuyo contenido de grasa (%) estuvo entre: 4.74 ± 0.13; también en pan de ajonjolí, el contenido de grasa (%) fue 7.03 ± 0.79, y pan con harina de trigo, donde el contenido de grasa (%) fue: 6.84 ± 0.21 (Pérez-Hernández *et al*. 2018). La diferencia en el contenido de grasa de los panes es debido al tipo de pan elaborado y a la formulación de cada tipo de pan.

V. CONCLUSIONES

- Se Evaluó las características fisicoquímicas y atributos sensoriales del pan elaborado mediante sustitución con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino (*Phaseulus vulgaris*), destacando el contenido proteico 14.64%, ceniza 4.70%, carbohidratos 55.36%, aceites y grasas 11.36%, lo que lo constituye en un alimento con buena característica nutricional, más aún considerando que se está mezclando harinas que provienen de un cereal y una leguminosa. De La evaluación sensorial realizada a los panes elaborados mediante sustitución parcial con el concentrado proteico de frijol ucayalino y los resultados del análisis estadístico realizado, permitió establecer al tratamiento T3 (sustitución del 10%) como los panes con mejores características sensoriales, lo que lo convierte en una alternativa favorable desde el punto de vista nutricional y sensorial.

- Además, obtuvimos resultados favorables en cuanto a las propiedades fisicoquímicas de la harina de frijol ucayalino donde destaca el contenido proteico: 20.68% y el contenido de minerales: 3.62%; luego, constituye una legumbre de alto valor nutricional cuyo cultivo debe incentivarse. La harina de frijol ucayalino germinado mejoró sus cualidades nutricionales, destacando, el contenido de proteína: 24.37%, cenizas: 4.13% y el contenido de fibra: 3.84%. respecto al concentrado proteico el contenido de proteínas fue 67.36% y el de cenizas 6.02%.

- Como resultados complementarios se obtuvo resultados de las propiedades tecnofuncionales las cuales mejoraron en el concentrado proteico (CP) de frijol ucayalino, siendo lo más pronunciado para la CAA (g/g), que se incrementó desde 1.404 a 2.507; lo mismo ocurrió para la CAG (g/g) que se incrementó de 0.907 a 3.133, también ocurrió lo mismo para la capacidad espumante, que pasó de 49.667 a 57.297. Mientras que la capacidad emulsificante y la capacidad de hinchamiento disminuyeron para el CP de la harina de frijol ucayalino.

- De acuerdo a los resultados fisicoquímicos y sensoriales favorables encontrados en esta investigación se rechaza la hipótesis general **H_1** los panes elaborados elaborado mediante sustitución con concentrado proteico de harina de frijol ucayalino (*Phaseulus vulgaris*) no presentan buenas características fisicoquímicas y atributos sensoriales

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar investigaciones respecto al tiempo de germinación del frijol que permita obtener un porcentaje mayor de proteínas, debido a que la germinación mejora las cualidades nutricionales, respecto al contenido proteico, cenizas y fibra:

Realizar investigaciones considerando la sustitución del concentrado proteico de frijol ucayalino en otros productos horneados y en productos cárnicos, debido a que la capacidad de absorción de agua y aceite contribuyen a la mejor cualidad de dichos productos.

Investigar el comportamiento de otras variedades de frijol, durante la germinación y luego de obtenido el concentrado proteico, para establecer su aplicación agroindustrial.

Complementar la investigación mediante el análisis de digestibilidad proteica, debido a que es importante conocer el grado de aprovechamiento de las proteínas, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Abioye VF; Ogunlakin, GO; Taiwo, G. 2018. Effect of Germination on Anti-oxidant Activity, Total Phenols, Flavonoids and Anti-nutritional Content of Finger Millet Flour. *Journal of Food Processing & Technology*, 09(02). doi:10.4172/2157-7110.1000719

Acosta, MB. 2021. Qué son las leguminosas. En: Ecología verde (online). Consultado junio 10 de 2021. Disponible en https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-leguminosas-2705.html

Adeyoju, OA; Adebowale, KO; Olu-Owolabi, BI; Chibudike, HO; Chibudike, CE. 2021. Physico-Functional Characterization of Flour and Protein Isolates from Nigeria Cultivated Solojo Cowpea [Vigna unguiculata (L.) WALP]. Asian Food Science Journal, 131–148. https://doi.org/10.9734/afsj/2021/v20i930348

Aguilar, GS; Briceño, AL; Negrón, BL; Arnao, SI. 2000. Estudio bioquímico y nutricional del extracto liofilizado del fondo de alcachofa. *Ciencia e Investigación*, 3(2): 34 – 41.

Aguilera, GY. 2009. Harinas y leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecnofuncionales. Tesis doctoral. Madrid, España. UAM. http://digital.csic.es/bitstream/10261/101592/1/Harinas%20de%20leguminosas%20deshidratadas.pdf

Akkad, R; Buchko, A; Johnston, SP; Han, J; House, JD; Curtis, JM. 2021. Sprouting improves the flavour quality of faba bean flours. *Food Chemistry*, 364(2021): 130355.

Antay Gregorio, RW. 2021. Sustitución parcial de la harina de trigo con harina de frijol palo (*Cajanus cajan* L.) germinado, en la elaboración de pan de molde. Tesis Ing. Agroind. Yarinacocha, Perú. UNIA.

Arquero, AL. 2024. Caracterización fisicoquímica y aceptabilidad sensorial en pan de molde con concentrado proteico de anchoveta, harina de cáscara de mango y aceite de girasol. Tesis Ing. Agroind. Nuevo Chimbote, Perú. UNS. Consultado nov. 20 de 2024. Disponible en https://hdl.handle.net/20.500.14278/4729

Awol, SM; Kuyu, CG; Bereka, TY; Abamecha, N. 2024. Physicochemical stability, microbial growth and sensory quality of refined wheat flour as affected by packaging materials during storage. *Journal of Stored Products Research*, 105, 102217. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102217

Ayón, WJA. 2017. Implementación de punto caliente para expendio de panadería en formato *Cash* and *Carry*. Tesis Ing. Ind. Alim. Lima, Perú, UNALM. Consultado ene. de 2025.

Disponible en http://repositorio.lamolina.edu.pe/ bitstream/handle/UNALM/2906/E21-A96-T.pdf

Bains, K; Uppal, V; Kaur, H. 2011. Optimization of germination time and heat treatments for enhanced availability of minerals from leguminous sprouts. *Journal of Food Science and Technology*, 51(5), 1016- 1020.

Barac, M; Pesic, M; Stanojevic, S; Kostic, A; Cabrilo, S. 2015. Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates: A review. *Acta Periodica Technologica*, (46), 1–18. doi:10.2298/apt1546001b

Bera, I; O'Sullivan, M; Flynn, D; Shields, DC. 2023. Relationship between Protein Digestibility and the Proteolysis of Legume Proteins during Seed Germination. *Molecules*. 28(7):3204. doi: 10.3390/molecules28073204.

Borgonovi, SM; Lametti, S; Marti, A; Di Nunzio, M. 2022. Sprouted bean flour as a new potential nutritious and functional ingredient in bakery product. IRIS (Institutional Research Information System) - AIR (Archivio Istituzionale della Ricerca). Università degli Studi di Milano. Consultado dic. 15 de 2024, Disponible en https://hdl.handle.net/2434/928990

Borijindakul, L; Phimolsiripol, Y. 2013. Physicochemical and functional properties of starch and germinated flours from *Dolichos lablab*. *Food and Applied Bioscience Journal*, 1(2): 69 - 80.

Buitrón, CF. 2021. Evaluación de la vida útil del pan elaborado con harina de trigo (*Triticum aestivum*) y papa nativa (*Solanum tuberosum*) envasado en bolsas de polietileno y papel Kraft. Tesis Ing. Agroind. Andahuaylas, Perú. UNAJMA. Consultado feb. 20 de 2024. Disponible en https://hdl.handle.net/20.500.14168/644

Calvo-Carrillo, MC; López-Méndez, O; Carranco-Jáuregui, J. 2020. Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Biotecnia*, XXII(3): 116 – 124.

Callejo, GMJ. 2016. Atributos sensoriales del pan, la importancia de la cata. En: El panadero errante (online). Consultado oct. 10 de 2024. Disponible en https://elpanaderoerrante. wordpress.com/2016/01/29/atributos-sensoriales-del-pan-la-importancia-de-la-cata/

Castel, MV. 2010. Estudios de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto. Tesis Mag. Ciencia y Tec. de Alim. Santa Fe, Argentina. UNL Consultado ene. 21 de 2024. Disponible en https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar: 8443/bitstream/handle/11185/212/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chauhan, ES; Sarita, S. 2018. Effects of Processing (Germination and Popping) on the Nutritional and Anti-Nutritional Properties of Finger Millet (*Eleusine Coracana*). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(2): 566 - 572. doi:10.12944/crnfsj.6.2.30

Collado, PL; Pinedo, RR. 2007. Variedades locales de frijol y pallar en la Amazonía Central del Perú. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali - CODESU. 23 p.

Cornejo, F; Rosell, CM. 2015. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10): 6591–6598.

Cruz, BR; Guzmán, MH; Herrera, MD; Cid, RJ; Juárez, GM. 2015. Galletas con harina de frijol de alta calidad nutricional y nutracéutica. Folleto Técnico, Núm. 66. Centro de Investigaciones Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Consultado dic. 15 de 2024. Disponible en https://docplayer.es/52911754-Galletas-con-harina-de-frijol-de-alta-calidad-nutricional-y-nutraceutica.html

Cuyún, GGM. 2015. Optimización en el proceso de boleado para pan francés y pan dulce. Tesis Lic. Diseñadora Industrial. Guatemala, Guatemala. URL. Consultado oct. 30 de 2024. Disponible en http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/03/06/Cuyun-Gabriela.pdf

Dussán-Sarria, S; Hurtado-Hurtado, DL; Camacho-Tamayo, JH. 2019. Granulometría, propiedades funcionales y propiedades de color de las harinas de quinua y chontaduro. Información Tecnológica, 30(5): 3 - 10.

Espinoza, HB; Herrera, RC. 2019. Digestibilidad In vitro de proteína de semilla de chía (Salvia Hispánica) sometida a germinación, molienda, tostado y cocción. Tesis Ing. Agroind. Huancayo, Perú. UNCP. Consultado oct. 12 de 2024. Disponible en http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5536/Espinoza%20Huaman.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Año Internacional de las Legumbres - 2016. Semillas nutritivas. Consultado dic. 22 de 2024. Disponible en http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/337279/

Fernandes, AC; Nishida, W; Da Costa Proença, RP. 2010. Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2209 – 2218.

Freire, FVM. 2019. Elaboración de panes con sustitución parcial de harina de trigo con fuentes alternativas de proteínas. Tesis Máster Gestión de la Seguridad y Calidad Alimentaria. Valencia, España. UPV. Consultado set. 18 de 2024. Disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/117674/Freire%20%20ELABORACI%c3%93DE%20PANES%20SUSTITUCI%c3%93N%20PARCIAL%20DE%20HARINA%20DE%20TRIGO%20CON%20.pdf?

García, PY; Cabrera, MD; Ballestas, SJA; Campo, AMJ. 2019. Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina de fríjol blanco (*Phaseolus lunatus* L.) y la determinación de su potencial uso agroalimentario. *INGE CUC*, 15(2): 132 - 142. doi: http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.13

Ganesan, K; Xu, B. 2017. Polyphenol-Rich Dry Common Beans (Phaseolus vulgaris L.) and Their Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11): 2331.

Garrido-Balam, M; Chel-Guerrero, L; Rodríguez-Canto, W; Moguel-Ordoñez, Y; Uribe-Calderón, JA; Betancur-Ancona, D. 2024. Techno-functional properties of quality protein maize (QPM) (*Zea mays* L.) protein concentrates. *International Food Research Journal*, 31(2): 423 - 432.

Ghavidel, RA; Prakash, J. 2007. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 40(7), 1292–1299.

Guzmán, CM. 2015. Formulación y caracterización de pan de molde con adición de un ingrediente funcional proveniente de subproductos de la agroindustria. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. UCHILE. Consultado set. 10 de 2024. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/ handle/2250/148083

Hallén, E; İbanoğlu, Ş; Ainsworth, P. 2004. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 63(2): 177–184. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00298-X

Hoyos, SD; Palacios, PA. 2015. Utilización de harinas compuestas de maíz y garbanzo adicionadas con fibra de cáscara de piña para sustitución de harina de trigo en productos de panificación. Tesis Ing. Alim. Cali, Colombia. UNIVALLE. Consultado set. 12 de 2024. Disponible en https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8889/0529111.pdf

Ibáñez, PR. 2014. Constatación del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la elaboración de pan de labranza en las panaderías de la ciudad de Huancabamba durante el periodo enero- agosto 2014, mediante la Norma Técnica

Sanitaria NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.1 Aprobada por RM N° 1020- 2010/MINSA. Tesis Ing. Agroind e Ind. Alim. Piura, Perú. UN Piura. Consultado ago. 15 de 2024. Disponible en http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/664/IND-IBA-PE%C3% 91-14.pdf?

Ikhlas, IK; Sirelkhatim, BE. 2013. Functional Properties of Cowpea (*Vigna ungiculata* L. Walp), and Lupin (*Lupinus termis*) Flour and Protein Isolates. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(06): 1000234. DOI: 10.4172/2155-9600.1000234

Jaimes, MJ; Restrepo, D; Acevedo, D. 2012. Propiedades funcionales de aislados proteicos de leguminosas. *ReCiTeIA*, 11(2): 21 - 32.

Jaimes, MJ; Restrepo, DA; Acevedo, CD. 2014. Preparación y determinación de las propiedades funcionales del concentrado proteico de trupillo (*Prosopis juliflora*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1): 144-152.

Klupšaitė, D; Juodeikienė, G. 2015. Legume: composition, protein extraction and functional properties. A review. *Chemical Technology*, 66(1). doi:10.5755/j01.ct.66.1.12355

Liu, Y; Xu, M; Wu, H; Jing, L; Gong, B; Gou, M; Zhao, K; Li, W. 2018. The compositional, physicochemical and functional properties of germinated mung bean flour and its addition on quality of wheat flour noodle. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12): 5142–5152. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3460-z

Marquezi, M; Gervin, VM; Watanabe, LB; Noresco, R; 2017. Chemical and functional properties of different common Brazilian vean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Braz. J. Food Technol*., 20(e2016006): 1 – 9. https://doi.org/10.1590/1981-6723.0616

Martínez-Andújar C; Nonogaki H. 2020. Germinación de semillas. En: AccessScience. Educación McGraw-Hill. Consultado set. 25 de 2024. Disponible en https://www.accessscience.com/content/seed-germination/900110

Marrugo, LYA; Montero, CPM; Duran, LM. 2012. Propiedades funcionales de concentrados proteicos de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. *Vitae*, 19(Supl. 1), S402 – S405.

Marrugo-Ligardo, Y; Montero-Castillo, PM; Duran-Lengua, M. 2016. Evaluación Nutricional de Concentrados Proteicos de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. *Información Tecnológica*, 27(6), 107-114.

Matos-Chamorro, A; Muñoz-Alegre, KI. 2010. Elaboración de pan con sustitución parcial de harina pre cocida de ñuña (*Phaseoleus vulgaris* L.) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 31 – 35.

Medhe, S; Jain, S; Anal, AK. 2019. Effects of sprouting and cooking processes on physicochemical and functional properties of moth bean (*Vigna aconitifolia*) seed and flour. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4): 2115–2125. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03692-y

MIDAGRI. Ministerio de Agricultura - Ucayali. 2020. Oficina Regional de Estadística Agraria

Millar, KA; Gallagher, E; Burke, R; McCarthy, S; Barry-Ryan, C. 2019. Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, 103233. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233

Modercay, L; Bermudez, AS. 1994. Preparación y determinación de propiedades funcionales de concentrados proteicos de haba (*Vicia faba*). *Revista Colombiana de Química*, 23(1): 73 – 86.

Mune Mune, MA; Minka, SR; Mbome, IL. 2014. Optimising functional properties during preparation of cowpea protein concentrate. *Food Chemistry*, 154 (2014): 32 - 37. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.108

Nor Azmah, U; Makeri, MU; Bagirei, SY; Shehu, AB. 2023. Compositional characterization of starch, proteins and lipids of long bean, dwarf long bean, mung bean and French bean seed flours. *Measurement: Food*, 12, 100111.

NTP 205.040. 2016. Norma Técnica Peruana 205.040. 3ª Edición. Harinas sucedáneas de la harina de trigo. Generalidades. INACAL 2016. 19 p.

Ordóñez, BGV; Oviedo, ARJ. 2010. Alternativas de aprovechamiento de harinas no tradicionales para la elaboración de pan artesanal. Tesis Ing. Alim. Guayaquil, Ecuador, ESPOL. Consultado Oct. 20 de 2024. Disponible en https://infolibros.org/libros-de-panaderia-gratis-pdf/

Otzen, T; Manterola, C. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol*., 35(1): 227 – 232.

Ouazib, M; Dura, A; Zaidi, F; Rosell, C. 2016. Effect of partial substitution of wheat flour by processed (germinated, toasted, cooked) chickpea on bread quality. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, 4(1): 8 – 18.

Parra, PY; Valencia, UH. 2017. Efecto de la aplicación de agua ozonizada a diferentes concentraciones en el mejoramiento de masas de panificación y producto terminado. Tesis Ing. Qco. Arequipa, Perú. UNSA. Consultado set. 25 de 2024. Disponible en http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4617/

Pérez-Hernández, WT; De la Cruz-Magaña, Y; Miranda-Cruz, E; Ochoa-Flores, AA; Corzo-Sosa, CA; López-Hernández, E; Hernández-Rodríguez, CO; Rodríguez-Blanco, L. 2020. Evaluación proximal y mineral em pan de caja de harinas compuestas a base de trigo, leguminosas y oleaginosas. *Investigación y Desarrollo em Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(2018): 41 – 47.

Pham, H; Nguyen, VT; Trinh, KS. 2022. Physico-Chemical and Functional Properties of Protein Concentrate from Lima Beans (*Phaseolus lunatus*). *Journal of Technical Education Science*, 70B (2022/; 48 - 56. https://doi.org/10.54644/jte.70B.2022.1180

Pinciroli, M. 2010. Proteínas de arroz. Propiedades estructurales y funcionales. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 81 p.

Piñero, CMP; Parra, QKC; Barboza, MY; Pérez, ML; Ortega, AJ. 2013. Efecto combinado de la imbibición y la germinación sobre la calidad del quinchoncho (*Cajanus cajan* L. Millsp. *CIENCIA*, 21(4), 192 – 200.

Polanco, MA. 2017. Extracción, modificación y caracterización de proteínas de amaranto Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ciencias Alimentarias. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Veracruzana. Consultado set. 20 de 2024. Disponible en https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/Tesis-Ana-Isabel-Polanco-Murrieta.pdf

Porras, SJ. 2010. Caracterización del proceso de obtención de aislados de proteína de lupinus silvestre del estado de Hidalgo. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Bioprocesos. Instituto Politécnico Nacional. Consultado set. 25 de 2024. Disponible en http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/9178

Poveda, T; Vilcacundo, R; Carpio, C; Carrillo, W. 2016. Analysis of sesame proteins isolate (*Sesamum indicum* L.) with water and salt treatment. *Asian J Pharm Clin Res*, 9(3): 404-407.

Quesada, D; Gómez, G. 2019. ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. *Rev. Nutr. Clin. Metab*.; 2(1): 79 - 86.

Rada Achic, GE. 2021. Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) con harina de frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*) germinado para la elaboración de pan. Tesis Ing. Agroind. Yarinacocha, Perú. UNIA. Consultado ene. 10 de 2025. Disponible en https://repositorio.unia.edu.pe/items/58844962-e853-4e8d-aff6-4cef31f5f460

Reyes, GM; Gómez-Sánchez, PI; Espinoza, BC. 2017. Tablas peruanas de composición de alimentos. 10ma ed. Ministerio de Salud. SEGEAR SAC. 142 p.

Ríos Prado, GJ. 2019. Obtención de concentrados proteicos de la torta residual de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), mediante tres métodos de extracción para su empleo en alimentos de consumo humano. Tesis Ing. Agroind. Pucallpa, Perú. UNU. Consultado set. 27 de 2024. Disponible en http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4265/UNU_AGROINDUSTRIAS_2020_T_GREYSI_RIOS.pdf?sequence1=&isAllowed=y

Rivadeneyra, AMA; Zuloaga, MKG. 2019. Elaboración del pan con sustitución parcial de harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y fortificado con hierro hemínico. Tesis Maestro en Ciencia y Tec. de los Alim. Callao, Perú UNAC. Consultado set. 10 de 2024. Disponible en http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3582/Rivadeneyra%20y%20Zuloaga_TESIS_POSGRADO_2019.pdf

Romero, HDM; Tuiran, PLF. 2017. Caracterización fisicoquímica, funcional, reológica y composicional de la harina precocida de cubio (*Tropaeolum tuberosum* R&P) cultivado en diferentes fuentes de fertilización. Consultado set. 29 de 2024. Disponible en https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/74

Rusydi, MR; Noraliza, CW; Azrina, A; Zulkhairi, A. 2011. Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. *International Food Research Journal*, 18(2011): 688 – 696.

Salazar, QDC. 2015. Estudio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinua cruda y tostada en la elaboración de pan. Tesis Ing. Alim. Quito, Ecuador. UTE. Consultado set. 30 de 2024. Disponible en http://repositorio.ute.edu.ec/bistream/123456789/14405/1/61827_1.pdf

Sattar, MA; Rohi, M; Tehsen, S; Lalarukh, I. 2024. Comparative Study of Physicochemical and Nutritional Characteristics of Raw and Sprouted Legume Beans Flour. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, 31(08): 3253 - 3273. https://doi.org/10.53555/ne5xjs46

Sánchez Marticorena, E. 2018. Mustia hilachosa del frijol *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk en la provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. Tesis Magister Scientiae en Fitopatología. Lima, Perú. UNALM. Consultado set. 20 de 2024. Disponible en https://repositorio.lamolina.edu.pe/UNALM/3641/sanchez-marticorena-eliel.pdf

Sangronis, E; Machado, C; Cava, R. 2004. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajan cajan*) germinadas. *Interciencia*, *29*(2): 80 - 85.

Sangronis, E; Machado, CJ. 2007. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. LWT - *Food Science and Technology*, 40(1): 116–120.

Sherasia, PL; Garg, MR: Bhanderi, BM. 2017. Pulses and their by-products as animal feed. Pulses and their by-products as animal feed, edited by T. Calles & H. P. S. Makkar. Rome, FAO.

Surco, AJC; Alvarado, KJA. 2011. Estudio estadístico de pruebas sensoriales de harinas compuestas para panificación. *Revista Boliviana de Química*, *28*(2): 79 - 82.

Tapia, MS; Alzamora, SM; Chirife, J. 2020. Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. *Water Activity in Foods*, 323–355.

Tay, NK; Tay, UJ. 2018. Tendencias del mercado a la alimentación saludable y nuevos formatos de comercialización abren alternativas para consumir legumbres [en línea]. *Tierra Adentro,* 110(2018): 10 - 13. Consultado set. 18 de 2024. Disponible en https:// biblioteca.inia.cl/discover?query=CONCENTRADOS+PROTEICOS+DE+LEGUMBRES

Tirgar, M; Silcock, P; Carne, A; Birch, EJ. 2017. Effect of extraction method on functional properties of flaxseed protein concentrates. *Food Chemistry*, (215): 417–424. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.002

Torres, A; Cova, A; Valera, D. 2018. Efecto del proceso de germinación de granos de *Cajanus cajan* en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Rev Chil Nutr*; 45(4): 323 - 330.

Tulcán Escobar, MG. 2020. Comparación de metodologías para determinación de humedad total en trigo importado variedad Canada Western Red SprIng (CWRS). Tesis Ing. Agroind. y de Alim. UDLA, Ecuador. Consultado dic 20 de 2024. Disponible en https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12190/1/UDLA-EC-TIAG-2020-20.pdf

. Vaz Patto, MC. 2016. Grain legume protein quality: a hot subject. *Arbor*, 192(779), a314. doi:10.3989/arbor.2016.779n3004

Vidaurre, RJM. 2020. Desarrollo de panes libre de gluten con harinas de granos andinos. Tesis para optar el grado de doctor en Ciencia de Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado oct. de 2024. Disponible en https://repositorio.lamolina.edu.pe /bitstream/handle/UNALM/4374/vidaurre.ruizjuliomauricio.pdf?sequence=1&Allowed=y

Viswanathan, K; Ho, P. 2014. Fortification of white flat bread with sprouted red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*). *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*. 13(1): 27-34.

Vioque, J; Sánchez-Vioque, R; Pedroche, J; Yust, MM; Millán, F. 2001. Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos. *Grasas y Aceites*, 52(2): 127-131.

Yang, Q; Luo, Y; Wang, H; Li, J; Gao, X; Gao, J; Feng, B. 2021. Effects of germination on the physicochemical, nutritional and in vitro digestion characteristics of flours from waxy and nonwaxy proso millet, common buckwheat and pea. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67(2021): 102586.

Yaranga Avendaño, MG; Cangana Vilcatoma, GM. 2023. Determinación de las características del concentrado proteico de quinua, solubilidad y aminograma e isotermas de estabilidad de agua. Tesis Ing. Ind. Alim. Huamanga, Perú. UNSCH. Consultado ene. 20 de 2025. Disponible en http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5985

VIII. ANEXO

ANEXO 1. Ficha de análisis sensorial del pan

Nombre y Apellidos: ……..

Hora: ……. Fecha: ……/……/……..

A continuación, tiene usted cinco (05) muestras de pan. Pruebe usted cada muestra y evalúe cada atributo, colocando una “X” en el recuadro que corresponda según su apreciación.

Escala	Color					Sabor					Olor					Textura					Apariencia General				
	738	791	773	766	780	738	791	773	766	780	738	791	773	766	780	738	791	773	766	780	738	791	773	766	780
Me gusta mucho																									
Me gusta poco																									
Ni me gusta ni me disgusta																									
Me disgusta poco																									
Me disgusta mucho																									
Observaciones:																									
Muchas gracias.																									

Donde:

La Muestra 738 corresponde al Tratamiento T_1: 0% de sustitución.

La Muestra 791 corresponde al Tratamiento T_2: 5% de sustitución.

La Muestra 773 corresponde al Tratamiento T_3: 10% de sustitución.

La Muestra 766 corresponde al Tratamiento T_4: 15% de sustitución.

La Muestra 780 corresponde al Tratamiento T_5: 20% de sustitución.

ANEXO 2. Procedimiento para la determinación de propiedades tecnofuncionales

- ***Determinación de la Capacidad de Retención de Agua***

Se pesará 0.5 g de muestra en un tubo de centrífuga, luego agregar un exceso de agua (3 mL). Agitar por un minuto. Transcurrido ese tiempo se centrifugará a 3200 rpm durante 30 minutos y a 24°C. Luego se mide el volumen del sobrenadante después de centrifugar. La diferencia entre el volumen inicial de agua y el que se recupera, corresponderá a la capacidad de retención de agua expresada en mL/ g (Bryant y Hamaker, citado por Jaimes *et al*. 2012).

- ***Determinación de la Capacidad de Retención de Aceite***

Se pesará 1 g de muestra, luego se añadirá 10 mL de aceite de girasol y se mantiene en agitación durante 30 minutos. Transcurrido ese tiempo se centrifuga a 4750 rpm durante 30 minutos. Se mide el volumen del sobrenadante después de centrifugar. Por diferencia entre el volumen inicial de aceite y el que se recupera después de la centrifugación, se determina la capacidad de retención de aceite expresada en mL/ g (Chau y Huang, citado por Aguilera 2009).

- ***Determinación de la Capacidad de Hinchamiento***

Se pesará 100 mg de muestra en una probeta graduada de 10 mL. Se llena la probeta con agua destilada hasta 10 mL, dispersar la muestra agitando suavemente y dejar reposar durante 16 horas para lograr su hidratación. Luego de ese tiempo se medirá el volumen final que ocupa la muestra (Robertson *et al.* citado por Jaimes *et al*. 2014). La capacidad de hinchamiento se expresa como:

$$Capacidad\ de\ hinchamiento = Volumen\ final/masa\ muestra$$

- ***Determinación de la Capacidad Emulsionante***

Se pesará 1 g de muestra y se le añadirá 20 mL de agua destilada y se agita. Luego añadir 7 mL de aceite de maíz y nuevamente se vuelve a agitar. La muestra se centrifugará durante una hora a 3000 rpm. La determinación de ro (Yasumatsu *et al*. citado por Jaimes *et al*. 2012)

- ***Determinación de la Capacidad Espumante***

  Se pesará 1 g de muestra y se adicionará 50 mL de agua. A continuación, se realiza una agitación en un homogeneizador durante 5 minutos. La espuma resultante se transfiere a una probeta graduada de 50 mL, donde se mide el volumen de espuma inicial y final después de 30 segundos (Bencini, citado por Aguilera 2009).

ANEXO 3. Resultados de la evaluación sensorial de los panes: Atributo COLOR

Panelista	T1	T2	T3	T4	T5
1	4	3	3	4	4
2	4	4	4	3	4
3	3	4	5	4	4
4	5	3	4	3	4
5	3	2	4	4	3
6	3	5	4	4	4
7	3	5	5	5	4
8	4	4	3	3	3
9	3	3	3	4	4
10	4	3	4	2	3
11	5	4	4	4	4
12	4	4	3	3	4
13	3	3	5	3	3
14	4	4	4	3	4
15	3	4	3	4	4
16	4	4	5	3	3
17	4	3	3	3	4
18	3	3	4	4	4
19	4	5	3	3	3
20	2	4	4	5	4
21	3	3	3	3	3
22	4	3	5	3	4
23	2	5	5	5	4
24	4	3	4	3	4
25	3	4	4	2	3
26	3	3	5	4	4
27	4	4	4	3	3
28	3	5	5	4	4
29	4	3	4	4	4
30	4	5	4	3	4
31	5	4	4	4	4
32	3	4	4	2	4
33	5	5	5	5	3
34	4	5	5	4	4
35	5	5	4	4	4
36	3	4	4	4	4
37	3	4	5	4	4
38	2	4	4	5	4
39	2	5	4	5	4
40	2	5	4	5	3
41	2	4	5	5	4
42	3	5	4	5	4

ANEXO 4. Resultados de la evaluación sensorial de los panes: Atributo SABOR

Panelista	T1	T2	T3	T4	T5
1	3	4	4	4	4
2	4	5	5	3	5
3	3	2	4	3	3
4	5	4	3	4	5
5	2	4	5	4	3
6	4	4	4	5	4
7	3	4	5	5	4
8	4	4	4	3	2
9	5	4	4	4	5
10	4	2	4	4	4
11	5	4	4	4	4
12	4	2	4	3	5
13	5	4	5	3	4
14	4	2	3	4	4
15	2	4	3	4	4
16	5	4	5	4	3
17	4	4	3	4	3
18	5	3	4	3	2
19	2	4	4	3	5
20	2	5	4	5	4
21	4	3	3	5	4
22	4	4	4	5	3
23	4	2	5	5	4
24	4	4	5	5	4
25	5	5	4	3	5
26	5	4	5	4	4
27	4	3	4	2	3
28	4	3	4	4	4
29	4	4	4	4	5
30	4	3	4	3	4
31	3	4	3	4	2
32	4	5	5	4	4
33	5	4	5	4	4
34	4	4	5	3	3
35	5	3	5	5	4
36	5	4	4	3	3
37	4	2	5	2	3
38	2	4	5	5	4
39	3	4	4	5	5
40	2	4	5	5	4
41	2	5	4	5	4
42	3	4	5	5	5

ANEXO 5. Resultados de la evaluación sensorial de los panes: Atributo OLOR

Panelista	T1	T2	T3	T4	T5
1	3	3	4	3	4
2	4	4	4	3	4
3	3	4	5	4	3
4	4	3	4	5	4
5	4	3	3	3	3
6	5	4	5	4	4
7	3	4	5	5	4
8	4	3	3	3	3
9	5	4	5	5	5
10	3	4	4	3	2
11	5	4	4	4	4
12	3	3	4	2	2
13	3	3	5	3	3
14	4	4	5	4	5
15	5	4	3	2	5
16	5	3	5	3	4
17	4	3	5	3	4
18	2	3	5	4	4
19	3	5	3	3	4
20	5	4	4	5	4
21	5	2	3	3	3
22	3	3	4	4	3
23	5	4	4	4	4
24	4	5	4	4	3
25	4	3	4	3	5
26	4	4	5	5	3
27	3	3	4	3	3
28	4	3	3	4	5
29	4	4	4	5	4
30	4	4	5	2	5
31	3	2	4	3	3
32	5	5	4	3	4
33	5	4	4	2	4
34	3	5	5	3	3
35	4	5	4	5	5
36	4	3	3	3	3
37	4	5	5	4	3
38	2	4	4	5	4
39	4	5	3	5	5
40	2	5	4	5	5
41	2	4	4	5	4
42	4	5	3	5	5

ANEXO 6. Resultados de la evaluación sensorial de los panes: Atributo APARIENCIA

Panelista	T1	T2	T3	T4	T5
1	4	3	3	4	4
2	4	4	4	3	4
3	3	4	5	4	4
4	5	3	4	3	4
5	3	2	4	4	3
6	3	5	4	4	4
7	3	5	5	5	4
8	4	4	3	3	3
9	3	3	3	4	4
10	4	3	4	2	3
11	5	4	4	4	4
12	4	4	3	3	4
13	3	3	5	3	3
14	4	4	4	3	4
15	3	4	3	4	4
16	4	4	5	3	3
17	4	3	3	3	4
18	3	3	4	4	4
19	4	5	3	3	3
20	2	4	4	5	4
21	3	3	3	3	3
22	4	3	5	3	4
23	2	5	5	5	4
24	4	3	4	3	4
25	3	4	4	2	3
26	3	3	5	4	4
27	4	4	4	3	3
28	3	5	5	4	4
29	4	3	4	4	4
30	4	5	4	3	4
31	5	4	4	4	4
32	3	4	4	2	4
33	5	5	5	5	3
34	4	5	5	4	4
35	5	5	4	4	4
36	3	4	4	4	4
37	3	4	5	4	4
38	2	4	4	5	4
39	2	5	4	5	4
40	2	5	4	5	3
41	2	4	5	5	4
42	3	5	4	5	4

ANEXO 7. Resultados de la evaluación sensorial de los panes: Atributo TEXTURA

Panelista	T1	T2	T3	T4	T5
1	3	3	4	4	4
2	4	4	5	3	4
3	2	3	4	3	3
4	5	4	5	3	4
5	1	2	4	4	2
6	4	5	4	5	5
7	3	5	5	5	4
8	5	2	4	4	4
9	5	3	5	4	5
10	3	4	4	3	4
11	5	4	4	4	4
12	4	5	5	3	5
13	3	3	3	3	3
14	3	4	4	4	4
15	5	4	3	4	4
16	2	5	4	4	4
17	3	4	4	3	4
18	1	3	4	5	3
19	3	4	4	4	5
20	2	4	4	5	4
21	4	5	5	5	5
22	3	4	4	4	1
23	1	5	4	5	4
24	3	5	4	5	5
25	2	4	5	2	5
26	2	5	4	4	3
27	4	3	4	3	2
28	2	3	4	3	5
29	3	3	4	4	4
30	2	5	4	2	5
31	3	2	4	4	2
32	5	5	5	3	2
33	5	3	4	3	2
34	4	5	5	3	4
35	4	5	5	5	5
36	5	5	5	4	4
37	4	5	5	4	3
38	2	4	4	5	4
39	4	5	3	5	5
40	2	4	5	5	5
41	2	4	4	5	4
42	4	3	4	5	5

ANEXO 8. Análisis estadístico complementario

Cuadro 17. Resumen de algunos parámetros estadísticos para el atributo color.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T1	42	3.45238	0.889022	2.0	5.0
T2	42	3.95238	0.824987	2.0	5.0
T3	42	4.09524	0.691747	3.0	5.0
T4	42	3.7381	0.885094	2.0	5.0
T5	42	3.7381	0.445001	3.0	4.0
Total	210	3.79524	0.789268	2.0	5.0

Cuadro 18. Resumen de algunos parámetros estadísticos para el atributo sabor.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T1	42	3.78571	1.02495	2.0	5.0
T2	42	3.69048	0.869205	2.0	5.0
T3	42	4.2381	0.691747	3.0	5.0
T4	42	3.95238	0.882137	2.0	5.0
T5	42	3.85714	0.84309	2.0	5.0
Total	210	3.90476	0.880668	2.0	5.0

Cuadro 19. Resumen de algunos parámetros estadísticos para el atributo olor.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T1	42	3.78571	0.924879	2.0	5.0
T2	42	3.78571	0.842057	2.0	5.0
T3	42	4.09524	0.72615	3.0	5.0
T4	42	3.71429	0.99476	2.0	5.0
T5	42	3.83333	0.85302	2.0	5.0
Total	210	3.84286	0.874449	2.0	5.0

Cuadro 20. Resumen de algunos parámetros estadísticos para el atributo textura.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T1	42	3.78571	0.924879	2.0	5.0
T2	42	3.78571	0.842057	2.0	5.0
T3	42	4.09524	0.72615	3.0	5.0
T4	42	3.71429	0.99476	2.0	5.0
T5	42	3.83333	0.85302	2.0	5.0
Total	210	3.84286	0.874449	2.0	5.0

Cuadro 21. Resumen de algunos parámetros estadísticos para el atributo apariencia general.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T1	42	3.85714	1.15972	1.0	5.0
T2	42	3.88095	0.802508	2.0	5.0
T3	42	4.14286	0.6833	3.0	5.0
T4	42	3.7381	0.938591	2.0	5.0
T5	42	3.61905	0.582358	2.0	4.0
Total	210	3.84762	0.867057	1.0	5.0

ANEXO 9. Registros fotográficos



Remojado de los granos de frijol



Retiro y oreado de los granos de frijol



Frijoles germinados



Molienda de los frijoles germinados y secos.



Pesado de muestras.



Muestras en la estufa.



Colocado de la muestra en la mufla.



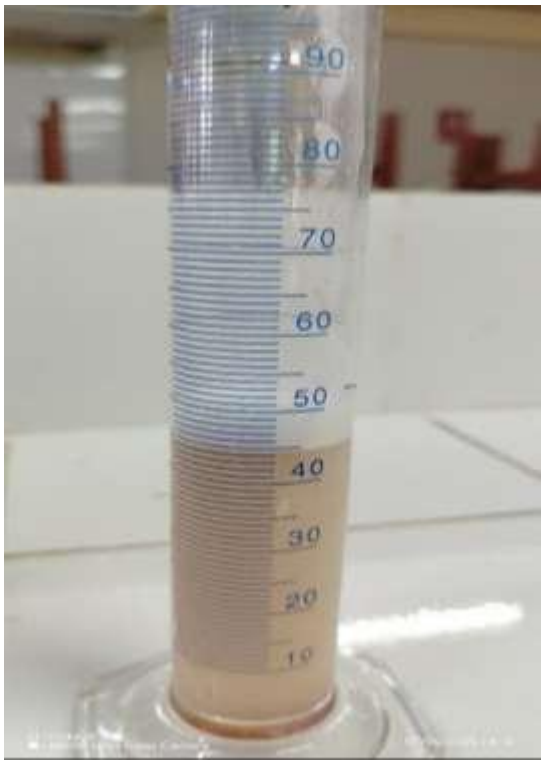
Retiro de las muestras de la mufla.



Pesado de muestra para evaluación tecnofuncional.



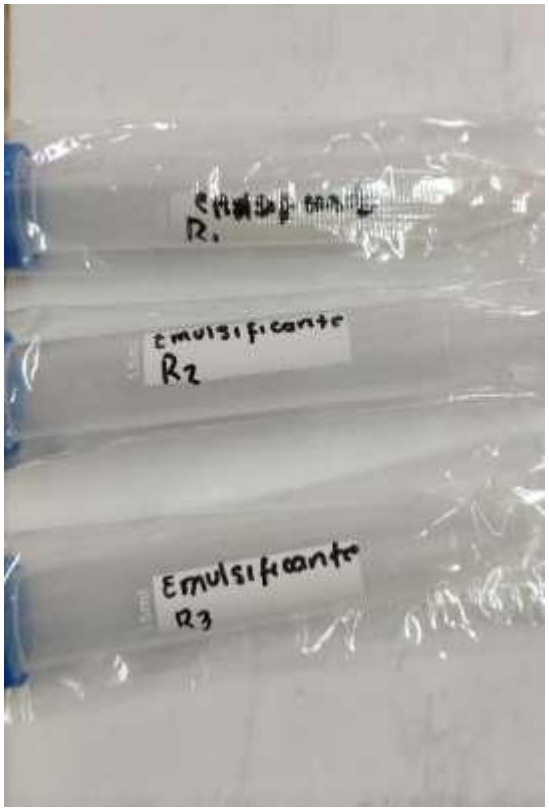
Trasvasado de la muestra a la probeta.



Prueba de absorción de agua / aceite.



Etiquetado de tos tubos falcom.



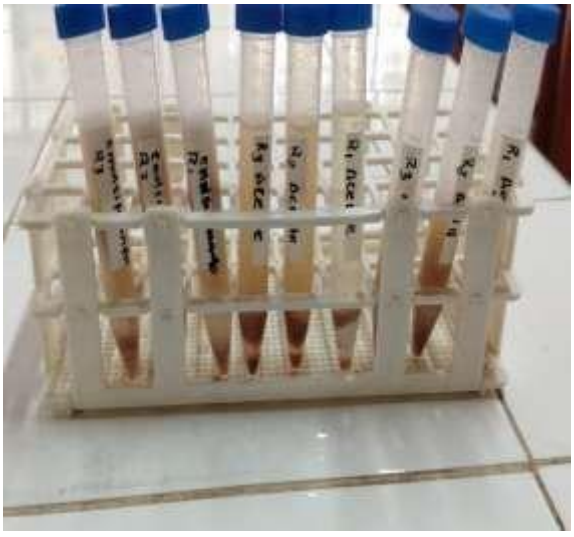
Etiquetado de tos tubos falcom.



Agitado de las muestras en el Vortex.



Centrifugado de tas muestras.



Gradilla con las muestras en evaluación.



Frijoles germinados,



Molienda de los frijoles germinados y secos.



Mezcla de ingredientes en la amasadora



Masa lista para su amasado manual.




Cortado de la masa y boleado para la formación de los panes.




Colocación de los panes en las bandejas y llevadas al fermentador.



Horneado de los panes



Rotulado y preparación de las muestras





Panelista evaluando sensorialmente los panes





Panelistas en las cabinas de evaluación sensorial