

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**INFLUENCIA DE LA GERMINACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICO-
PROXIMAL, BIOACTIVIDAD, MINERALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS DE
LENTEJA (*Lens culinaris* M.), ARVEJA (*Pisum sativum* L.) Y FRIJOL DE PALO
(*Cajanus cajan* L.).**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

DILFER ARENAS VELA

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fiia@unas.edu.pe

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

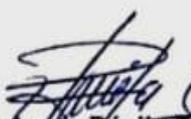
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 012-2022

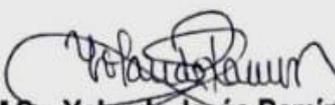
Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 13 de octubre del 2022, a horas 10:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **DILFER ARENAS VELA**, titulada:

"INFLUENCIA DE LA GERMINACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICO-PROXIMAL, BIOACTIVIDAD, MINERALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS DE LENTEJA (*Lens culinaris* M.), ARVEJA (*Pisum sativum* L.) Y FRIJOL DE PALO (*Cajanus cajan* L.)"

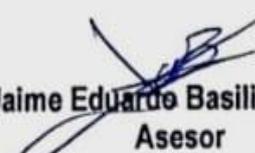
Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **...A.P.R.O.B.A.D.O.** con el calificativo de **..M.U.Y..BUENO..**; en consecuencia, el sustentante, queda apto para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

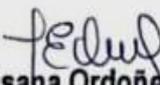
Tingo María, 13 de octubre del 2022


Dr. Roberto Dávila Trujillo
Presidente


M.Sc. Yotanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro


M.Sc. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro


Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Asesor


Dra. Elizabeth Susana Ordoñez Gomez
Asesora


Ing. Darlym Reátegui Díaz
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



INFLUENCIA DE LA GERMINACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICO-PROXIMAL, BIOACTIVIDAD, MINERALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS DE LENTEJA (*Lens culinaris* M.), ARVEJA (*Pisum sativum* L.) Y FRIJOL DE PALO (*Cajanus cajan* L.).

Autor : DILFER ARENAS VELA

Asesores : Dr. JAIME E. BASILIO ATENCIO
Dra. ELIZABETH S. ORDOÑEZ GÓMEZ
Ing. DARLYM REÁTEGUI DÍAZ

Programa de investigación: Ingeniería de Alimentos

Línea de investigación : Ingeniería de Alimentos

Eje temático : Propiedades termo físicas y reológicas

Lugar de ejecución : Laboratorio Central de Investigación y laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Alimentos y Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Duración : Agosto 2021- agosto 2022

Financiamiento : Propio

Tingo María - Perú.

2022

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza para lograr mis objetivos y ser mi guía cada día.

A mi hna. **Elicia Arenas Vela** por ser el cimiento de mi formación académica y mi hno. **Jesús Arenas Vela** por ser el pilar de este proyecto profesional y de mi vida.

A mi pareja **Mariela Catunta Huallipa** y mi hija **Melanny S. Arenas Catunta** por se mi mayor motivación y compañeras de vida.

AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva y a mi facultad Ingeniería en Industrias Alimentarias.
- A mi hna. Elicia Arenas Vela por cumplir el rol de madre cuando lo necesitaba y apoyarme en mi educación.
- A mi hno. Jesus Arenas Vela, por ser un amigo incondicional, su apoyo moral y económico.
- A Mariela Catunta Huallipa por su amor y apoyo moral.
- A mi asesor Dr. Jaime Basilio Atencio.
- A mi asesora de Dra. Elizabeth Ordoñez Gómez por su amistad, paciencia y enseñanzas durante el desarrollo de la tesis.
- Al Ing. Darlym Reátegui Díaz, por apoyarme en el desarrollo de la tesis.
- Al Ing. Miguel por su paciencia y apoyo.
- Al Ing. José Trujillo Ccanahuire por su apoyo.
- A los técnicos de laboratorio Ing. Yacha, Ing. Aurelia y Sra. Glelia por su apoyo durante el análisis en laboratorio.
- Al Ing. Cristopher Del Aguila Meléndez por ser amigo y apoyarme en el desarrollo de la tesis.
- A mis amigos Laban, Julio Lemos, Lizbeth, Wendy por su amistad y enseñanzas.

ÍNDICE

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de las legumbres.....	3
2.1.1. Definición	3
2.1.2. Características nutricionales de las legumbres	3
2.2. Lenteja (<i>Lens culinaris</i> M.).....	4
2.2.1. Generalidades y origen	4
2.2.2. Cultivo en el Perú.	4
2.2.3. Clasificación taxonómica.	5
2.2.4. Propiedades nutricionales.....	5
2.3. Arveja (<i>Pisum sativum</i> L.).....	6
2.3.1. Generalidades y origen	6
2.3.2. Producción de arveja en el Perú.	7
2.3.3. Clasificación taxonómica.	7
2.3.4. Propiedades nutricionales.....	7
2.4. Frijol de palo (<i>Cajanus cajan</i> L.).....	8
2.4.1. Generalidades y origen	8
2.4.2. Cultivo en el Perú	8
2.4.3. Clasificación taxonómica	8
2.4.4. Propiedades nutricionales.....	8
2.5. Aspectos generales de los germinados.....	9
2.5.1. Definición	9
2.5.2. Proceso de germinación.....	9
2.5.3. Importancia del consumo de germinados como alimentos funcionales	9
2.6. Composición químico-proximal	10
2.7. Generalidades sobre compuestos bioactivos.....	14
2.7.1. Fenoles totales	14
2.7.2. Capacidad antioxidante.....	15
2.8. Minerales.....	17
2.9. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Lugar de ejecución.....	21

3.2.	Muestras.....	21
3.3.	Materiales.....	21
3.3.1.	Equipos.....	21
3.3.2.	Materiales.....	21
3.3.3.	Reactivos.....	22
3.4.	Métodos de análisis.....	22
3.5.	Metodología Experimental.....	23
3.5.1.	Preparación de la muestra- germinación.....	23
3.5.2.	Determinación de la composición químico-proximal.....	24
3.5.3.	Influencia de la germinación en fenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH* y ABTS ^{o+}).....	27
3.5.4.	Determinación de macro y microelementos.....	29
3.5.5.	Evaluación de las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	30
3.6.	Análisis estadístico.....	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	Composición químico-proximal.....	32
4.2.	Influencia de la germinación sobre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante para inhibir los radicales libres (DPPH* Y ABTS ^{o+}).....	36
4.3.	Macro y microelementos.....	41
4.4.	Evaluación de las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	45
V.	CONCLUSIONES.....	49
VI.	RECOMENDACIONES.....	50
VII.	REFERENCIAS.....	51

INDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Producción en miles de toneladas métricas de grano seco de lenteja, arveja y frijol de palo en el Perú (2011-2017)	5
2. Composición nutricional de lenteja, arveja y frijol de palo (g/100g de materia seca)	6
3. Composición proximal de diferentes legumbres germinadas y no germinadas (% materia seca)	12
4. Fenoles totales en legumbres no germinadas y germinadas	15
5. Capacidad antioxidante en legumbres no germinadas y germinadas	16
6. Fuentes de origen, funciones y consumo recomendado de los macro y micro elementos ...	17
7. Entalpía de gelatinización de diversas semillas no germinadas y germinadas	20
8. Cálculo de los multiestándar para macro y microelementos	29
9. Parámetros de calibración del ICP-EOS	30
10. Composición proximal de no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo (% materia seca)	33
11. Fenoles totales, DPPH y ABTS en semillas no germinadas y germinadas de lenteja, arveja y frijol de palo.....	37
12. Resultados de macro y microelemntos en leguminosas no germinadas y germinadas (mg/100g de materia seca).....	44
13. Resultados de parámetros de gelatinización mediante Calorimetría Diferencial de Barrido	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de pereparacion de la muestra.....	23
2. Termogramas DSC de no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de pa.....	47

RESUMEN

La tendencia actual por alimentos que además de proporcionar nutrientes que fortalezcan el sistema inmune, propicia la revaloración de alimentos saludables como los germinados; desde esta perspectiva se planteó estudiar la influencia de la germinación sobre la composición químico-proximal, bioactividad, minerales y propiedades térmicas de lenteja, arveja y frijol de palo. Se realizó la germinación de cada semilla y para los análisis se preparó harina tanto de los no germinados como de los germinados; el análisis químico proximal se realizó mediante los métodos de AOAC; fenoles totales y capacidad antioxidante en Espectrofotometría UV/Visible; los minerales fueron cuantificados mediante Espectrofotometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-EOS) y las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). El mayor efecto de la germinación el contenido de proteínas y grasa fue en lenteja mientras que, en fibra y ceniza fue en arveja; se incrementó el contenido fenólico en el siguiente orden, arveja (291,4%) > frijol de palo (165,0%) > lenteja (67,5%); respecto a la capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH, la germinación tuvo mayor efecto en el frijol de palo con 28,5% y la capacidad antioxidante para inhibir el radical ABTS, el mayor efecto fue para el frijol de palo con 52,4%; la arveja germinada tuvo mayor contenido de macroelementos (K, Na y Mg), sin embargo, la lenteja germinada fue mayor en microelementos (Fe, Mn) finalmente, la germinación incrementó los parámetros de temperatura de gelatinización, pero disminuyó las entalpías con un efecto mayor en lenteja ($0,37 \pm 0,04$ J/g).

Palabras claves:

ABSTRACT

Key words:

I. INTRODUCCIÓN

El interés de la población por dietas que aparte del aporte nutricional, favorezcan la salud y la longevidad va en aumento, además, el actual contexto socioeconómico y sanitario a nivel global, por la pandemia del Covid-19, constituye un desafío la elaboración y consumo de alimentos que propicien una nutrición óptima, contribuya a fortalecer el sistema inmune, a disminuir la vulnerabilidad a las enfermedades y a mejorar el desarrollo físico y mental de las personas. La “vida acelerada” de la población en las ciudades, hace que se prefiera alimentos semi procesados o de rápida cocción dejando de lado el consumo de legumbres secas como lentejas, arvejas y frijoles, que son una fuente ideal de minerales, vitaminas, proteínas, fibra y componentes bioactivos (Kan et al., 2018); la lenteja es la leguminosa más consumida en el Perú pero su cultivo se limita a pocas extensiones de la Sierra Norte (Ancash, Cajamarca y La Libertad) (MINAGRI, 2016) y para satisfacer la demanda se recurre a la importación. En la región amazónica la arveja es parte de la dieta del poblador ya que la mayoría son migrantes de la sierra y conservan este hábito alimentario; por otro lado, el frijol de palo, es un alimento que está al alcance de la población rural porque es cultivado en sus parcelas y tienen acceso a consumirla en estado verde y seco, pero su comercialización no es muy rentable debido al color y la poca aceptación culinaria. Por otra parte, según INEI (2018) se estima que en el Perú existen 1 350 000 niñas y niños menores de tres años de los cuales, el 43,6% presentan algún problema de desnutrición o anemia, producto de la pobreza, la falta de vías de acceso apropiadas que impiden una distribución adecuada de “alimentos frescos” y el desconocimiento de buenos hábitos alimenticios.

La germinación de legumbres ayuda a mejorar su calidad nutricional, modifica los macronutrientes mejorando la digestibilidad, genera compuestos con mejor bioactividad, mitiga los sabores, reduce la flatulencia (Guajardo-Flores et al., 2017), incrementa el contenido de proteínas en las no germinadas se encuentra entre 22,6 a 24,4% y en las germinadas entre 25,4% a 37,2% (Atudorei et al., 2021; Xu et al., 2019; Akaerue, 2010 y Gujral et al., 2011), en cuanto al contenido de fibra bruta sin germinar se reportan valores de 4 a 7,4% y en germinados entre 4,6 a 9,2% (Akaerue, 2010; Gujral et al., 2011; Setia, 2019) y finalmente la grasa, ceniza y carbohidratos también sufren modificaciones. Los compuestos fenólicos se incrementan debido a la acción de la enzima fenilalanina amoniaco liasa, la cual se activa durante la germinación (Salas- López 2018) además, se incrementa la capacidad antioxidante como respuesta defensiva de las plantas ante el aumento del estrés oxidativo (Gunenc et al., 2017). Los componentes antinutricionales como los fitatos y los taninos pueden quelar fuertemente los minerales como el Ca, Mg, Mn, Cu, Fe y Zn haciendolos de difícil asimilación, pero la

germinación tiene la capacidad de inhibirlos (Shang et al.,2016). Las propiedades térmicas como la entalpía de gelatinización también son modificadas por la germinación, en semillas no germinadas 0,68 a 7,93 J/g y en germinadas están entre 0,33 a 4,96 J/g (Ma et al., 2017; Gutiérrez, 2019), la reducción de la entalpía mejora la digestibilidad y facilita los procesos industriales de las harinada de las legumbres.

Los germinados pueden contribuir, directa o indirectamente, a preservar y valorizar la biodiversidad, mejorar la sostenibilidad del medio ambiente, y aumentar la seguridad alimentaria y nutricional; así mismo, pueden utilizarse como herramienta educativa y generadora de conciencia ambiental. Podrían llegar a tener un rol estratégico, porque tienen un perfil de cultivo potencialmente adaptable a las condiciones urbanas y rurales (Swieca et al., 2020). En ese sentido, se realizó la presente investigación enmarcándose en los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Estudiar la influencia de la germinación sobre la composición químico-proximal, bioactividad, minerales y propiedad térmica de lenteja, arveja y frijol de palo

Objetivos específicos

- Determinar la composición químico-proximal de semillas de lenteja, arveja y frijol de palo no germinadas y germinadas.
- Evaluar la bioactividad mediante el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH* y ABTS^{o+}) de lenteja, arveja y frijol de palo no germinados y germinados.
- Determinar la influencia de la germinación en el contenido de macroelementos (Ca, Na, K, Mg) y microelementos (Fe, Mn, Cu) de lenteja, arveja y frijol de palo.
- Evaluar la influencia de la germinación en las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en lenteja, arveja y frijol de palo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de las legumbres

2.1.1. Definición

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera como legumbres a los cultivos de semillas comestibles secas y con bajo contenido en grasa, entre las más conocidas y consumidas en todo el mundo se destacan: los frijoles blancos (*Phaseolus vulgaris* L.), las habas (*Vicia faba* L.), los garbanzos (*Cicer arietinum* L.), los guisantes o arvejas (*Pisum sativum* L.), el frijol mungo (*Vigna radiata* L.), el frijol de carete (*Vigna unguiculata* L.), y diversas variedades de lentejas (*Lens culinaris* Medik.). También hay muchas especies de legumbres menos conocidas como los altramuces (por ejemplo, *Lupinus albus* L., *Lupinus mutabilis* Sweet) y el frijol de palo (*Cajanus cajan* L.) (FAO, 2018).

Junto a los cereales, las legumbres fueron los primeros alimentos que las poblaciones sedentarias aprendieron a cultivar. La inclusión de las legumbres en la dieta habitual del ser humano nace junto a la agricultura en el Neolítico, hace unos 11 000 años. En los últimos 50 años, el consumo mundial de legumbres en la dieta base se ha visto reducido drásticamente hasta en un 80%; los cambios alimenticios orientados hacia un mayor consumo de alimentos preparados y carnes rojas han hecho saltar la alarma y ha conseguido que ciertas instituciones del ámbito sanitario lleven acciones para tratar de revertir la situación actual es así que, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, declaró el año 2016 como el “Año Internacional de las Legumbres”, cuyo objetivo fue concientizar a la población de los múltiples beneficios de incluir una mayor cantidad de legumbres en la dieta, promocionar su cultivo y consumo por cinco razones (FAO, 2016).

- Las legumbres son uno de los alimentos más nutritivos del planeta.
- Su consumo está asociado a mejorar la salud.
- Su cultivo es beneficioso en la lucha frente al cambio climático, aumentando la captación de carbono y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejoran la fertilidad del suelo en el que se cultivan y nutren a los cultivos cercanos.
- Suponen un bajo costo para los agricultores dado que son capaces de crecer en lugares áridos y generalmente son perennes.

2.1.2. Características nutricionales de las legumbres

Las legumbres son alimentos con propiedades nutricionales benéficas para nuestra salud, destacando su excelente fuente proteica, este alimento contiene baja cantidad

de azúcares simples, rico en hidratos de carbono complejos de absorción lenta y bajo índice glucémico, son bajas en calorías (100-150 kcal por cada 100 g de legumbre), bajo porcentaje de grasa, poseen una elevada cantidad de fibra, tanto soluble (ayuda a controlar el colesterol y la glucosa en sangre) como insoluble (ayuda en problemas de estreñimiento). Además, son una gran fuente de minerales (Mg, K, Ca, P, Fe, Cu), vitaminas (ácido fólico, y vitaminas B1, B2, B3, niacina, carotenos), antioxidantes y otros compuestos bioactivos como fitosteroles, saponinas, isoflavinas o polifenoles de gran importancia en la prevención de muchas enfermedades (Messina, 1999). La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir 2-3 raciones de legumbres diarias es decir unos 100 a 120g (AEL, 2015).

2.2. Lenteja (*Lens culinaris* M.)

2.2.1. Generalidades y origen

La lenteja, es una planta anual herbácea de la familia fabáceas o leguminosas, con tallos de 30 a 40 cm, endebles, ramosos y estriados, hojas oblongas, estípulas lanceoladas, zarcillos poco arrollados, flores blancas con venas moradas, sobre un pedúnculo axilar, y fruto en vaina pequeña, con dos o tres semillas pardas en forma de disco de medio centímetro de diámetro aproximadamente (Johnson, 2013). Es originaria del sur oeste de Asia, se extendió hacia la zona mediterránea, desde donde se difundió a muchos países, y en América su cultivo es “reciente” (Polo, 2012). Las lentejas se consumen en diversos países gracias a sus propiedades nutricionales; en el medio oriente, se utiliza en el massur dal (sopa de lentejas) y en el koshary (lentejas con arroz); en Centroamérica y Suramérica, se consume guisada y acompañada con arroz o también en sopa con plátano verde; en América del Norte y Europa, las semillas de lentejas se utilizan en sopa, un plato de ésta provee una proporción cercana a la mitad de lo requerido diariamente por una persona adulta. La lenteja se utiliza también en la elaboración de hamburguesas vegetarianas, estofados y ensaladas, a nivel industrial se encuentra como alimento enlatado pre-cocido, otra forma de uso es harina mezclada con cereales para elaborar panes, pasteles, fideos y fórmulas infantiles (Joshi et al., 2017).

2.2.2. Cultivo en el Perú.

El cultivo de esta leguminosa se extendió en América del Sur con los colonizadores españoles; en el Perú su cultivo es escaso, la cantidad producida desde el año 2011 hasta el 2017 se presenta en la Tabla 1, se cultiva mayormente en la parte de la Sierra Norte en las regiones de Ancash, Cajamarca y La Libertad (MINAGRI, 2016).

2.2.3. Clasificación taxonómica.

Salud y buenos alimentos (2017), describen la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Tribu: Fabeae

Género: Lens

Especie: *Lens culinaris* M.

Tabla 1. Producción en miles de toneladas métricas de grano seco de lenteja, arveja y frijol de palo en el Perú (2011-2017)

Año	Lenteja (<i>Lens Culinaris</i> M.)	Arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	Frijol de palo (<i>Cajanus Cajan</i> L.)
2011	4,2	48,6	2802
2012	3,7	53,0	2986
2013	4,0	54,3	2876
2014	3,3	52,4	2866
2015	3,0	53,2	3276
2016	2,3	50,2	3055
2017	2,5	50,2	3133

Fuente: INEI, (2018)

2.2.4. Propiedades nutricionales

El grano de lenteja es una de las legumbres más valiosas en el mundo gracias a la calidad de sus nutrientes (Tabla 2). Este grano ha sido denominado “carne del hombre pobre” a causa de su bajo precio comparado a la carne, complementa a los alimentos ricos en proteínas proporcionando un alimento nutritivo al equilibrar los requerimientos de aminoácidos y micronutrientes en la dieta, convirtiéndola en una muy buena fuente de proteína vegetal pues proporciona nueve gramos de proteína por cada media taza de lenteja cocida, de acuerdo a la variedad, el contenido de proteínas en la lenteja varía de 22 a 32 %, encontrándose dos tipos: metabólicas y de almacenamiento, éstas constituyen cerca del 80% de la proteína total en la

semilla, de las cuales un 31,8 – 49,7% es albúmina, 26,2 – 34,6% globulina, menos del 5% prolaminas y glutelinas (Joshi et al., 2017). Entre las vitaminas que posee la lenteja, se encuentran la vitamina A, E y B (en mayor proporción), este nutriente es esencial ya que presenta altas cantidades de niacina (B3) y ácido fólico (B9), el grano además posee altas cantidades de fósforo, hierro, zinc y potasio, así como otros minerales en menor proporción (Valdivia & Ostos, 2016). Su contenido de fibra presenta muchos beneficios para la salud: índice glucémico bajo, ayuda en la prevención del cáncer, protege contra enfermedades cardiovasculares, entre otros (Hefnawy, 2011).

Tabla 2. Composición nutricional de lenteja, arveja y frijol de palo (g/100g de materia seca)

Componente	Lenteja	Arveja	Frijol de palo
Proximal^a			
Humedad	12,4	10,1	13,4
Proteína	25,1	22,9	22,3
Grasa	0,7	2,4	1,7
Fibra	4,0	4,4	6,2
Ceniza	2,6	2,7	3,7
Carbohidratos	59,0	58,8	57,6
Minerales^{b,c}			
Calcio (Ca)	97,3	96	159,8
Sodio (Na)	12,7	14,1	19,7
Potasio (K)	1134,6	954	1290
Magnesio (Mg)	129	132	131,2
Hierro (Fe)	7,3	7,4	5,6
Manganeso (Mn)	1,3	2,9	1,8
Cobre (Cu)	1,0	0,5	0,9

Fuente: ^aK amboj & Nanda (2017); ^bJoshi et al. (2017); ^c Sangronis & Machado, (2007)

2.3. Arveja (*Pisum sativum* L.)

2.3.1. Generalidades y origen

También conocida como guisante, es una planta herbácea, forma parte de la familia de las leguminosas, considerada uno de los primeros cultivos domesticados por el ser humano (Camarena., 2014). Hallazgos de restos fósiles de esta legumbre en Asia Central darían cuenta de su consumo desde hace aproximadamente 11 750 años. Desde allí se habría difundido

a todas las regiones templadas y frías del mundo y durante el periodo colonial llegaría a América Latina con los españoles. El cultivo de la arveja abarca alrededor de 8 millones de hectáreas y ostenta el tercer lugar dentro de la superficie destinada a las legumbres secas en el mundo, luego de la caraota y el garbanzo, siendo Rusia el primer país productor de esta leguminosa seguido por China, India, Estados Unidos y Canadá (Huaman., 2019).

2.3.2. Producción de arveja en el Perú.

Se adapta perfectamente a las condiciones ambientales y climáticas del Perú, en la costa se cultiva bajo riego, generalmente en invierno, durante los meses de mayo a setiembre; en la sierra, habitualmente se produce en secano, hasta una altura de 3 700 m s.n.m, durante los meses de setiembre a enero (REDESA, 2007). El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018) muestra la producción anual de arveja en el Perú (Tabla 1) en miles de toneladas métricas desde el año 2 011 hasta el año 2 017.

2.3.3. Clasificación taxonómica.

Vilcapoma (1991) describe la siguiente clasificación taxonómica:

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida

Sub-clase: Rosidae.

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Sub-familia: Faboideae.

Género: Pisum.

Especie: *Pisum sativum* L.

2.3.4. Propiedades nutricionales

Los componentes nutricionales de la arveja son presentados en la Tabla 2, es ampliamente estudiada por su alto contenido de proteínas (18 – 30%) en los granos, así como vitaminas y minerales, además contiene carbohidratos y son de fácil uso en la alimentación (Camarena., 2014).

2.4. Frijol de palo (*Cajanus cajan* L.)

2.4.1. Generalidades y origen

Es una leguminosa arbustiva de crecimiento determinado y/o indeterminado, de ciclo perenne, posee hojas alternadas trifolioladas distribuidas en forma espiral a lo largo del tallo, miden por lo general de uno a cuatro metros de altura con un follaje verde amarillento a verde púrpura, fuera de la época de producción son árboles leñosos (Cedano, 2006). Su origen es reportado en la India, de donde se difundió al sureste de Asia y al este de África, desarrollándose en este continente un centro secundario de diversificación. Crece y produce exitosamente en las zonas tropicales y subtropicales, entre las latitudes de 30° LN y 30° LS y altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2 500 m s.n.m (Escalante., 2009).

2.4.2. Cultivo en el Perú

Datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática 2018 presentados en la Tabla 1, muestran la producción de esta leguminosa en el Perú; hasta fines del siglo anterior era un cultivo de áreas reducidas y básicamente de consumo familiar. La demanda del mercado externo condujo a la acelerada expansión de su cultivo convirtiéndose entre las menestras, en uno de los principales productos de exportación (Escalante., 2009).

2.4.3. Clasificación taxonómica

Cedano (2006), refiere la siguiente clasificación taxonómica:

División: Magnoliophyta.

Clase: Angiosperma

Subclase: Dicotyledoneae

Orden: Leguminosae

Familia: Papilionaceae

Género: *Cajanus*

Especie: *Cajanus cajan* L.

2.4.4. Propiedades nutricionales

El contenido nutricional de las semillas de frijol de palo se presenta en la Tabla 2, son ricas en proteínas, fibra y ácidos grasos insaturados, también son ricas en minerales, flavonoides, estilbenos, saponinas, taninos, azúcares reductores, resinas y terpenoides potencialmente antioxidantes (Yang et al., 2020).

2.5. Aspectos generales de los germinados

2.5.1. Definición

Los "granos germinados" son definidos por la Asociación Estadounidense de Químicos de Cereales (AACC) con el respaldo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) de la siguiente manera: "los granos malteados o germinados que contengan todo el salvado, germen y endospermo originales serán se consideran cereales integrales siempre que el crecimiento de los brotes no supere la longitud del grano y los valores de nutrientes no hayan disminuido" (AACC, 2008).

2.5.2. Proceso de germinación

Según Jensen (2012), la germinación comprende tres fases: hidratación o remojo, fase de germinación y cosecha.

Fase de hidratación o remojo: Consiste en sumergir completamente las semillas secas en agua limpia. En esta fase se da la absorción de agua que se realiza para desactivar las enzimas inhibitoras que mantienen a la semilla estable, inicia el proceso de producción de otras enzimas, aumenta la respiración; el volumen de las semillas se duplica o se triplica. Cuando se hidratan los tejidos que forman el embrión se activa un proceso metabólico que es esencial para que se lleve a cabo las siguientes etapas. La magnitud de esta fase está determinada por tres factores: composición química de la semilla, permeabilidad de la envuelta seminal y disponibilidad de agua en el medio. El tiempo de hidratación dura según la especie desde dos horas en semillas "suaves" hasta doce horas en semillas más resistentes; pasado este tiempo, se descarta el agua y se enjuaga con agua limpia.

Fase de germinación: Es la fase en la que ocurren las transformaciones metabólicas en donde se prepara el camino para la fase de crecimiento y es donde se desarrolla la plántula, la absorción de agua disminuye por la semilla y se estabiliza el consumo de oxígeno; esta fase dura según el tipo de semilla y condiciones de germinación.

Fase de cosecha: La emergencia radicular marca el fin de la germinación en esta etapa debe cortar la germinación para aprovechar sus nutrientes y evitar el crecimiento de la planta, los métodos más usados este proceso son la deshidratación y la congelación.

2.5.3. Importancia del consumo de germinados como alimentos funcionales

Los germinados de semillas son recomendados por su gran poder para desintoxicar el organismo, son ricos en vitaminas B, D, E, minerales como fósforo, potasio, calcio, hierro; alto contenido de proteínas, antioxidantes, enzimas; son alimentos que se

obtienen a partir de semillas seleccionadas, libres de productos químicos e insecticidas que son perjudiciales para nuestro organismo, son alimentos de bajo costo y su rendimiento es elevado, ya que la semilla triplica su volumen por la absorción de agua; la cáscara protectora que contiene se rompe y se pueden consumir crudos, además, poseen un alto contenido de fibra (Miranda, 2021).

En la agricultura convencional se adiciona plaguicidas en los cultivos de frutas y verduras lo cual resulta perjudicial para la salud, a la vez son manipulados, por lo que están expuestos a contaminantes y en el momento de su consumo se deben cocinar donde disminuye su valor nutricional en este sentido, los germinados se presentan como una opción de alimento para el ser humano, ya que son de fácil digestión, económicos, fáciles de producir incluso en los mismos hogares y lo más resaltante es que no necesitan de fertilización química, lo que promueve numerosos beneficios para la salud (Pérez Galeano, 2015).

Los germinados son ampliamente consumidos en países europeos y orientales desde la antigüedad y han mostrado tener un efecto benéfico sobre la salud al reducir el riesgo de adquirir enfermedades e incrementar la longevidad (Socha et al., 2014). Contienen un elevado nivel de componentes prosalud, los cuales son influenciados por las condiciones de producción, de la calidad de las semillas y las condiciones de germinación (Salas-Pérez et al., 2016).

El aporte nutricional a la población, del consumo de germinados es muy significativo y puede desarrollarse principalmente en países en vías de desarrollo como el Perú, en donde los problemas de desnutrición y problemas de anemia por la deficiencia nutricional en consumo de hierro es elevada, según INEI (2018), se estima que en el Perú existen 1 350 000 niñas y niños menores de tres años de los que, el 43,6 % tienen algún grado de desnutrición. Por otro lado, existen un aproximado de 600 000 gestantes, de las que el 28 % presentan alguna deficiencia nutricional.

2.6. Composición químico-proximal

Por lo general, las semillas son duras y de difícil digestión, en este sentido, la germinación promueve una intensa actividad metabólica, en la que se producen varias reacciones químicas, entre ellas, la síntesis de las enzimas que desdoblan las macromoléculas de proteínas, minerales, y vitaminas haciéndolo de fácil asimilación por el organismo. Posiblemente la germinación sea uno de los procesos biotecnológicos más antiguos, económicos y sencillos empleados para mejorar el valor nutricional de granos de cereales y de leguminosas; desde este punto de vista, la germinación presenta una considerable importancia

y es un proceso a considerar para mejorar los ingredientes alimenticios (Martínez, 2019). Entre las modificaciones en la composición, se pueden apreciar variaciones de los carbohidratos solubles, proteínas y fibra (Yang, 2011).

Humedad: El contenido de humedad está relacionado con la medición, el control microbiológico, la vida útil en almacenamiento, el transporte y los efectos que tiene su presencia en los alimentos (Martínez, 2019). En la Tabla 3, se observa valores de humedad en legumbres no germinadas de 6,2% a 10,3% con un promedio de 8,5% mientras que las germinadas están entre 8,7% a 12,6% con una media de 10,4% representando un incremento promedio de 22,3%; la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018) menciona que las condiciones ideales para el almacenamiento de las semillas secas es de 4 a 8% con humedad relativa máxima de 65%, éstas condiciones evitan la activación enzimática de los componentes de las semillas, ofrecen resistencia al ataque de insectos y hongos además, permiten conservar las semillas por tiempos prolongados, en cambio humedades de 9 a 14% pueden generar el desarrollo de hongos y acortar el periodo de almacenamiento mientras que, la humedad superior al 14% puede calentar a la semilla y producir germinación indeseada o pudrición debido a una tasa rápida respiración y liberación de energía.

Proteínas: Desempeñan funciones biológicas en el organismo humano, entre las que se cuenta principalmente la regeneración y la formación de tejidos, la síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas y como constituyente de la sangre, entre otras; forman parte del tejido conectivo y muscular de los animales y de otros sistemas (Byong, 2000). Según la Tabla 3 el contenido de proteínas de las legumbres está en un rango que va desde 24,1% a 37,2% con una media de 26,3% eso indica que cada 100 gramos de semillas de legumbres secas aportan 23,6 gramos de proteína total, en ese sentido, las legumbres pueden suplir las necesidades nutricionales de las personas dado que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), las necesidades proteicas de un niño en los primeros 12 meses de vida son: de 0 a 3 meses 2,4g; de 3 a 6 meses 1,85g; de 6 a 9 meses 1,62g y de 9 a 12 meses 1,44g; en cambio en personas adultas la ingesta diaria recomendada de proteínas es de 0,75g por Kg de peso es decir, si una persona pesa 60 kg debe consumir 45g de proteínas al día.

Grasa: Las grasas son necesarias para nuestro organismo, proveen de ácidos grasos esenciales que nuestro cuerpo no puede fabricar, además, cumplen diversas funciones vitales, por ejemplo, almacenar energía, sirven de estructura para producir hormonas y otras sustancias, facilitan el transporte de vitaminas (Yang & Boyle, 2016). Las legumbres son alimentos considerados bajos en grasa y exentas de colesterol ya que su contenido lipídico no supera el 3,5% que a su vez el 60% está compuesto ácidos grasos insaturados como oleico,

linoleico y linolénico (Gruzac, 2009); en la Tabla 3 podemos apreciar valores de grasa de 0,9% a 2,8% con un promedio de 1,9% por lo que la ingesta de legumbres es saludable, además, pueden ser consumidas por personas que tienen problemas de obesidad y colesterol.

Tabla 3. Composición proximal de diferentes legumbres germinadas y no germinadas (% materia seca)

Parámetro	Legumbre	NG	G	Variación (%)	Referencia
Humedad	Garbanzo	9,4	10,3	9,6	Atudorei et al. (2021)
	Frijol de palo	8,2	10,1	23,2	Rizvi et al. (2022)
	Arveja	6,2	8,7	40,3	Ma et al. (2018)
Proteína	Frijol	22,6	26	15,0	Atudorei et al. (2021)
	Garbanzo	24,4	27,8	13,9	Xu et al. (2019)
	Frijol mungo	24,1	37,2	54,4	Akaerue, (2010)
	Frijol negro	22,7	25,4	11,9	Gujral et al. (2011)
Grasa	Frijol polilla	2,7	2,8	3,7	Gujral et al. (2011)
	Haba	0,9	1,4	55,6	Setia (2019)
	Lenteja	2,2	0,9	-59,1	Fouad el al. (2015)
	Frijol de palo	2,4	2,2	-8,3	Torres et al. (2007)
Fibra	Frijol mungo	5	9,2	84,0	Akaerue, (2010)
	Haba	7,4	8,6	16,2	Setia (2019)
	Frijol caupí	4,4	6,4	45,5	Devi et al. (2019)
Ceniza	Garbanzo	3,1	3,3	6,5	Xu et al. (2019)
	Frijol polilla	3,2	3,5	9,4	Gujral et al. (2011)
	Arveja	2,5	2,7	8,0	Ma et al. (2018)
CHO	Frijol	61,3	59,7	-2,6	Atudorei et al. (2021)
	Frijol mungo	55,7	44,9	-19,4	Akaerue, (2010)
	Lenteja	48,7	41,6	-14,6	Fouad et al. (2015)
	Frijol de palo	62,7	56,6	-9,7	Rizvi et al. (2022)

NG: No germinados; G: Germinados

Fibra: La fibra es definida como "carbohidratos no digeribles y lignina que son intrínsecos e intactos en las plantas". El consumo de fibra en la dieta tiene importantes beneficios entre los que destacan, disminuye la presión arterial, reduce el riesgo de cáncer

colorrectal, disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares y un mejor control de la diabetes (Dahl & Stewart, 2015). Los datos presentados en la Tabla 3 muestran un contenido de fibra en no germinados de 4% a 7,4% con una media de 5,2% mientras que en germinados de las mismas legumbres los valores van desde 4,6% a 9,2% con un promedio de 7,5%, eso quiere decir que en 100 gramos de legumbres no germinadas proporcionan 5,2 gramos de fibra mientras que 100 gramos de legumbres germinadas pueden aportar 7,5 gramos de fibra representando un incremento de 44,2% por lo que la germinación se considera un método efectivo para mejorar la fibra dietética de las semillas, en ese sentido, la inclusión de legumbres germinadas a la dieta diaria puede suplir las necesidades de este nutriente por el organismo ya que la ingesta de fibra recomendada para niños y adultos es de 20 a 35 gramos de fibra al día (James et al., 2009).

Ceniza: Se llama ceniza al residuo que queda después de la calcinación en el que se elimina el agua y los materiales orgánicos como la grasa y la proteína. Es importante su consumo porque está compuesta principalmente de minerales como fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre y otros residuos en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros (Czaja et al., 2020). La germinación genera un ligero incremento del contenido de ceniza tal como se muestra en la Tabla 3, donde en no germinados está en un rango de 2,5 a 3,2%, con una media 2,95% mientras que en germinados está en un rango de 2,7% a 3,5% con un promedio de 3,2%, Holden et al. (2003) menciona que las cenizas representan el contenido de material no digerible de los alimentos y en general, suponen menos del 5% de la materia seca total.

Carbohidratos: Son moléculas altamente energéticas y fundamentales para el desarrollo de la vida; están compuestos principalmente por los átomos carbono, hidrógeno y oxígeno. En la dieta se les conoce como azúcares, estos pueden ser de composición química simple, como la glucosa, o de composición química más compleja, como el almidón (Tan et al., 2020). Belsom et al. (1999) describe las razones por las que se debe incluir los carbohidratos en la alimentación diaria: Aporte de energía, la mayoría de los carbohidratos consumidos en la dieta humana son digeridos y transformados en glucosa y la glucosa es la principal fuente de energía (conocida como ATP) para mantener el organismo funcionando; almacenamiento de energía debido a que la glucosa en exceso es transformada en una molécula llamada glucógeno y almacenada en el hígado: cada vez que el organismo requiere azúcar de forma inmediata, degrada el glucógeno instantáneamente, convirtiéndolo en glucosa; formación de tejidos porque los carbohidratos, en combinación con otras moléculas, forman la base estructural de muchos tejidos del cuerpo humano. Estudios demuestran que durante la germinación disminuye el

contenido de carbohidratos, tal como se muestra en la Tabla 3 donde en no germinados el rango está entre 48,7% a 62,7% con un promedio de 57,1% mientras que los germinados presentan un rango de 41,6% a 59,7% con un promedio de 50,7% representando una disminución de 11,2% respecto a los no germinados en el mismo sentido, Ferreira et al. (2019) afirma que esta disminución se debe a que son utilizados como sustratos para el desarrollo de la nueva planta por su alto aporte energético; esto a la vez es benéfico para la salud porque en la actualidad las personas buscan dietas bajas en carbohidratos para menguar los problemas de obesidad; sustituyendo el aporte energético con el consumo de alimentos ricos en proteínas, con lo que se reduce el apetito y se consume menos calorías (Bray, 2003).

2.7. Generalidades sobre compuestos bioactivos

2.7.1. Fenoles totales

Los compuestos fenólicos son los principales componentes de los metabolitos secundarios de los vegetales, desempeñan diversas funciones fisiológicas: intervienen en el crecimiento y reproducción de las plantas, así como en procesos defensivos contra agentes patógenos, depredadores o radiación ultravioleta. Tradicionalmente se han considerado como sustancias antinutritivas debido al efecto adverso de uno de sus componentes sobre los taninos y la digestibilidad de proteínas (García et al., 2015).

Clasificación: Desde el punto de vista químico se clasifican en fenoles simples (C6), benzoquinonas (C6), ácidos fenólicos (C6-C1), acetofenonas (C6-C2), ácidos fenilacéticos (C6-C2), ácidos hidroxicinámicos (C6-C3), fenilpropenos (C6-C3), cumarinas (C6-C3), cromonas (C6-C3), naftoquinonas (C6-C4), xantonas (C6-C1-C6), estilbenos (C6-C2-C6), antraquinonas (C6-C2-C6), flavonoides (C6-C3-C6), lignanos y neolignanos (C6-C3) 2, y ligninas (C6-C3) (Gómez-Maqueo et al., 2018).

Importancia: Los beneficios en la salud incluyen la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, porque funcionan como cardioprotectores, antiarterogénicos, antialérgicos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antioxidantes, antitrombóticos y vasodilatadores (Gómez-Maqueo et al., 2018; Gawlik et al., 2021). Durante la germinación el contenido de fenoles se incrementa tal como se evidencia en la Tabla 4, esto debido a que la biosíntesis de compuestos fenólicos, se lleva a cabo principalmente por acción de la enzima fenilalanina amoniaco liasa, la cual se activa durante la germinación (Salas- López 2018). El contenido fenoles totales en las legumbres no germinadas está entre 5,8 mg EAG/g y 7,9 mg EAG/g mientras que los germinados los valores van desde 8,5 mg EAG/g a 8,9 mg EAG/g con un incremento promedio de 30,5%; esto se explica debido a que, durante la

germinación los componentes de la pared celular, carbohidratos y las proteínas se degradan, produciendo el aumento de azúcares simples, aminoácidos libres y compuestos fenólicos (Liu et al., 2016).

Tabla 4. Fenoles totales en legumbres no germinadas y germinadas

Muestra	No germinados (mg EAG/g)	Germinados (mg EAG/g)	Incremento	Referencia
Arveja	5,8	8,5	46,6	Borges et al. (2022)
Lenteja	6,6	8,9	34,8	Umar et al. (2022)
Frijol de palo	7,9	8,7	10,1	Torres et al. (2018)

2.7.2. Capacidad antioxidante

Antioxidante: Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas; esto siempre en cuando una especie cede electrones a otra, la especie que gana electrones se reduce mientras que la que pierde se oxida. En estas reacciones se producen radicales libres, especies muy oxidativas que pueden producir daños al organismo (Ramos et al., 2008).

Aplicaciones de los antioxidantes: Los antioxidantes son compuestos de gran interés para la industria alimentaria, farmacéutica y bioquímica por su capacidad para reducir el daño causado por algunas especies reactivas: oxígeno, nitrógeno o incluso cloro (Carocho et al., 2018).

Radical libre: Es una especie química definida, una molécula o fragmento de molécula, que contiene uno o más electrones desapareados en su orbital externo lo que lo convierte en un compuesto altamente inestable y fugaz, con gran capacidad de formar otros radicales libres por reacciones químicas en cadena (Muller, 2015). Entre los radicales más utilizados para determinar la capacidad antioxidante de los alimentos están el 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) y 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS). DPPH*: Es un radical nitrogenado de naturaleza orgánica que tiene un electrón desapareado, en su forma oxidada es de color azul-violeta y por acción de un agente antioxidante que le cede un átomo de hidrógeno pasa a su forma reducida de color amarillo (Wootton-Beard et al., 2011); éste, se puede utilizar para estudiar las propiedades anticoagulantes, antitumorales, antivirales, antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y de inhibición de enzimas de una variedad de fármacos (Shalaby & Shanab, 2013). ABTS*⁺: Es un radical que se comercializa en su forma

estable y se agrega persulfato de potasio (K_2SO_5) para convertirlo en radical catiónico $ABTS^{\circ+}$, es de color verde-azulado y con la presencia de antioxidantes donadores de uno o dos electrones se torna incoloro.

Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante es la pérdida de electrones, de hidrógenos o la ganancia de oxígeno en una molécula; esto es producido por un agente oxidante que se reduce al reaccionar con la molécula a la cual oxida (Shivakumar & Kumar, 2018). La capacidad antioxidante en germinados se incrementa debido al aumento de la actividad de las enzimas hidrolíticas endógenas; estas enzimas modifican el endospermo y puede liberar algunos de los componentes ligados que juegan un papel indispensable en la actividad antioxidante (Fouad et al., 2015; Aguilera et al., 2015) además, durante este proceso se generan radicales libres como producto del estrés oxidativo, la humedad adicional, temperatura y otras condiciones; esta elevada concentración de radicales libres, incita a la formación de antioxidantes como respuesta defensiva de las plantas (Gunenc et al., 2017). La capacidad antioxidante para inhibir al radical DPPH son mostradas en la Tabla 5, con incrementos en la germinación de lenteja de 24,2% y 15,7% mientras que el trigo germinado experimentó un incremento de 14,3% con un promedio de 18,1% en cambio, la capacidad de inhibición del radical ABTS presentados en la misma tabla evidencia incrementos superiores, en lenteja germinada 55,6%, arveja 20,8% y frijol rojo 19% con un promedio de 31,6%; por lo que el ABTS genera datos más precisos de la capacidad antioxidante porque aparte de poder medir en varios máximos de absorción y tener mayor solubilidad, permite la medición de compuestos tanto de naturaleza lipofílica como hidrofílica (Kuskoski et al., 2005).

Tabla 5. Capacidad antioxidante en legumbres no germinadas y germinadas

Radical	Muestra	No germinados	Germinados	%	Referencia
DPPH	Lenteja	44,6 $\mu\text{molTE/g}$	55,4 $\mu\text{molTE/g}$	24,2	Aguilera et al. (2015)
	Trigo	2,8 $\mu\text{molTE/g}$	3,2 $\mu\text{molTE/g}$	14,3	Tarasevicence et al. (2019)
	Lenteja	19,7 $\mu\text{molTE/g}$	22,8 $\mu\text{molTE/g}$	15,7	Gunenc et al. (2017)
ABTS	Frijol rojo	12,6%	15%	19	Umar et al. (2022)
	Arveja	13 $\mu\text{molVE/g}$	15,7 $\mu\text{molVE/g}$	20,8	Liu et al. (2016)
	Lenteja	0,9 mgTE/g	1,4 mgTE/g	55,6	Gawlik-Dziki et al. (2021)

DPPH*: Capacidad para inhibir al radical DPPH; **ABTS^{o+}:** Capacidad para inhibir al radical ABTS

2.8. Minerales

Los minerales son elementos inorgánicos esenciales para el organismo como componentes estructurales y reguladores de los procesos corporales. No pueden ser sintetizados y deben formar parte de la alimentación diaria. Se han descrito aproximadamente 20 minerales esenciales para el hombre. Según las cantidades en que sean necesarios y se encuentren en los tejidos corporales se distinguen tres grandes grupos: Macroelementos: calcio, fósforo, magnesio, sodio o potasio, cloro, azufre y microelementos o elementos traza: se encuentran en muy pequeñas cantidades: hierro, cinc, manganeso, selenio, cromo, cobre o molibdeno.

Los minerales son indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano; la biodisponibilidad de los mismos depende de su forma química en los alimentos, los métodos de procesamiento y la presencia de potenciadores ejemplos, algunos aminoácidos o inhibidores como el ácido fítico y taninos (Alegría-Toran et al., 2015). La dieta pobre en minerales o la baja disponibilidad de estos puede conducir a deficiencias nutricionales, como anemia ferropénica, osteoporosis y alteraciones del crecimiento físico (Johnson, 2013). Según la cantidad requerida por el organismo humano los minerales se dividen en macroelementos y microelementos (Henry, 2004). En la Tabla 6 se detalla las principales características de los elementos estudiados y las cantidades de consumo en la dieta diaria.

Tabla 6. Fuentes de origen, funciones y consumo recomendado de macro y micro elementos

Elemento	Principales fuentes según origen ¹	Función ¹	CDR ² (mg/día)*
Macro-elementos			
Calcio (Ca)	Vegetal: Verduras (brócoli, hojas de mostaza), legumbres Animal: Leche y productos lácteos tofu enriquecido y leche de soja enriquecida, pescado enlatado con espinas	Importante para huesos y dientes; ayuda a relajar y contraer los músculos, funcionamiento de los nervios, fortalece el sistema inmune, coagulación sanguínea y regula la presión arterial.	700
Potasio (K)	Vegetal: Frutas y vegetales frescos y secos, cereales integrales, legumbres; Animal: Carnes, pescado (salmón), leche, yogur	Necesario para el equilibrio de líquidos celulares, transmisión nerviosa, contracción muscular, mantenimiento de la presión arterial y eliminación de residuos.	3 100

Tabla 6. (Continuación)

Elemento	Principales fuentes según origen ¹	Función ¹	CDR ² (mg/día)*
Micro-Elementos			
Hierro (Fe)	Vegetal: Calabaza y semillas de calabaza, nueces (marañón, pino, avellana, maní), legumbres, cereales integrales, salvado, hojas oscuras (espinacas, acelgas), frutos secos. Animal: Hígado (pollo), mariscos, ternera y cordero (asado magro), huevos, aves.	Necesario para la formación de hemoglobina en los glóbulos rojos, transporta oxígeno de los pulmones a las células del cuerpo; necesario para el metabolismo energético.	4
Manganeso (Mn)	Vegetal: Nueces (avellanas), semillas (calabaza), legumbres, espinacas, cereales integrales (arroz integral), té (negro). Animal: Mariscos (mejillones, cocidos), pescados (lubina, cocidos)	Parte de muchas enzimas; importante para el funcionamiento normal del cerebro y la actividad adecuada del sistema nervioso.	2,3
Cobre (Cu)	Vegetal: Legumbres, frutos secos, cereales integrales, col rizada cruda, champiñones. Animal: vísceras, mariscos, queso de cabra.	Parte estructural de muchas enzimas; esencial para el buen funcionamiento de los órganos y el metabolismo, estimula el sistema inmunológico para combatir infecciones; refacción de tejidos lesionados; promueve la curación; ayuda a neutralizar los radicales libres que causan intenso daño celular.	1,1

Fuente: ¹ Gharibzahedi & Jafari, (2017); ²OMS (2012); CDR: Cantidad diaria recomendada; *Personas adultas entre 20 a 60 años

2.9. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Es una de las técnicas más usadas para la caracterización térmica de variados materiales, que permite registrar los eventos térmicos, tales como la fusión, la cristalización, la transición vítrea, etc. Estos eventos son características propias de cada muestra, están dados por las propiedades y cantidades de las moléculas que la componen (Norramon et al., 2021). La DSC reporta datos de la energía absorbida o liberada por la muestra al ser sometida a variación de temperatura (Hoyos-Leyva et al., 2017). Se basa en la medición de un flujo de calor que debe suministrarse a una velocidad constante, independientemente, a una muestra y a una referencia estándar, para que ambas sigan el mismo programa de temperatura (Saja et al, 2005). La transmisión de calor debe ser instantánea, por lo cual se trabaja con muestras muy pequeñas que son colocadas en crisoles cerrados herméticamente, para impedir que se produzcan cambios de humedad durante el proceso. Es muy importante que el contenido de agua de las muestras permanezca constante durante la determinación de una transición, puesto que la cantidad de agua tiene una gran influencia sobre la temperatura a la cual se produce dicho efecto térmico (Gómez, 2009). Las fases endotérmicas del proceso son los siguientes:

Temperatura de inicio (T_o): Es la temperatura en la cual el almidón comienza a perder su ordenamiento molecular, donde los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se una con los grupos hidroxilos libres del agua.

Temperatura pico (T_p): Es la temperatura a la cual los gránulos del almidón están totalmente hidratados y han perdido su ordenamiento molecular, lo que dará paso a la ruptura de las dobles hélices de amilopectina en el gránulo.

Temperatura final (T_c): Es la temperatura en la cual el gránulo del almidón está totalmente desintegrado.

Entalpía de gelatinización (ΔH_{gel}): Es la diferencia que existe entre el calor absorbido por la muestra y el calor absorbido por el material de referencia.

La DSC tiene las siguientes aplicaciones: preparación de mezclas de alimentos, calor específico y propiedades de variación; transiciones de fases endotérmicas, polimorfismos, determinación de puntos de fusión, determinación de parte amorfa y cristalina, cinéticas de reacción, tiempo e inducción a la oxidación, descomposición de materiales, entre otros.

Estudios reportados en la Tabla 7 demuestran que la entalpía de gelatinización disminuye con el proceso de germinación; esto debido a que la germinación forma poros en la superficie a causa de la actividad enzimática, lo que facilita el hinchamiento del almidón (Uthumporn et al., 2010). Las entalpías mostradas en no germinados mostraron valores entre 0,68 J/g a 7,93 J/g con un promedio de 4,6 J/g mientras que los valores de los germinados están

entre 0,33 J/g a 4,96 J/g con un promedio de 3 J/g representando una disminución porcentual promedio de 37,8% respecto a los no germinados; la entalpía disminuye durante la germinación debido a que las dobles hélices de enlace de los almidones se disocian por lo que necesita menor energía térmica para la desnaturalización (Sharma et al., 2015). Los valores de entalpía son útiles en diversas aplicaciones en la industria alimentaria, nos dan idea de la resistencia a la gelificación, emulsión y estabilización, se debe considerar durante la formulación de mezclas alimenticias, tiempo de cocción y el grado de absorción de los nutrientes por el organismo (Ndidi et al., 2014).

Tabla 7. Entalpía de gelatinización de diversas semillas no germinadas y germinadas

Semilla	Entalpía de gelatinización (J/g)		Referencia
	No germinados	Germinados	
Trigo	3,99	2,55	Jribi et al. (2019)
Garbanzo	5,81	4,38	Xu et al. (2019)
Arveja	0,68	0,33	Ma et al. (2017)
Maní	4,62	2,80	Chinma et al. (2021)
Cebada	7,93	4,96	Gutiérrez (2019)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El proyecto de tesis se ejecutó en el Laboratorio Central de Investigación y en los laboratorios de: Análisis de Alimentos, Química y Laboratorio de Nutrición Animal pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María distrito Rupa Rupa provincia, de Leoncio Prado región Huánuco; localizada a 660 m s.n.m con coordenadas UTM390526E 8970350N; una humedad relativa promedio anual de 84% y temperatura media de 24 °C.

3.2. Muestras

La lenteja y arveja fueron obtenidas de los productores del Centro Poblado La Palma Central provincia de Jaén región Cajamarca con coordenadas UTM730307.3E 9358739.3N; mientras que el frijol de palo se obtuvo del Sr. Jesús Arenas Vela en el Centro Poblado Costa Rica Distrito de Pajarillo provincia de Mariscal Cáceres región San Martín con coordenadas UTM324433.1E 9191745.1N.

3.3. Materiales

3.3.1. Equipos

Estufa marca MMM Group, modelo EC 222 ECO, Alemania; Estufa marca TOMOS modelo ODHG-9140A, China; Balanza analítica marca RADWAG modelo AS 220.R2, Polonia; Equipo de digestión marca Büchi Labortechnik AG modelo K-438, Suiza; Equipo de destilación Kjeldahl marca Büchi Labortechnik AG modelo K-350, Suiza; Extractor de fibra marca ANKOM modelo A200, USA; Mufla eléctrica marca Barnstead International modelo FB1410M, USA; Selladora eléctrica marca Gastromaq, modelo PFS-400, Perú; Extractor de Grasa marca ANKOM modelo XT10L, USA; Espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) marca HORIBA Scientific, modelo ULTIMATE EXPERT ICP, Japón; Homgenizador ultrasónico marca Hielscher UP50H, Alemania. Agitador Orbital Digital marca SCIOLOGEX modelo SCI-O330-Pro, USA; Centrífuga marca Hettich Modelo Mikro 22R, Alemania; Espectrofotómetro marca Thermo Fisher Scientific modelo GENESYS 1XX, USA; Calorímetro marca Labsys Evo Robot – gas option modelo TGA-DSC 1600 °C, Japón.

3.3.2. Materiales

Bandejas de germinación, mortero y pilón de porcelana; kit desecador (bolsa flexible tipo ziploc); balones de digestión marca Kyntel® 100 mL, Perú, Erlenmeyer

marca Pyrex, Francia; bureta de titulación marca Eisco Labs modelo CH0240H, marcadores ANKOM Technology FO8, Filtros ANKOM F57 de material inerte y resistente al calor, calidad industrial; desecador de vidrio, con deshidratante de sílica gel; crisoles de porcelana; pinzas de metal, matraz Erlenmeyer 250 mL marca Pyrex, soporte universal, fiola volumétrica 25 mL marca Pyrex, papel filtro Whatman N° 42, tubos de ensayo de 50 mL, Tubos de eppendorf de 2 mL, Crisol de aluminio 75uL; Tamiz Tyler N° 45, Alemania.

3.3.3. Reactivos

Ácido nítrico (HNO_3), 70%, (QP) marca Spectrum®, Alemania; ácido perclórico (HClO_4), 98%, (QP) marca Emsure®, Alemania; patrón (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu) 1 000mg/L, marca Merck, Alemania; Folling Ciocalteu 0,2 N Merck, Alemania, Carbonato de sodio 7,5%; Metanol grado HPLC Supelco®, Alemania, Ácido Gálico 95% de pureza grado HPLC, Sigma®, Reino Unido, DPPH° 90% de pureza Sigma®, Alemania; ABTS°+96% de pureza Sigma®, USA; 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chromane-2-carboxylic acid (TROLOX) pureza 97% Aldrich®, Rusia. Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) 96%, grado reactivo marca Lab Alley, USA; sulfato de potasio marca Emsure®, Alemania; sulfato de cobre marca Innovating Science, USA; ácido bórico al 4% p/v marca Labessa, México; indicador de pH, ácido clorhídrico 0,1 N marca Supelco, Alemania; hidróxido de sodio al 50% marca Merk, Alemania; Eter de petróleo (Petroleum ether, B.P. 35-65 °C) marca Biopack®, USA; Solución de ácido sulfúrico $0,255 \pm 0,005\text{N}$; solución de Hidróxido de Sodio $0,313 \pm 0,005\text{N}$; verde de bromocresol al 1% marca Merck, Alemania; rojo de metilo al 0,1% marca Merck, Alemania.

3.4. Métodos de análisis

Químico-proximal: Humedad método N° 930.15 (AOAC 1990) p 69; proteína método semimicro Kjeldahl, N° 984.13 (AOAC 1990) p 74; grasa método N° 920.39 (AOAC 1990) p 79; fibra método N° 962.09 (AOAC, 1990) p 80; ceniza método N° 942.05 (AOAC 1990) p 70 y carbohidratos por diferencia (Hart y Fisher, 1991).

Minerales: Determinación de macro y microelementos método ICP-EOS descrito por Ordoñez et al. (2019).

Fenoles totales: Método Folin-Ciocalteu, descrito por Gunenc et al. (2017).

Capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH: Método desarrollado por Brand- Willams 1995, descrito por Schaich et al. (2015).

Capacidad antioxidante para inhibir el radical ABTS: Método desarrollado por Re et al. (1999) y descrito por Aviña et al. (2016).

Análisis de propiedades térmicas mediante **Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**: Método descrito por Xu et al. (2019).

3.5. Metodología Experimental

3.5.1. Preparación de la muestra- germinación

Las muestras fueron recepcionadas en envases de papel Kraft debidamente codificadas, se seleccionó para separar granos dañados, palitos, granos pequeños y otras impurezas, se separó en dos partes considerando uno para la muestra no germinada y otro para la muestra germinada. La germinación se realizó siguiendo el protocolo de Xu et al. (2019) con algunas modificaciones (Figura 1).

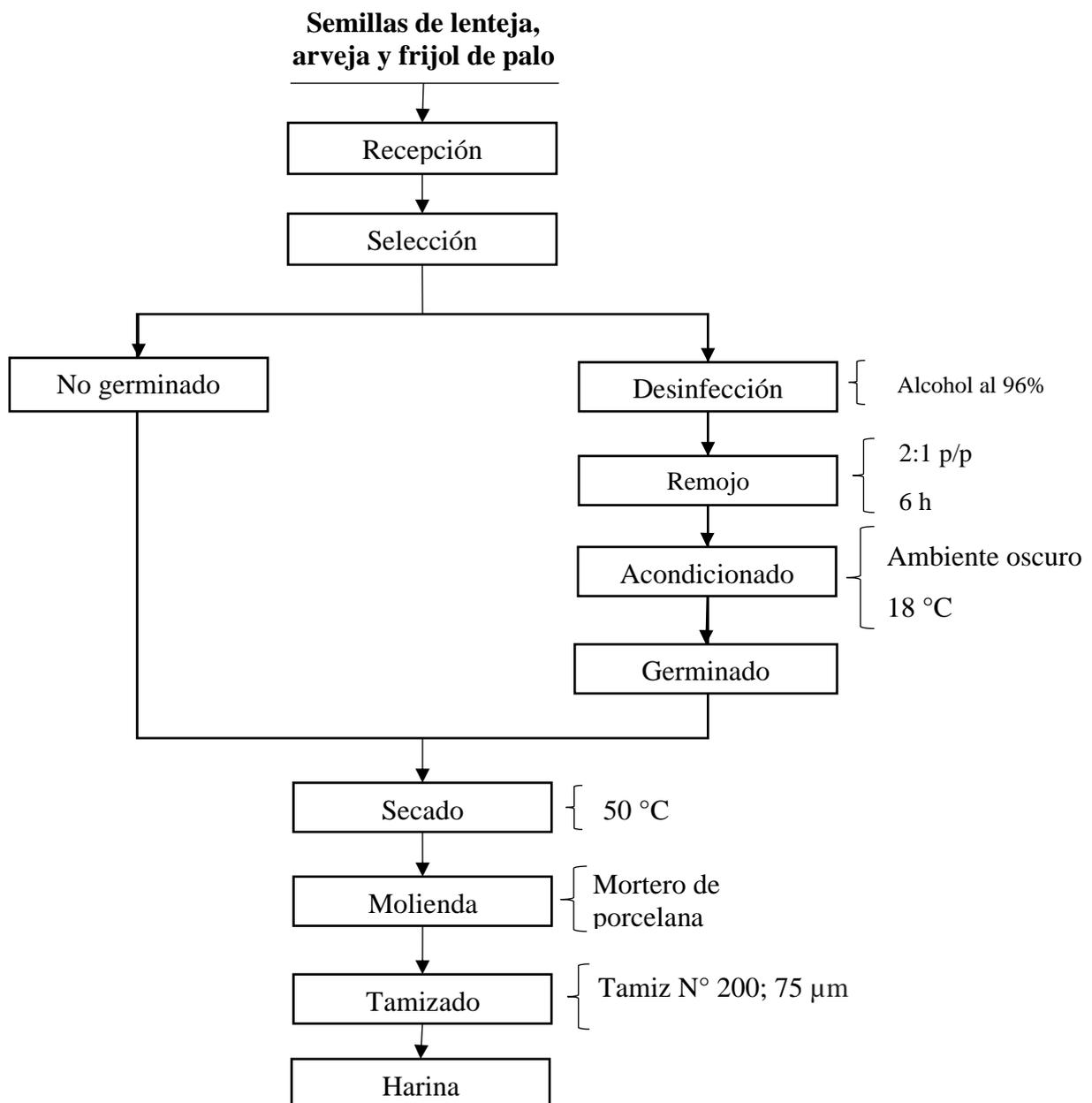


Figura 1: Diagrama de preparación de la muestra

Las semillas fueron desinfectadas con alcohol al 96% por 5 minutos, seguido se remojaron en recipientes de vidrio en proporción agua: muestra 2:1 p/p durante seis horas, pasado este tiempo se escurrió el agua sobrante, se ubicaron en bandejas de porcelana sobre paño absorbente, fueron cubiertas con una tela de polipima húmeda blanca y limpia, fue acondicionado en un ambiente oscuro a 18 °C y cada 12 horas se fue limpiando con agua destilada. Los tiempos de germinación de cada semilla se observan en el anexo (A-I). Las semillas no germinadas y germinadas fueron secadas en estufa a 50 °C hasta humedad constante, se enfrió en campana desecador por 30 min y se molió en un mortero de porcelana, se tamizaron en un tamiz (Tyler N°55; apertura de malla 0,355 mm) (Montemurro et al., 2018); finalmente fueron envasadas en recipientes de vidrio color ámbar de tapa rosca hasta los análisis, con las siguientes codificaciones LS= lenteja sin germinar, LG= lenteja germinada, AS= arveja sin germinar, AG=arveja germinada, FS= frijol de palo sin germinar, FG= frijol de palo germinado.

3.5.2. Determinación de la composición químico-proximal.

Determinación de humedad: Fueron rotuladas y pesadas 18 placas de Petri limpias y secas (W1), en cada placa se pesó 10g (W2) de muestra y fue ubicado en estufa a 105 °C por 4 horas, cumplido el tiempo, las placas con muestra seca fueron retiradas y enfriadas por 10 minutos en un desecador, finalmente fueron pesadas (W3), se determinó la humedad mediante la Ecuación (1) y todas las muestras fueron analizadas por triplicado.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(W2)-(W3)}{W2-W1} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde: W1: Peso de la placa de Petri limpia y seca (g); W2: Peso de la placa con muestra (g); W3: Peso de la placa con muestra seca (g).

Determinación proteína bruta: Se pesó 0,3g de cada muestra y fue colocado un el balón de digestión, fue necesario añadir 1,5 g de catalizador de oxidación (mezcla de sulfato de potasio y sulfato de cobre) para acelerar la reacción, seguido se añadió 3,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄ al 96%), el balón se colocó en el equipo de digestión durante 5 min a temperatura baja haciendo movimientos giratorios suaves, transcurrido el tiempo se incrementó la temperatura al máximo (400 °C), la digestión terminó cuando el contenido del balón se tornó completamente cristalino. La muestra digerida fue enfriada en el aparato de destilación en el que se agregó 20 mL de agua destilada y 5 mL de hidróxido de sodio; para recibir el destilado se utilizó un matraz Erlenmeyer al que se añadió 10 mL de ácido bórico al 4% y los indicadores de pH (rojo de metilo y verde de bromocresol),

se procedió a destilar hasta el viraje a color verde el cual indicó el final de la destilación. Se realizó la titulación del destilado utilizando ácido clorhídrico (HCl) 0,1N (B) hasta el viraje color violeta, anotando el gasto en mL (A). Cada muestra se evaluó por triplicado y los cálculos de porcentaje de nitrógeno (%N) se calcularon mediante la Ecuación (2).

$$NT(\%) = \frac{(A * B) * 0,014}{C} X 100 \dots \dots \dots (2)$$

Donde: NT (%): Porcentaje total de nitrógeno en la muestra; A: Gasto de ácido clorhídrico usado en la titulación (mL); B: Normalidad del HCL (0,1N); C: Peso de la muestra (g); 0,014: Peso miliequivalente del nitrógeno molecular (meq N₂).

El porcentaje de proteína bruta se calculó mediante la Ecuación (3), considerando el factor 6,25 que corresponde al 16% de nitrógeno en las proteínas.

$$\text{Proteína bruta (\%)} = \%N * 6,25 \dots \dots \dots (3)$$

Contenido de grasa: Se utilizó filtros ANKOM XT4 que son de material inerte y resistentes al calor, en los que se pesó 2 g de cada muestra (W1), se selló el filtro para encapsular la muestra. Previo al proceso de extracción fue necesario retirar el contenido de humedad de las muestras por lo que se ubicó en una estufa a 105 °C por 4 horas, finalizado el tiempo se enfrió en un desecador, en cuanto estuvo frío se realizó el pesado (W2). Las muestras secas fueron colocadas en el equipo de extracción ANKOM XT10 que contenía 350 mL de éter de petróleo, el tiempo de extracción fue por cuatro horas; concluido el proceso de extracción, las muestras fueron retiradas y llevadas a una estufa por 30 minutos, finalmente, fueron enfriadas por 10 minutos en una campana desecadora y pesadas (W3). Las evaluaciones se realizaron por triplicado y los resultados se calcularon mediante la Ecuación (4).

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{(W2 - W3)}{W1} x 100 \dots \dots \dots (4)$$

Donde: W1: Peso de la muestra; W2: Peso de la muestra seca más filtro; W3: Peso de la muestra desgrasada y el filtro después de la extracción.

Determinación de fibra cruda: Se utilizó filtros de material inerte (ANKOM F57) rotulados y pesados (W1), se pesó 1g de cada muestra dentro de los filtros (W2), los mismos que fueron sellados para encapsular la muestra, se incluyó un filtro vacío como blanco en cada corrida para determinar la corrección por el blanco (C1). Se realizó la remoción de la grasa de las muestras para lo cual, se colocó las muestras en un vaso de precipitado de 250 mL y se añadió éter de petróleo hasta que se cubrió por completo las

muestras y se reposó por 10 minutos, finalizado el tiempo se vació el solvente y se dejó airear para que se evapore el solvente restante. Se abrió la tapa del equipo de digestión ANKOM A200 y fueron ubicadas las muestras. Para realizar la digestión ácida, se añadió 1800 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,255N, se cerró la tapa del del equipo y se realizó el digerido por 40 minutos, completado el tiempo se apagó el equipo y se realizó la fase de enjuague, este proceso fue con 1000 mL de agua caliente a 95 °C por 5 minutos, se repitió tres veces para eliminar todo residuo de la digestión acida; seguido, se realizó la digestión básica para lo cual se añadió 1800 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0,313N, el resto de proceso se realizó de forma análoga a la digestión ácida. Finalizado el proceso de digestión se colocó dentro de un vaso de precipitado de 250 mL, se cubrió con acetona remojando por 5 min a temperatura ambiente, después las muestras fueron airadas, colocadas en filtros y llevadas a una estufa a 102 °C durante cuatro horas, cumplido el tiempo se colocaron en el Kit desecador por 30 minutos para remover el aire, se enfrió por diez minutos en el desecador y fueron pesados los filtros que contenían las muestras y los crisoles a utilizar. Se realizó la calcinación de las muestras (ubicadas en crisoles) a 600 °C por dos horas, finalizada la calcinación fueron enfriadas en un desecador y pesadas para calcular la pérdida de materia orgánica de cada muestra (W3). Los análisis se hicieron por triplicado y los resultados se calcularon mediante la Ecuación (5).

$$\text{Fibra cruda (\%)} = \frac{(W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

Donde: W1: Peso del filtro; W2: Peso de la muestra; W3: Peso de la materia orgánica (pérdida de peso en la ignición del filtro y la fibra); C1: Factor de corrección de ceniza por el blanco (promedio de pérdida de peso de la ignición de la bolsa blanco/peso original del filtro).

Determinación del contenido de ceniza: Se colocaron crisoles de porcelana limpios en la estufa a 100 °C durante una hora para eliminar la humedad de éstos, seguido, los crisoles fueron puestos en un desecador para que enfríe por 10 minutos y se realizó el pesado (W1), se pesó 2g de muestra en cada crisol (W2), fueron ubicados en una mufla a 600 °C por cinco horas; finalizado el tiempo se sacó los crisoles que contenían la ceniza y fueron colocados en un desecador para que enfríe por 20 minutos, una vez fríos se realizó el pesado (W3). Los análisis se realizaron por triplicado y resultados se obtuvieron mediante la Ecuación (6).

$$\text{Ceniza (\%)} = \frac{(W3 - W1)}{W2} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Donde: W1: Peso del crisol; W2: Peso de la muestra; W3: Peso del crisol más ceniza.

Carbohidratos: Se determinaron por diferencia restando del 100% del porcentaje de humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza.

3.5.3. Influencia de la germinación en fenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH* y ABTS^{o+})

Preparación del extracto metanólico: Se pesó 1 g de muestra y se enrazó en un tubo de ensayo hasta 20 mL con metanol al 80%, la solución fue acidificada con ácido clorhídrico al 1%, se sometió a ultrasonido (sonicación) por 5 min a 30 MHz con ciclos de 0,5 segundos para extraer los componentes bioactivos en su totalidad y fue llevado a agitación 350 rpm por 2 horas, se dejó en reposo por 24 horas en ambiente oscuro, se realizó el centrifugado a 2500 rpm a 4 °C por 10 min y el extracto fue guardado en recipientes ámbar de tapa rosca en refrigeración (4 °C) hasta la lectura.

- **Fenoles totales**

Preparación de la curva estándar. Se preparó cinco concentraciones de ácido gálico (10, 25, 50, 75 y 100 µg/mL) a partir de 1000 µg/mL, se adicionó 100 µL de cada concentración en las en cubetas y una cubeta aparte con 100 µL de agua desionizada (blanco), 500 µL de solución fenol Folin-Ciocalteu 0,2N y se reposó por cinco minutos, para neutralizar la reacción se añadió 400 µL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 7,5% y se llevó a reposo por dos horas en temperatura ambiente, concluido el tiempo se llevó a leer las absorbancias en el espectrofotómetro UV/VIS a 740 nm, con los resultados de la concentración vs absorbancia se obtuvo la ecuación $y = 0,1108x - 0,0168$ y el coeficiente de correlación $R^2=0,9993$ (A-II).

Lectura de las muestras: Se partió del extracto metanólico 50 mg/mL de las muestras de lenteja, arveja y frijol de palo tanto semillas (LS, AS, FS) como germinados (LG, AG, FG), Se tomó cubetas y se añadió 100 µL del extracto de cada muestra, 500 µL de solución fenol Folin-Ciocalteu 0,2N y 400 µL de Na₂CO₃ al 7,5%, se incubó por 2 horas a temperatura ambiente y se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS a 740 nm. Las absorbancias obtenidas se llevaron a la ecuación anteriormente descrita para determinar la concentración de fenoles totales, las mismas que fueron expresados en mg EAG/100g de muestra en base seca.

▪ **Capacidad antioxidante**

Capacidad de inhibir el radical 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH).

Preparación de la curva estándar: A partir de una concentración 1000 μM de Stock de DPPH se tomó 0,039 g y se diluyó con 100 mL de etanol al 96%, se almacenó a 4 °C, finalmente se obtuvo una concentración de 100 μM , para la curva de calibración se obtuvo cinco concentraciones de 2,5; 6,25; 12,5; 25 y 37,5 $\mu\text{g/mL}$ de Trolox; en una cubeta se adicionó 25 μL de las concentraciones y 975 μL de radical DPPH y se utilizó alcohol como blanco, se realizó la lectura en un espectrofotómetro UV/VIS a 517 nm, las absorbancias obtenidas fueron restadas con la absorbancia control para obtener las absorbancias inhibidas y con estas últimas se realizó una gráfica (concentración vs absorbancia) para obtener la ecuación $y = 0,0201x - 0,0406$ y el coeficiente de correlación $R^2=0,9989$ (A-III).

Tratamiento de muestras: Se partió del extracto metanólico 50 mg/mL, se utilizó 25 μL de cada muestra lenteja, arveja y frijol de palo tanto en semillas como germinados a los que se adicionó 975 μL del radical DPPH, luego de 30 min de reacción se realizó la lectura a una longitud de onda de 517 nm, los resultados de absorbancia inhibida fueron llevadas a la curva estándar, la actividad antioxidante se expresó en trolox (mmol TE /100 g de muestra seca).

Capacidad para inhibir el radical ABTS 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).

Preparación de la curva estándar: El ABTS se comercializa en su forma estable por lo que se preparó catión radical para ello se mezcló la solución madre 0,039g (7 mM) de ABTS con 200 μL de persulfato de potasio 2,45 mM y se dejó la mezcla durante 16 horas hasta que se completó la reacción y se estabilizó, se tomó 1 mL de radical y se diluyó con 50 mL de alcohol al 96% y se obtuvo una concentración de 140 μM con absorbancia 0,7 ; para la curva de calibración se preparó cinco concentraciones Trolox 1; 2,5; 5; 10 y 15 μM ; se utilizó una cubeta con alcohol (blanco) y en las otras cubetas fue adicionado 10 μL de cada concentración preparada a la cual se añadió 990 μL de $\text{ABTS}^{\circ+}$, la lectura se realizó en el espectrofotómetro UV/VIS a 734 nm, con los resultados de concentración vs absorbancia inhibida se realizó una gráfica para determinar la ecuación $y = 0,0319x - 0,0397$ y el coeficiente de correlación $R^2=0,9999$ (A-IV).

Tratamiento de la muestra: Se partió del extracto metanólico 50mg/mL, utilizando 10 μL de cada muestra en estudio y fue adicionado 990 μL de $\text{ABTS}^{\circ+}$, se evaluó la capacidad de

las muestras para atrapar el radical ABTS, por medio de la absorbancia inhibida que se realizó la lectura luego de 30 min de reacción, a una longitud de onda de 734 nm. Los valores de absorbancia inhibida se llevaron a la curva de referencia construida con Trolox y los resultados se expresaron como valores (mmol TE /100g).

3.5.4. Determinación de macro y microelementos

Preparación de estándares: Se preparó dos multiestándar (macroelementos Ca, Na, K, Mg) y (microelementos Fe, Mn, Cu, Zn) (Tabla 8) con tres puntos de concentración S_1 , S_2 y S_3 para lo cual se calculó los volúmenes de patrón adicionado (V_1) mediante la ecuación (2). Los volúmenes fueron medidos con micropipetas de 1 000uL y 100uL. La solución patrón tuvo una concentración $C = 1\ 000$ mg/L de cada elemento; para cada solución se utilizó un tubo de ensayo, se adicionó la concentración calculada y se enrazó hasta un volumen $V_2 = 50$ mL con agua ultra pura.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (7)$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} \quad (8)$$

Donde: V_1 = Volumen de patrón (mL); C_2 = Concentración del patrón (mg/L)

Tabla 8. Cálculo de los multiestándar para macro y microelementos

	Elementos	S_1		S_2		S_3	
		C_2 (mg/L)	V_1 (mL)	C_2 (mg/L)	V_1 (mL)	C_2 (mg/L)	V_1 (mL)
Macroelementos	Ca	100	5	200	10	400	20
	Na	5	0,25	20	1	40	2
	K	10	0,5	200	10	380	19
	Mg	10	0,5	50	2,5	100	5
	Agua ultra pura		43,75		26,5		4
Microelementos	Fe	1	0,05	10	0,5	20	1
	Mn	1	0,05	5	0,25	10	0,5
	Cu	1	0,05	15	0,75	30	1,5
	Zn	1	0,05	5	48,25	5	0,25
	Agua ultra pura		49,8		48,25		46,75

Digestión: Se pesó 0,5 g de muestra y se colocó en un Erlenmeyer, se añadió 10 mL de solución ácido nítrico (HNO_3) y ácido perclórico ($HClO_4$) en relación 4:1 v/v, se

trasladó a una placa de calentamiento a una temperatura de 190°C/120 min hasta que la muestra este translúcida y desprenda humo blanco. La muestra digerida se dejó enfriar a temperatura ambiente por 30 min, luego se filtró con papel Whatman N°42 y se enrasó con agua desionizada en una fiola de 25 mL, el proceso fue descrito por Ordoñez et al. (2019) con algunas modificaciones.

Instrumentación: Se utilizó un espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), se programó en el software ICP – NEO los siguientes parámetros: elementos a analizar (calcio, sodio, potasio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc), longitud de onda, límites de detección, velocidad de la bomba 30 rpm, flujo del nebulizador 2 L/min, tipo de gas Argón 5,0 (99,99%) con un flujo de 12 L/min, energía del plasma 1 000, el tiempo de estabilización 15s. Las lecturas se iniciaron con la corrida del blanco (agua ultra pura); se leyeron los estándares Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn con sus respectivas concentraciones S1, S2 y S3 que permitió generar las curvas de calibración. Se ingresó las muestras de cada tratamiento considerando tres repeticiones, los resultados fueron emitidos en ppm o mg/L, para la expresión de los resultados en mg/100g se consideró el peso de muestra y volumen de enrase. Los parámetros de calibración se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de calibración del ICP-EOS

Elementos	Longitud de onda (nm)	Coefficiente de correlación (R ²)	Límite de detección (ug/L)	Rango de Linearidad (mg/L)
Ca	422,673	0,999564	1,3281	y=0,0008598x-1,508
Na	588,995	0,997286	1,4991	y=0,0006673x-4,538
K	766,49	0,999705	13,5000	y=0,175x-1,109
Mg	285,213	0,997427	0,14886	y=0,0003448x-0,825
Fe	284,327	0,99999	2,6988	y=0,0009223x-0,4294
Mn	279,482	0,99877	0,84278	y=0,0004328x-0,1377
Cu	324,754	0,99999	0,28664	y=0002123x-0,03507

Evaluación de las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las propiedades térmicas de gelatinización de lenteja, arveja y frijol de palo fueron medidas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Las muestras fueron acondicionadas utilizando un tamiz Tyler N°80 con apertura de malla 0,180 mm, se tomó 10

mg de cada muestra en crisoles de aluminio y fueron hidratadas con 30 mg de agua destilada en proporción 1:3 p/p para lograr un pico de gelatinización DSC simétrico. Los crisoles fueron cerrados herméticamente, se dejaron reposar durante 60 min a temperatura ambiente y fueron ubicados en el calorímetro. El equipo se calibró con Indio utilizando como referencia un crisol de aluminio (75 μ L) vacío y sellado, se realizó el calentamiento de 25 a 110 °C a una tasa de 2 °C/min y el enfriamiento de 110 a 30 °C a velocidad de 10 °C/min en flujo de nitrógeno inerte a 30 mL/min. Las transiciones térmicas de gelatinización se caracterizaron mediante la temperatura de inicio (T_o), temperatura máxima (T_p), temperatura final (T_f) y entalpía (ΔH_{gel}) método descrito por Xu et al. (2019).

3.6. Análisis estadístico

Los resultados de composición químico-proximal, bioactividad, minerales y propiedades térmicas fueron analizados mediante el diseño completo al azar (DCA) con el Software Statistical Analysis System (SAS) versión libre. La diferencia estadística se analizó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia ($p < 0,05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición químico-proximal

Humedad: En los alimentos, el agua se encuentra en dos formas: agua libre y agua ligada, el agua libre se libera con facilidad por evaporación o por secado en cambio el agua ligada está combinada o unida en alguna forma química a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y adsorbida en la superficie de las partículas coloidales; uno de los análisis frecuentes es el contenido de humedad lo cual sirve para evaluar la estabilidad de un producto (Fontana, 2004). Los resultados de humedad reportados en las muestras no germinadas como la lenteja fue 8,6% inferior a lo reportado por Fouad et al. (2015) 10,7%; en arveja fue 9,7% similar a lo descrito por Setia (2019) 10,9 % finalmente, en frijol de palo fue 10,5% superior a lo descrito por Rizvi et al. (2022) 8,2%; en general los valores reportados están dentro de lo estipulado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018) que menciona que la humedad en semillas debe estar entre 4 a 14% para evitar la germinación, ataque de hongos, insectos y otros factores que pueden reducir la vida en anaquel.

La humedad de las harinas de los germinados de lenteja fue 6,5%, arveja 8,5% y frijol de palo 5,9%, comparado a las no germinadas fue menor; este comportamiento pudo haber sido influenciado porque los germinados suelen perder más fácilmente el agua que los no germinados dado que sus componentes están disociados e inestables por la intensa actividad metabólica (Cornejo et al., 2019) además, las enzimas hidrolíticas favorecen la liberación de sólidos solubles totales, lo que puede llevar liberar el agua ligada de las células (Maetens et al., 2017).

Proteína: Las proteínas juegan un papel vital en el organismo humano, son necesarias para el crecimiento, el remplazo de tejidos desgastados o dañados, producen enzimas metabólicas y digestivas; como constituyente esencial de ciertas hormonas como tiroxina e insulina. Son el principal componente estructural de las células y los tejidos, constituyen la mayor porción de sustancia de los músculos y órganos (Bibi et al., 2007), se pueden obtener de diferentes fuentes alimenticias; de origen animal como carnes, leche huevos y de origen vegetal en las que resaltan las legumbres que contienen de 20 a 38% de contenido proteico (Setia 2019). Los resultados de proteínas se presentan en la Tabla 10 y según el análisis estadístico se muestra diferencia significativa (A-Va), mediante la comparación de medias el mayor porcentaje de proteína cruda fue para lenteja germinada 30,0% resultado inferior a lo reportado por Xu et al 2019 con 33,60%. Las lentejas, suelen tener el más alto contenido proteico y bajo en carbohidratos en comparación con otras legumbres comunes (Khazaei et al.,2017), se

recomienda su consumo ya que es útil para reducir problemas de salud, como hipertensión, enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus y cáncer (Patterson et al., 2017). Por otro lado, en las muestras no germinadas de lenteja fue 26,5% superior a lo reportado por Ghumman et al. (2016) quienes en un estudio a tres variedades lenteja determinaron valores entre 24,34 a 25,4% con una media de 24,8%; en arveja 21,5% resultado ligeramente inferior a lo evidenciado por Millar et al. (2019) y Setia. (2019) en arveja no germinada reportaron 22,8% y 22,7% respectivamente, finalmente en frijol de palo fue 21,6% este resultado se encuentra en el rango reportado por Rizvi et al. (2022) y Gujral et al. (2011) quienes obtuvieron 19,5% y 22,7% de proteína bruta.

La germinación reflejó un incremento en el contenido de proteínas, en lenteja fue 13,2% ligeramente superior a lo evidenciado Fouad et al. (2015) 12,6% en lenteja; arveja fue 8,3% y según Setia (2019) en arveja reportó 6,1% y en frijol de palo fue 5,6 % resultado inferior a lo descrito por Gujral et al. (2011) 10,9%. Dávila et al. (2003) refieren que durante la germinación se producen diferentes cambios en la distribución de metabolitos secundarios, movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones. Los incrementos pueden atribuirse a la síntesis de constituyentes celulares y enzimas, que conducen a la degradación de las proteínas de estructuras superiores a péptidos simples (Gujral et al., 2011) además, autores como Ghumman et al. (2019), Jan et al. (2017), Ongol et al. (2013) y Sindhu et al. (2019) mencionan que la proteína aumenta con la pérdida de peso seco, particularmente de carbohidratos a través de la respiración durante la germinación.

Tabla 10. Composición proximal de no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo (% materia seca)

Parámetro	No germinados (%)			Germinados (%)		
	LS	AS	FS	LG	AG	FG
Proteína	26,5±0,1 ^b	21,5±0,3 ^f	21,6±0,1 ^e	30,0±0,6 ^a	22,7±0,1 ^d	23,4±0,0 ^c
Grasa	0,77±0,1 ^{cd}	0,74±0,0 ^d	0,81±0,1 ^b	1,27±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	0,79±0,1 ^{cb}
Fibra	3,8±0,2 ^f	5,1±0,1 ^d	7,0±0,1 ^c	4,3±0,1 ^e	7,1±0,1 ^b	8,1±0,2 ^a
Ceniza	3,4±0,2 ^c	3,0±0,1 ^d	4,9±0,1 ^b	3,4±0,2 ^c	3,4±0,2 ^c	5,3±0,2 ^a
Carbohidrato	56,8	59,9	55,2	54,3	56,9	54,3

Los valores representan (Promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), Valores de una misma fila con superíndices diferentes son significativamente diferentes (p<0,05)

Grasa: Una de las ventajas del consumo de legumbres es su bajo contenido de grasa por ello su aporte calórico es bajo, en su mayoría están entre 0,3-3,5% que a su vez el

60% está compuesto ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico, linolénico) que aportan beneficios para la salud, por lo que son considerados alimentos saludables bajos en grasa y exentas de colesterol (Gruzak, 2009). Los resultados de grasa son presentados en la Tabla 10 y muestran diferencia estadística significativa (A-Vb), realizando la comparación de las medias el mayor valor fue para la arveja y lenteja germinada con 1,29% y 1,27% respectivamente; estos resultados concuerdan con lo estudiado Xu et al. (2019) y Dueñas et al. (2016) quienes reportaron valores de 1,4% en arveja germinada y 1,1% en lenteja germinada; esta coincidencia puede deberse a que tanto la arveja como la lenteja comparten similar taxonomía (Cedano, 2006). Con respecto a lenteja no germinada fue 0,77% ligeramente inferior a lo reportado por Dhull et al. (2022) 1,06%; en arveja no germinada 0,74% y según Millar et al. (2019) evidenciaron 1,40%; en frijol de palo fue 0,81% similar a lo descrito por Piñero et al. (2013) en semilla de frijol de palo 0,91%

La germinación incrementó el contenido de grasa en la lenteja en 64,9% incremento superior a lo reportado por Dueñas et al. (2016) 37,5% y en arveja 74,3% para Setia (2019) fue 41,7%. Para el frijol de palo la germinación provocó una ligera disminución del contenido de grasa en 2,5%, resultado que concuerda con Piñero et al. (2013) en frijol de palo germinado disminuyó en 1,12%. Los incrementos en el contenido de grasa de lenteja y arveja pueden atribuirse al aumento en los valores de energía en las semillas durante la germinación debido a que la grasa contiene aproximadamente el doble de los valores de energía que las proteínas y carbohidratos (Torres et al., 2018). Para el caso del frijol de palo la reducción parcial del contenido graso pudo deberse a que demoró más tiempo en germinar por lo que aumentó la actividad de las enzimas lipídicas lo que se tradujo en la hidrólisis de las grasas en ácidos grasos y glicerol (Uvere y Orji, 2002). Los lípidos crudos residen principalmente en el germen de las semillas, que se hidroliza principalmente a ácidos grasos libres (FFA) por las enzimas producidas durante la germinación. Estos FFA se someten a β -oxidación en el citosol y las mitocondrias para producir la energía necesaria para apoyar el crecimiento de las semillas (Cornejo et al., 2015).

Fibra: La fibra es la parte del material vegetal en la dieta que es resistente a la digestión enzimática que incluye celulosa, polisacáridos no celulósicos como la hemicelulosa, sustancias pécticas, gomas, mucílagos y un componente de lignina que no es un carbohidrato (Hamad., 2021 y Devinder et al., 2012); en alimentos de origen vegetal se ha reportado un amplio rango en el contenido de fibra con valores que van desde 2,9 a 26,9% (Joshi et al., 2019). Los resultados de fibra presentados en la Tabla 10 mostraron diferencia estadística significativa

(A-Vc) según la comparación de Tukey el mayor valor fue para el frijol de palo germinado 8,1% resultado ligeramente superior a lo descrito por Rizvi et al. (2022) 6,13%; cabe indicar que el frijol de palo posee un órgano de protección (cáscara) más gruesa comparado con la lenteja y arveja (Castillo-Gómez et al., 2016). La germinación provocó un incremento en el contenido de fibra, en arveja un 39,2% valor superior a lo evidenciado por Setia (2019) en arveja germinada 11,9%; el frijol de palo tuvo un incremento de 15,7% ligeramente inferior a lo reportado por Gujral et al. (2011) 18,8% y en lenteja fue 13,1% inferior a lo descrito por Fouad et al. (2015) 17,0%. Los incrementos en el contenido de fibra pueden atribuirse al aumento de la glucosa celulósica debido a las reacciones metabólicas que ocurren durante la germinación (Dueñas et al., 2016); otra razón a tener en cuenta es el aumento de la actividad de la alfa-galactosidasa durante la germinación, lo que conduce a una disminución del contenido de oligosacáridos, lo cual aumenta la fibra total (Setia, 2019).

De la misma tabla podemos indicar que la lenteja no germinada tuvo 3,8% resultado ligeramente superior a lo reportado por Gujral et al. (2011) 2,6%; en arveja fue 5,1% y Millar (2019) evidenció 9,7% y en frijol de palo frijol de palo fue 7,0% superior a lo descrito por Rizvi et al. (2022) 4,8%. Se sugiere que los adultos sanos consuman entre 20 y 35 g de fibra dietética al día por lo que, las legumbres podrían ser una alternativa (Repo-Carrasco et al., 2009). Se ha estudiado que la fibra es beneficioso en la dieta para personas con diabetes dado que ayuda a mantener el control glucémico, ayuda a bajar los niveles de colesterol y problemas de estreñimiento (Devinder et al., 2012).

Ceniza: La ceniza en los alimentos está constituida por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha incinerado; está cargada de minerales como Calcio, Magnesio, Sodio y otros residuos en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros (Márquez, 2014). Los resultados de ceniza presentados en la Tabla 10 mostraron diferencia significativa (A-Vd) y según la comparación de medias el mayor valor fue para frijol de palo germinado 5,3% resultado muy similar a lo evidenciado por Piñero et al. (2013) 4,8%; este resultado se correlaciona con el contenido de fibra que también fue superior en el frijol de palo germinado, lo que indica un mayor contenido de material no digerible respecto a la lenteja y arveja. La germinación influyó en el contenido de ceniza, para la arveja fue 13,3% resultado superior a lo reportado por Xu et al. (2019) 3,8%; en frijol de palo 8,0% ligeramente superior a lo citado por Rizvi et al. (2022) 6,3%; sin embargo, la lenteja no presentó ningún cambio por efecto de la germinación, resultado que coincide con el estudio realizado por Gujral et al. (2011) con valores de 3,2% en no germinados y germinados.

Los resultados en los no germinados en lenteja fue 3,4% superior a lo reportado por Fouad et al. (2015) 2,8%; en arveja 3% similar a lo descrito por Millar (2019) 3,5% y en frijol de palo 4,9% superior a lo que indica Torres et al. (2018) 3,7%.

Carbohidratos: Los resultados presentados en la Tabla 10 indican en las muestras sin germinar para lenteja 56,8% similar a lo descrito por Zia et al. (2011) quienes en cuatro cultivares de lenteja obtuvieron 55%; en arveja fue 59,9% superior a lo evidenciado por Zia et al. (2013) 53,7% en cuatro cultivares de arveja y en frijol de palo 55,2% al respecto, Patience. y Okongwu (2006) en el estudio de tres cultivares de frijol de palo reportaron 58,4%.

Los carbohidratos de los germinados mostraron una disminución respecto a los no germinados en lenteja fue 4,4% en cambio, Atudorei et al. (2021) solo tuvo una disminución de 1%; la arveja disminuyó 5% pero Xu et al. (2019) al sexto día de germinación reportó 2,9%, finalmente el frijol de palo disminuyó 1,6%, Piñero et al. (2013) reportaron una disminución de 6,5% en el cuarto día de germinación. La reducción en el contenido de carbohidratos con la germinación puede atribuirse a la actividad de las amilasas que aumenta durante este proceso, lo que genera una degradación del almidón (Baudoin & Maquet, 1999) además, puede deberse a que los carbohidratos son usados como sustrato, lo que lleva a un aumento en los niveles de proteína y fibra (Ferreira et al., 2019), también es importante mencionar que durante el período de germinación, los carbohidratos se solubilizaron para apoyar el desarrollo de los gérmenes (Bueno et al., 2019).

4.2. Influencia de la germinación sobre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante para inhibir los radicales libres (DPPH* Y ABTS^{o+})

Fenoles totales: Los fenoles juegan un papel preponderante en los procesos metabólicos y fisiológicos, inhiben la producción de radicales libres formados por la rotura de moléculas biológicas como lípidos, proteínas y aminoácidos; actúan en el organismo humano como antiarterogénicos, antiinflamatorios, antimutagénicos y agentes antimicrobianos (Borges-Martínez et al., 2022).

Los resultados de fenoles totales presentados en la Tabla 11 muestran diferencia estadística significativa (A-VIa), realizando la comparación de las medias el mayor contenido fue para la lenteja germinada $847,3 \pm 3,8$ mg EAG/100g, resultado similar fue reportado por Umar et al. (2022) $893 \pm 0,05$ mg EAG/100g en lenteja germinada, esta tendencia podría estar relacionada de forma directa con el contenido de fierro, dado que este mineral fue superior en la lenteja, tanto en el germinado como en la semilla comparado con la arveja y frijol de palo

(Tabla 1) Zhang et al. (2014) mencionan que la reacción entre iones de hierro y polifenoles puede formar nanopartículas complejas con tamaños que van desde 50 a 80 nm, por lo que es probable que la germinación las disocie y se logren cuantificar de forma independiente. En cambio, con la energía de gelatinización la relación es inversa, ya que a menor entalpía el contenido fenólico es mayor tal como se evidencia en la Tabla 2, en ese sentido Singh et al. (2016) refieren que la germinación disminuye la estabilidad estructural y hace que el gránulo sea menos resistente a la energía gelatinización esto hace suponer que influye en la liberación de fenoles totales.

Tabla 11. Fenoles totales, DPPH y ABTS en semillas no germinadas y germinadas de lenteja, arveja y frijol de palo.

Muestra	Fenoles totales (mg EAG/100g)	Capacidad de Inhibición al radical DPPH (mmol ET/100g)	Capacidad de Inhibición al radical ABTS (mmol ET/100g)
LS	506,0±1,7 ^b	2,54±0,1 ^b	6,70±0,06 ^b
LG	847,3±3,8 ^a (+67,5)	2,90±0,1 ^a (+14,2)	7,10±0,05 ^a (+5,9%)
AS	103,3±0,7 ^c	2,25±0,2 ^d	3,73±0,06 ^e
AG	404,3±3,7 ^c (+291,4)	2,53±0,6 ^b (+12,4)	5,50±0,05 ^c (+47,4%)
FS	189,7±0,7 ^d	1,86±0,1 ^c	3,38±0,04 ^f
FG	502,7±1,4 ^b (+165,0)	2,39±0,3 ^c (+28,5)	5,15±0,09 ^d (+52,4%)

Los valores representan (Promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), Valores de una misma columna con superíndices diferentes son significativamente diferentes (p<0,05). (+/-) = % incremento /descenso

El contenido de fenoles totales en las semillas de lenteja fué 506,0mg EAG/100g valor que está en el rango reportado por Zhang et al. (2014) quienes en un estudio a cuatro cultivares de lenteja reportaron valores que van desde 426 mg EAG/100g a 780mg EAG/100g con un valor promedio de 589 mg EAG/100g siendo la muestra que arrojó mayor resultado Bellani et al. (2019) mencionan que, las lentejas tienen el contenido fenólico total más alto en comparación con otras legumbres comunes; en semilla de arveja el contenido de fenoles totales fueron 103,3mg EAG/100g al respecto, Devi et al. (2019) estudiaron veintidós (22) variedades de semillas de arveja reportando valores de fenoles totales desde 12,63mg EAG/100g a 128,63mg EAG/100g con una media de 33,70mg EAG/100g y para la semilla de frijol de palo el valor de fenoles totales fue 189,7mg EAG/100g resultado que está en el intervalo de lo estudiado por Chugh & Ritu. (2017) quienes en un estudio a doce (12) genotipos de frijol de palo reportaron valores de fenoles totales comprendidos en un rango de 38mg EAG/100g a

290,2mg EAG/100g con un promedio de 165,2mg EAG/100g. La cantidad de fenoles totales en semillas de leguminosas puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, como lugar de muestreo, fecha de cosecha, composición fitoquímica, técnicas y condiciones de extracción, entre otros (Pérez-Pérez et al., 2018)

El proceso de germinación influyó de manera positiva en el contenido de fenoles totales de las leguminosas estudiadas (Tabla 11), las tres muestras arrojaron diferentes incrementos porcentuales, siendo en lenteja 67,5%, superior a lo reportado por Saleh et al., (2017) quienes reportaron 40,8% en lenteja germinada; los fenoles en frijol de palo germinado se incrementaron en 165% comportamiento similar, fue citado por Benavides et al. (2017) 163,7% en frijol de palo germinado; en arveja el incremento fue muy superior a la lenteja y frijol de palo con 291,4% valor cercano a lo evidenciado por Tarasevičienė et al. (2019) en germinado de arveja 267,6%, el mayor incremento de los fenoles totales en arveja germinada respecto a la lenteja y frijol de palo se puede fundamentar en que la arveja posee mayor cantidad de fenoles ligados a otros compuestos dado que, en las legumbres los compuestos fenólicos se encuentran 70 al 90 % unidos a celulosa, hemicelulosa, pectinas, mediante enlaces éster (Gan et al., 2017), por lo que en la semilla de arveja es relativamente bajo, pero con el proceso de germinación éstos aumentaron como consecuencia de la actividad de la enzima hidrolítica, debido a la ruptura de la pared celular lo que contribuye a la liberación de compuestos fenólicos ligados (Brajdes & Vizireanu., 2012; Nkhata et al., 2018), cabe precisar que, durante la germinación se produce la biosíntesis de compuestos fenólicos, esto se lleva a cabo principalmente por acción de la enzima fenilalanina amoniaco liasa (PAL) que es activada y promueve la biosíntesis de compuestos fenólicos (Salas-López et al., 2018 y Duodu, 2014) de los compuestos fenólicos que mayor incremento tienen durante la germinación son la pinocembrina, hesperetina, floridzina, pratenseina, rutina, kaempferol (Xu et al., 2019 y Gunenc et al., 2017).

Es necesario destacar que todos los germinados presentaron un incremento en el contenido de fenoles totales respecto a las semillas de las leguminosas estudiadas, esto podría atribuirse a la actividad enzimática que se realiza en la semilla durante el proceso de germinado dado que los fenoles generalmente están unidos a los componentes celulares (carbohidratos, pectina, lignina y proteínas) los mismos que durante la germinación son liberados y puestos a disposición para el crecimiento y protección de la nueva planta (Nyau et al., 2017).

Capacidad de inhibir el radical 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH*)

Los radicales libres se generan durante la germinación de las semillas debido a la presencia de humedad adicional, temperatura y otras condiciones de estrés; la elevada concentración de radicales libres, incita a la formación de antioxidantes como respuesta defensiva de las plantas ante el aumento del estrés oxidativo (Gunenc et al., 2017). Los resultados de capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH presentados en la Tabla 11, mostraron diferencia estadística significativa (A-VIb) y según la comparación de medias la lenteja germinada presentó mayor capacidad para inhibir al radical DPPH 2,90 mmol ET/100g de muestra, el resultado fue inferior a lo reportado por Aguilera et al. (2015) quien al quinto día de germinación de lenteja obtuvo 5,04 mmol TE/100g. Similar efecto sucedió con relación a los fenoles totales; según Khang et al. (2016) la actividad antioxidante está estrechamente relacionada con el contenido fenólico, esto puede explicar por qué la lenteja tuvo mayor actividad antioxidante que las otras leguminosas estudiadas.

Las semillas de las muestras estudiadas mostraron diferente capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH, la lenteja 2,54 mmol ET/100 g en tanto Xu y Chang (2007) reportaron 1,96 mmol ET/100 g; en semilla de arveja fue 2,25 mmol ET/100 g ligeramente inferior a lo evidenciado por Amarowicz et al. (2004) 3,0 mmol TE/ 100 g y semilla de frijol de palo 1,86 mmol ET/100 g superior a lo reportado por Sinan et al. (2021) 1,24 mmol TE/ 100 g. Es necesario precisar que las muestras estudiadas presentaron diferentes colores siendo la lenteja de color marrón claro, la arveja color amarillo y el frijol de palo de color gris, esto posiblemente guarda relación con lo argumentado por Singh et al. (2016) y Domínguez-Arispuro, et al. (2017) quienes mencionan que las semillas de legumbres con cubierta colorida poseen niveles más altos de actividad antioxidante, haciéndolas más atractivas como alimentos funcionales.

La capacidad de inhibir al radical DPPH de los germinados con respecto a los no germinados presentó en general un incremento, siendo mayor en el frijol de palo con 28,5%, al respecto James et al. (2020) reportó en frijol de palo germinado un incremento de 24,86%. esto se puede sustentar según lo expuesto por Drouet et al. (2021) quienes mencionan que el frijol de palo posee una rica fuente de antioxidantes especialmente, cajanina, cajanol, daidzeína y genisteína, a la vez es indispensable considerar que frijol de palo tardó en germinar más que las otras semillas, según Sharma et al. (2018) el tiempo de germinación también tiene un efecto positivo sobre la inhibición del radical DPPH. La lenteja germinada presentó un incremento de 14,2%, Fouad et al. (2015) encontró valor similar de 13,04% en lenteja germinada y el menor incremento fue para la arveja germinada con 12,4% más que la no germinada, incremento que

fue superior a lo reportado por López- Amorós et al. (2007) en arveja germinada 7,5%. La actividad antioxidante está posiblemente relacionada con la germinación porque, en esta etapa suceden diversos cambios metabólicos especialmente con el aumento de la actividad de las enzimas hidrolíticas endógenas las mismas que, modifican el endospermo y puede liberar algunos componentes ligados que juegan un papel indispensable en la protección de la nueva planta. Este aumento también puede deberse a la síntesis de vitamina C, tocoferoles y acumulación de melatonina (Fouad et al., 2015; Aguilera et al., 2015).

Capacidad de inhibir radical libre 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS^{o+})

El ABTS permite medir la actividad antioxidante teniendo en cuenta los compuestos de naturaleza hidrofílica y/o lipofílica de la muestra (Wojdylo et al., 2007); por el contrario, el radical DPPH solo puede medir la actividad antioxidante de los compuestos hidrofílicos (Surveswaran et al., 2007). Según los resultados la capacidad antioxidante para inhibir el radical ABTS (Tabla 11), presentó diferencia estadística altamente significativa (A-VIc) y según la comparación de medias mediante Tukey fue mayor en lenteja germinada con 7,10 mmol TE/ 100 g, resultado superior a lo reportado por Wojdyło et al. (2020) quienes en lenteja germinada cuantificaron 2,0 mmol TE/100 g. El resultado guarda concordancia con los fenoles totales y actividad antioxidante para inhibir el radical DPPH que también fue superior en lenteja germinada. En un estudio realizado por Valentova et al. (2003) al evaluar el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en muestras vegetales, concluyó que la actividad antioxidante obtenida por el método DPPH y ABTS está correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos totales; Oghbaei & Prakash (2016) mencionan que la germinación mejora la funcionalidad de las semillas debido a que aumentan los compuestos bioactivos y según Torres et al. (2018), el proceso de germinación en oscuridad puede aumentar hasta un 64% la actividad inhibidora de radicales de las leguminosas.

Haciendo la comparación entre los dos métodos para inhibir radicales libres en las semillas estudiadas, la capacidad antioxidante para inhibir el radical ABTS fue superior al DPPH presentando los siguientes incrementos; en lenteja fue 2,6 veces mayor, dato superior a lo reportado por Umar et al. (2022) en semilla de lenteja 1,8 veces. En arveja 1,7 veces mayor; resultado parecido a lo evidenciado por Liu et al. (2016) quienes en arveja no germinada reportaron 1,6 veces superior y en frijol de palo fue 1,8 veces superior, reporte igual a lo estudiado por Sinan et al. (2021) 1,8 veces mayor. Estas diferencias pueden deberse a que las

condiciones de reacción y cinética del radical DPPH y ABTS son diferentes (Wootton-Beard et al., 2011)

La germinación incrementó la capacidad de inhibición sobre el radical ABTS siendo mayor en frijol de palo (52,4%), el resultado fue superior a lo evidenciado por Ariviani et al. (2020) quienes en 72 horas de germinación reportaron un incremento de 29,7%; la misma tendencia se presentó en el radical DPPH lo que confirma que el frijol de palo posee mayor capacidad antioxidante que los germinados de lenteja y arveja; esto puede deberse a que el frijol de palo es un cultivo de naturaleza perenne, cultivado en medios semiáridos por ser resistente a la sequía y otros agente externos por lo que se adapta perfectamente a suelos pobres gracias a su complejo sistema radicular (Castillo-Gómez et al., 2016) además, es necesario mencionar que el requerimiento de fertilizantes en todas las etapas de crecimiento es mínimo, debido a que desarrolla raíz vertical lo que le permite extraer agua y nutrientes de los horizontes inferiores del suelo, características que lo diferencian de las otras leguminosas estudiadas (lenteja y arveja) que pueden ser responsables de conferir un alto poder antioxidante durante la germinación y crecimiento. La arveja tuvo un incremento de 47,4%, dato muy cercano a lo estudiado por Koo et al. (2015) quienes obtuvieron un incremento promedio de 49,7% al evaluar cinco variedades de arveja con tres condiciones de temperatura. Finalmente, la lenteja también presentó el mismo comportamiento con un incremento de 5,9%, similar a lo reportado por Saleh et al. (2017) 5,11%.

4.3. Macro y microelementos

Calcio: Los resultados de calcio presentados en la Tabla 12 muestran diferencia estadística significativa (A-VIIa), realizando la comparación de las medias podemos indicar que el mayor contenido de calcio fue para el germinado de frijol de palo $149,67 \pm 1,44 \text{ mg}/100\text{g}^{-1}$ y el menor correspondió a la semilla de lenteja $72,16 \pm 1,18 \text{ mg}/100\text{g}^{-1}$. Este resultado fue similar con el reporte de Chaparro et al. (2011) en frijol de palo germinado $159,81 \text{ mg}/100\text{g}^{-1}$, por otro lado, el calcio en la lenteja germinada fue mayor comparado a lo reportado por Ramírez et al. (2018) $45 \text{ mg}/100\text{g}^{-1}$, la variación encontrada puede deberse a la zona de cultivo y a las condiciones de germinación. En la misma tabla se puede observar que los germinados de lenteja, arveja y frijol de palo tuvieron un incremento de este elemento que varió entre 20,2% a 58,2%. Con respecto al frijol de palo Owuamanam et al. (2014) reportó un incremento de 24% y Martínez (2019) tuvo un incremento de 28,3% en lenteja. Esta variación posiblemente se debe a la interacción del calcio y la transducción de la citoquinina que conducen a la división celular que posteriormente el calcio es utilizado por la planta para su nutrición y crecimiento Remage

et al. (2002). Es importante resaltar que el calcio sirve tanto para el desarrollo y vitalidad de los huesos, además realiza funciones biológicas en la actividad cardiovascular unido a la vitamina D (Michos et al., 2021).

Sodio: El sodio en el organismo humano es fundamental para diversas funciones fisiológicas, el mantenimiento de los líquidos extracelulares, la circulación sanguínea, la actividad neuronal, así como para la función reproductora (Argüelles et al., 2018). Según los resultados presentados en la Tabla 12, este presentó diferencia estadística significativa (A-VIIb), mediante la comparación de Tukey la mayor concentración fue para la arveja germinada ($39,10 \pm 2,32 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$), siendo superior a lo reportado por Le et al. (2022) $14,00 \pm 0,0 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$; la arveja sin germinar tuvo una cantidad muy inferior $15,82 \pm 1,67 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$, con respecto esta se concuerda con Álvarez (2016) quien reportó $14,14 \pm 0,0 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ en semilla. En la semilla de frijol de palo se encontró $16,60 \pm 1,29 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ y en germinado $21,38 \pm 0,13 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ este resultado fue muy similar a lo reportado por Owuamanam et al. (2014) en semilla de frijol de palo tuvo $15,00 \pm 0,0 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ y en germinado $27,00 \pm 0,0 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$. En los germinados de lenteja, arveja y frijol de palo sucedió un incremento en el contenido de este mineral entre 28,8% a 147,2% la variación puede obedecer a que, durante la germinación, el sodio mantiene el potencial osmótico dentro de la célula, el debilitamiento del endospermo y la expansión del cotiledón (Lastiri et al., 2017).

Potasio: El potasio tiene importantes funciones en el organismo humano: participa en el equilibrio de líquidos, transmisión nerviosa, contracción muscular, mantenimiento de la presión arterial y eliminación de residuos (Gharibzahedi & Jafari., 2017). Según la Organización Mundial de la Salud (2012) la ingesta diaria recomendada de potasio es de 3 510 mg. De los resultados mostrados en la Tabla 12, se puede apreciar que existe diferencia estadística altamente significativa (A-VIIc) y según Tukey la mayor cantidad fueron para arveja germinada $1748,6 \pm 21,4 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ y frijol de palo germinado $1731,2 \pm 78,9 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ para este último en semilla no germinado tuvo $1129,9 \pm 68,66 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ teniendo un incremento de 58,3% en el germinado, este comportamiento fue diferente a lo reportado por Torres et al. (2007) quien en semilla de frijol de palo tuvo $1290,00 \pm 41,0 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ y en germinado $1245,00 \pm 2,980 \text{mg}/100\text{g}^{-1}$ con una ligera disminución de -3,5%; la diferencia podría ser afectado por el proceso de germinación ya que el potasio es un macro nutriente esencial requerido en grandes cantidades para el crecimiento y desarrollo de los cultivos; las plantas lo usan para la regulación osmótica, la formación de almidones, activación enzimática, síntesis de proteínas, movimiento de estomas y el balance de cargas iónicas (Hasanuzzaman et al., 2018).

Relación sodio/potasio. Los resultados de la relación Na/K del estudio se presentan en la Tabla 12, se evidencian valores muy favorables que van desde 0,012 a 0,023. La relación Na/K < 1,0 permite tener un efecto protector en la reducción del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y de mortalidad; individuos que presentan Na/K > 1,0 generalmente consumen más condimentos y menos legumbres, productos lácteos y frutas (Yang, 2011; Bisi, 2018).

Magnesio: Es importante mencionar que el magnesio en el ser humano es necesario para la formación de proteínas, contracción muscular, regulación del sistema inmunitario y transmisión nerviosa, ayuda a evitar el estreñimiento (Gharibzahedi & Jafari., 2017). De los resultados presentados en la Tabla 12, se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa (A-VIIId); los valores en no germinados de lenteja, arveja y frijol de palo presentaron un rango entre $115,5 \pm 0,2 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ a $134,5 \pm 2,6 \pm 0,2 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ estos resultados se asemejan a los reportados por Sangronis & Machado (2007) en semilla de frijol de palo fue $131,2 \pm 6,2 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ y Torres et al. (2007) $110,49 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$. para las semillas no germinadas de lentejas $180,0 \pm 55,68 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ Martínez et al. (2019) y $92,2 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ Ramírez et al. (2018).

Las leguminosas estudiadas tuvieron un incremento 9,3% en lenteja, 5,9% arveja y 3,1% en frijol de palo, estas variaciones pueden deberse a que durante la germinación el magnesio comienza a activarse ya que funciona como el átomo central de la molécula de clorofila en el complejo absorbente de luz de los cloroplastos contribuye a la fijación fotosintética de dióxido de carbono (Senbayram et al., 2015; Guo 2017). Así mismo, las plantas poseen fitato que está cargado negativamente y está presente como un globoide en las vacuolas de las proteínas donde se une fuertemente a minerales como el magnesio y otros elementos catiónicos (Ohanenye et al., 2020), esto puede implicar en la liberación de este mineral durante la germinación.

Hierro: Los resultados de hierro en germinados de lenteja, arveja y frijol de palo muestran diferencia estadística significativa (A-VIIIa) y son presentados en la Tabla 12 con valores que están entre $9,96 \pm 0,32 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ (frijol de palo) a $11,07 \pm 1,41 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ (lenteja), con respecto al primero el valor obtenido fue superior a lo citado por Chaparro et al. (2011) en frijol de palo germinado $5,06 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ y con respecto al segundo Sandberg (2002) $7,55 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$. En cuanto al incremento porcentual de los germinados fue 0,4% para la lenteja;

10,9% en arveja y 57,34% en frijol de palo, respecto a las tres muestras estudiadas existen diferencias, para Le et al. (2022) fue 21,3% en lenteja germinada, Santos et al. (2014) 0,7% en arveja germinada y Sangronis & Machado. (2007) 51,7% en frijol de palo germinado. Estas diferencias pueden obedecer a que, en las plantas, el hierro participa en la síntesis de la clorofila, y es esencial para el mantenimiento estructura y función del cloroplasto (Rout y Sahoo 2015).

Tabla 12. Resultados de macro y microelementos en leguminosas no germinadas y germinadas (mg/100g de materia seca)

	Macroelementos				Microelementos		
	Ca	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu
LS	72,16±1,2 ^c	14,23±0,2 ^c	1128,4±39,2 ^b	115,5±0,2 ^c	11,02±1 ^a	2,66±0,1 ^{ab}	0,86±0,1 ^b
AS	85,60±1,2 ^d	15,82±1,7 ^c	1104,5±10,8 ^b	134,5±2,6 ^{ab}	9,07±1 ^{ab}	2,47±0,1 ^{ab}	0,62±0,0 ^c
FS	94,61±2,3 ^c	16,60±1,3 ^c	1129,9±68,6 ^b	115,7±3,5 ^c	6,33±0,3 ^b	2,17±0,2 ^b	1,03±0,1 ^a
LG	86,77±1,6 ^d	27,33±3,7 ^b	1198,2±28,7 ^b	126,3±4,5 ^{abc}	11,07±1 ^a	2,94±0,1 ^a	0,83±0,1 ^b
	(+20,3)	(+92,1)	(+6,2)	(+9,3)	(+0,4)	(+10,5)	(-3,5)
AG	116,83±1 ^b	39,10±2,1 ^a	1748,6±21,4 ^a	142,4±4,3 ^a	10,06±1 ^{ab}	2,64±0,1 ^{ab}	0,75±0,3 ^b
	(+36,5)	(+147,2)	(+58,3)	(+5,9)	(+10,9)	(+6,9)	(+20,9)
FG	149,67±1 ^a	21,38±0,1 ^{bc}	1731,2±78,9 ^a	119,3±4,2 ^{bc}	9,96±0 ^{ab}	2,81±0,1 ^a	1,0+8±0,2 ^a
	(+58,2)	(+28,8)	(+53,2)	(+3,1)	(+57,3)	(+29,5)	(4,8)

Na/K La relación Na/K está entre 0,012 a 0,023

Los valores representan (Promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), Valores de una misma fila con superíndices diferentes son significativamente diferentes (p<0,05). (+/-) = % incremento /descenso

En la Tabla 12 con respecto a los microelementos, el hierro resaltó sobre el manganeso y cobre tanto en semillas como en germinados, como se sabe las leguminosas son una fuente importante de hierro, por lo que se recomienda su consumo ya que en nuestro organismo este mineral circula ligado a proteínas específicas y sirve principalmente para sintetizar hemoglobina para nuevos glóbulos rojos y se considera fundamental para corregir estados de anemia (Briguglio et al., 2020).

Manganeso: El manganeso es esencial para la formación de los huesos, para la formación de aminoácidos, lípidos, proteínas, metabolismo de los carbohidratos, para el funcionamiento normal del sistema inmune, la regulación de la sangre, reproducción, digestión y para los mecanismos de defensa contra radicales libres (Sousa et al., 2019). De los resultados mostrados en la Tabla 12 se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa (A-VIIIb) y según Tukey la mayor cantidad fue para los germinados de lenteja 2,94±0,15 mg/100g

y frijol de palo $2,81 \pm 0,04 \text{ mg}/100\text{g}$, respecto al resultado de la lenteja germinada fue superior comparado con el reporte Ramírez et al. (2018) $1,3 \text{ mg}/100\text{g}$ y Le et al. (2022) $1,07 \text{ mg}/100\text{g}$. La variación de la cantidad de manganeso encontrada puede deberse a que este mineral es un cofactor esencial para el complejo generador de oxígeno (OEC) de la maquinaria fotosintética, que cataliza la reacción de división del agua en el fotosistema (Alejandro et al., 2020).

Cobre: Los resultados de cobre presentados en la Tabla 12 presentan diferencia estadística significativa (A-VIIIc), mediante la comparación de Tukey el mayor contenido fue para frijol de palo germinado $1,08 \text{ mg}/100\text{g}$ y en la semilla $1,03 \pm 0,03 \text{ mg}/100\text{g}$, el contenido de este mineral fue similar a lo reportado por Sangronis & Machado. (2007) en frijol de palo germinado $0,9 \text{ mg}/100\text{g}$ y en semilla no germinada $0,9 \text{ mg}/100\text{g}$. La variación en el contenido de cobre puede deberse a que es un microelemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, juega un papel importante en la formación de lignina en la pared celular (Pietrini et al., 2019). El contenido de **cobre** en semilla no germinada de lenteja fue $0,86 \pm 0,03 \text{ mg}/100\text{g}$ resultado similar a lo reportado por Ramirez et al. (2018) $0,91 \text{ mg}/100\text{g}$ en no germinado de lenteja. El consumo de lentejas en países en vías de desarrollo resulta una fuente de minerales ya que son ricas en hierro y zinc Dhull et al. (2020). Así mismo, es importante resaltar que el cobre en el organismo humano participa en una variedad de procesos biológicos, incluida la defensa antioxidante, la síntesis de neuropéptidos y la función inmune (Bost et al., 2016).

4.4. Evaluación de las propiedades térmicas mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) se basa en la medición de energía que se intercambia en un sistema caracterizando el proceso como endotérmico o exotérmico; basado en su temperatura inicial (T_0), temperatura pico (T_p), temperatura final (T_c) y entalpía (ΔH). La gelatinización es un proceso endotérmico que sucede al calentarse el almidón con agua y ésta se incorpora en el gránulo provocando la ruptura de la fase cristalina generando la absorción de energía (Liu et al., 2019). Los resultados de los parámetros de gelatinización mediante DSC se presentan en la Tabla 13 donde el T_0 tuvo diferencia estadística significativa (A-IXa). La temperatura inicial de las semillas no germinadas y germinadas de frijol de palo fue superior a las semillas no germinadas y germinadas de lentejas y arvejas tal como se muestra los termogramas representados en la Figura 2. esto puede atribuirse a que los valores de almidón resistente (almidón no digerido por las amilasas) es muy superior en el frijol de palo respecto a la lenteja y arveja tal como reportan Tayade et al. (2019) almidón resistente $16,9\%$ en frijol de

palo, 3,2 % en lenteja y 3,4% en arveja. Por otro lado, es importante resaltar que la diferencia se puede aducir al contenido de almidón y fibra presentes en la cáscara de las leguminosas lo que permiten que la gelatinización se realice a mayor temperatura (Lalaleo, 2017); al respecto Polo (2012) reportó un mayor contenido de almidón y fibra para frijol de palo 55% y 8,1%, seguido por lenteja 53,7% y 5,17% y la arveja 52,27% y 6,32%.

Las temperaturas de inicio de los germinados tendieron a aumentar respecto los no germinados, para la lenteja (no germinado 63,5 °C y germinada 69,9 °C) y arveja (no germinado 61,9 °C germinado 64,2 °C), la misma tendencia reportaron Chung et al. (2008) 62,5 °C en semilla de lenteja no germinada, 67,3 °C en lenteja germinada y Xu et al. (2019) en semilla de arveja no germinada 65,8 °C, en arveja germinada 67,1 °C.

Tabla 13. Parámetros de gelatinización mediante Calorimetría Diferencial de Barrido

Parámetro	No germinados			Germinados		
	LS	AS	FS	LG	AG	FG
T ₀ (°C)	63,5±0,7 ^c	61,9±0,0 ^c	77,7±1,1 ^a	69,9±0,4 ^b	64,2±0,4 ^c	76,9±0,4 ^a
T _P (°C)	70,2±0,5 ^c	71,1±0,9 ^c	83,8±0,3 ^a	73,9±0,6 ^b	71,5±0,1 ^{bc}	83,3±0,3 ^a
T _c (°C)	78,7±0,6 ^{bc}	78,3±0,9 ^c	88,8±0,4 ^a	78,7±0,4 ^{bc}	80,9±0,2 ^b	90,3±0,2 ^a
ΔH _{gel} (J/g)	0,65±0,1 ^b	1,03±0,0 ^a	1,02±0,0 ^a	0,37±0,0 ^c	0,85±0,1 ^{ab}	0,96±0,1 ^a

Los valores representan (Promedio ± SEM) datos provenientes del experimento (n=3), T₀(°C): Temperatura de inicio; T_P(°C): Temperatura máxima; T_c(°C): Temperatura final; ΔH(J.g⁻¹): entalpia. Valores de una misma fila con superíndices diferentes son significativamente diferentes (p<0,05)

T_P: Los picos endotérmicos representan la temperatura a la cual los gránulos del almidón se hidratan totalmente y pierden su ordenamiento molecular, lo que dará paso a la ruptura del gránulo (Coello-Garcés, 2019). Las temperaturas pico (T_P) de las leguminosas estudiadas presentaron diferencia estadística significativa (A-IXb) y mediante la comparación de Tukey la mayor fue para la semilla no germinada y germinado de frijol de palo 83,8 °C y 83,3 °C respectivamente (Tabla 13), con respecto a este resultado Roskhrua et al. (2014) tuvo comportamiento similar en no germinado de frijol de palo T_P 84,6 °C y Maninder et al. (2007) en frijol de palo germinado T_P 81,8 °C. Las T_P para la semilla no germinada y germinadas de lenteja y arveja no presentaron diferencia estadística esto indica que sus temperaturas fueron similares en ambos procesos (lenteja, semilla 70,2 °C y germinado 73,9 °C); (arveja no germinada 71,1 °C y germinado 71,5 °C) este comportamiento es explicado porque durante la germinación disminuye el contenido de almidón resistente (Gutiérrez. 2019), además durante

el período de germinación los almidones se solubilizan para apoyar el desarrollo de los componentes de los gérmenes (Atudorei et al., 2021).

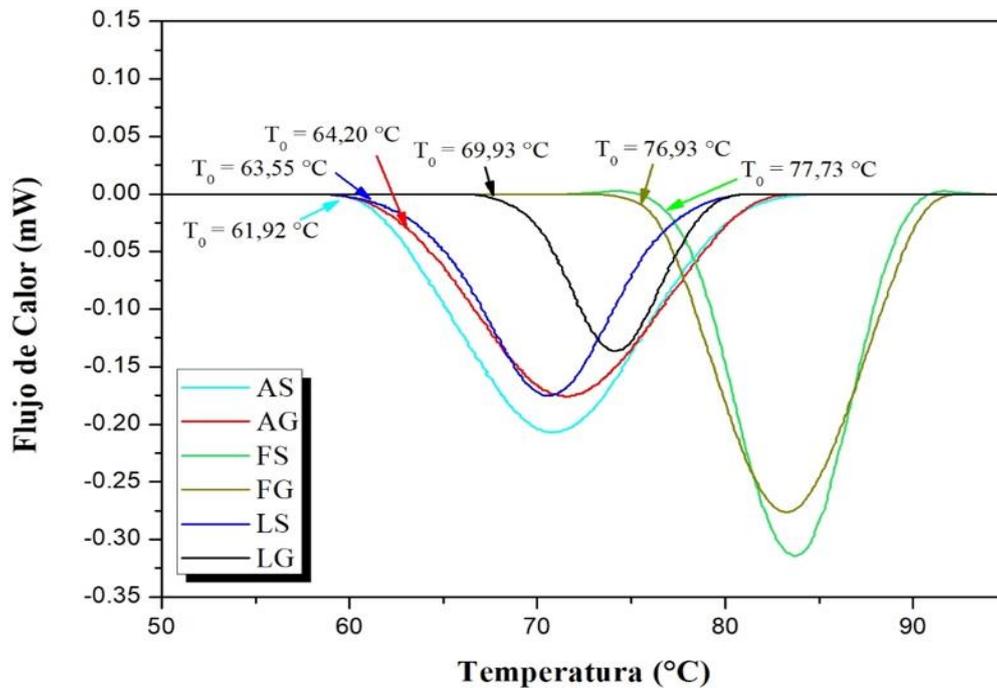


Figura 2. Termogramas DSC de no germinados y germinados

T_c: La temperatura final se manifiesta cuando los gránulos del almidón se desintegran completamente (Coello-Garcés, 2019) todas las dobles hélices se disocian debido a la influencia de las fuerzas de cizalladura después que se han hinchado (Vargas y Flores 2021; Singh et al., 2016). Los resultados del T_c presentados en la Tabla 13 muestran diferencia estadística (A-VIXc) entre las semillas no germinadas de arveja 78,3 °C y en semillas germinadas 80,9 °C, al respecto Ma et al. (2018) también reportó mayor T_c en semilla fue 89,9 °C y germinado 91,9 °C. Por otro lado, la semilla no germinada y germinada de lenteja y frijol de palo no presentaron diferencia. La variación de T_c en arveja puede deberse al contenido de proteína que aumenta durante la germinación 28% y semilla 25,8% (Xu et al., 2019) y que, durante el calentamiento las proteínas interactúan con los almidones principalmente con la amilopectina aumentando las temperaturas de gelatinización (Bravo, 2019). Así mismo, el contenido de Calcio, sodio y magnesio (Tabla 8) en la arveja germinada fue mayor según Zhu et al. (2017) el contenido de minerales en germinados afecta el T_c.

ΔH_{gel}: La entalpía de gelatinización es la energía necesaria para romper los enlaces del almidón mediante un proceso endotérmico, proporciona una medida global de la cristalinidad (calidad y cantidad) y es un indicador de la pérdida del orden molecular dentro del

gránulo (Robles, 2012). Los resultados de entalpías de gelatinización presentados en la Tabla 13, tuvieron diferencia estadística significativa (A-IXd), y según Tukey mayor entalpía presentaron las semillas no germinadas de arveja 1,03 J/g y frijol de palo 1,02 J/g; al respecto, Ma et al. (2018) reportó 0,68 J/g en semilla de arveja y Roskhrua et al. (2014) 0,87 J/g en semilla de frijol de palo. Por otro lado, en la misma Tabla se puede observar diferencia estadística en la entalpía (ΔH) de la semilla de lenteja 0,65 J/g comparado al germinado 0,37 J/g, cabe aclarar que durante el proceso de germinación la lenteja germinó más rápido (100% en 4 días) que la arveja y frijol de palo (6 y 9 días), la velocidad de germinación está determinado por la permeabilidad del tegumento de las semillas, para el caso de la lenteja la mayor proporción es celulosa y hemicelulosa, mientras que las semillas duras (arveja y frijol de palo) además de las anteriores contienen sustancias pécticas en el órgano de protección externa (Galussi et al., 2016). Durante la germinación se se produce la movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones, produciéndose, péptidos de peso molecular intermedio y cambios en la composición de aminoácidos (Torres et al., 2018).

Por lo general todas las entalpías de los germinados fueron menores a la entalpía de los no germinados esto se debe a que, durante la germinación, sucede la hidrólisis parcial del almidón por parte de las enzimas activadas que disminuye los enlaces de hidrógeno intermoleculares, lo que hace que se desprendan fácilmente durante el calentamiento (Xu et al., 2019). La entalpía de la gelatinización de los germinados disminuye debido a que se necesita menos energía para gelatinizar los gránulos de almidón porque durante la germinación se forma poros en la superficie a causa de la actividad enzimática lo que facilita el hinchamiento de los gránulos (Gutierrez. 2019). Los germinados de semillas en diferentes especies como hortalizas, oleaginosas, cereales o legumbres, se convierten en un alimento fácilmente asimilable, porque liberan nutrientes encapsulados y mejoran el valor nutricional (Martín, 2017).

V. CONCLUSIONES

- El mayor efecto de la germinación sobre el contenido de proteínas (30%) y grasa (1,27%) fue en lenteja mientras que, en fibra (7,1%) y ceniza (3,4%) el mayor valor fue en arveja.
- La germinación incrementó el contenido fenólico en el orden de arveja (291,4%) > frijol de palo (165,0%) > lenteja (67,5%) respecto a los no germinados; la capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH, fue mayor en la lenteja germinada 2,90 mmol TE/100g, no obstante, el proceso de germinación tuvo mayor efecto en el frijol de palo con 28,5%, lenteja 14,2% y arveja 12,4% respecto a la semilla no germinada mientras que, la capacidad antioxidante para inhibir el radical ABTS fue mayor en lenteja germinada 7,10 mmol TE/100 g; pero, el mayor efecto del proceso de germinación fue para el frijol de palo con 52,4%, arveja 47,4% y lenteja 5,9% respecto a la semilla no germinada.
- El germinado de arveja tuvo mayor contenido de macroelementos (K, Na y Mg) que los no germinados de lenteja, arveja y frijol de palo, pero la lenteja germinada fue mayor en microelementos (Fe, Mn) que los no germinadas de frijol de palo.
- La germinación incrementó los parámetros de temperatura de gelatinización, pero disminuyó la entalpía con un efecto mayor en lenteja ($0,37 \pm 0,04$ J/g).

VI. RECOMENDACIONES

- Incluir en la dieta al frijol de palo germinado debido a que, tiene un mayor incremento en la actividad antioxidante (DPPH* y ABTS⁰⁺), calcio (58,2%), hierro (57,3%), manganeso (29,5%) y la relación sodio potasio (0,012) que la lenteja y arveja.
- Incentivar el consumo de germinados como frijol de palo, lenteja y la arveja por su buen aporte en nutrientes, compuestos bioactivos y minerales.
- Estudiar el contenido de los fenoles como flavonoides, isoflavonas, antocianinas de germinados de frijol de palo, lenteja y arveja mediante Cromatografía Líquida de Alta Performance (HPLC) para evidenciar concretamente el potencial antioxidante.
- Realizar la elicitación durante la germinación agregando minerales u otros componentes nutritivos en el agua de remojo para inducir a mejorar el aporte nutricional y mineral.
- Estudiar la vida útil de los germinados y proponer métodos de conservación para prolongar la vida en anaquel conservando sus propiedades.
- Investigar el germinado (sprout) y microplantas (microgreens) en legumbrea para determinar en qué nivel de desarrollo tienen mayor aporte nutricional y antioxidante.
- Evaluar los cambios de antinutrientes como el ácido fítico, taninos y los inhibidores de tripsina durante el proceso de germinación.
- Estudiar la fibra dietaria y el índice glucémico de legumbres germinadas para recomendar su consumo de personas con diabetes.
- Utilizar la harina de germinados (frijol de palo, lenteja y arveja) como sustitución parcial de harina de trigo en la elaboración de productos alimenticios para consumo humano (panificación, pastas).

VII. REFERENCIAS

- Asociación Estadounidense de Químicos de Cereales (2008). International board [en línea] (<http://online.cerealsgrains.org/initiatives/definitions/Pages/WholeGrain.aspx>) Consultado el 18 julio del 2022.
- Aguilera, Y., Herrera, T., Liébana, R., Rebollo-Hernanz, M., Sanchez-Puelles, C., & Martín-Cabreas, M. A. (2015). Impact of Melatonin Enrichment during Germination of Legumes on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(36), 7967–7974. doi:10.1021/acs.jafc.5b03128
- Akaerue Blessing & I. Onwuka Gregory, (2010). Effect of Processing on the Proximate Composition of the Dehulled and Undehulled Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Flours. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9: 1006-1016. DOI: 10.3923/pjn.2010.1006.1016
- Alegría-Toran, A., Barbera-Saez, R. y Cilla-Tatay, A. (2015). Manual de elementos minerales en la comida. En M. de la Guardia y S. Garrigues (Eds.). Chichester, Reino Unido: Wiley Blackwell. Biodisponibilidad de minerales en alimentos p. 41-68.
- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11. doi:10.3389/fpls.2020.00300.
- Álvarez, D.M. (2016). Determinación de sodio, potasio, hierro, calcio y zinc en arveja, lenteja y harina de haba, por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas. Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 103p.
- Amarowicz, R., Troszynska, A., Barylko-Pikielna, N., & Shahidi, f. (2004). Polyphenolics extracts from legume seeds: correlations between total antioxidant activity, total phenolics content, tannins content and astringency. *Journal of Food Lipids*, 11(4), 278–286. doi:10.1111/j.1745-4522.2004.01143.x
- A.O.A.C. (1990) Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 777 p.
- Argüelles, J., Núñez, P., & Perillán, C. (2018). Excessive consumption of salt and hypertension: Implications for public health / Consumo excesivo de sal e hipertensión arterial: Implicaciones para la salud pública. *Revista Mexicana de Trastornos Alimentarios*, 9(1), 119–128. doi:10.22201/fesi.20071523e.2018.
- Ariviani, S., Lainuna, N., & Fauza, G. (2020). The potential of NaCl elicitation on improving antioxidant capacity and functional properties of sprouted pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour. 3rd International Conference on Condensed Matter and Applied Physics (ICC-2019). doi:10.1063/5.0003642

- AEL (2015). <http://www.leguminosas.es/legumbresinjustificados-parias-de-las-recomendaciones-dieteticas/>. Consultado 07 de julio del 2022.
- Atudorei, D., Stroe, S.-G., & Codină, G. G. (2021). Impact of Germination on the Microstructural and Physicochemical Properties of Different Legume Types. *Plants*, 10(3), 592. doi:10.3390/plants10030592
- Aviña, D., Carranza-Téllez, J., Vásquez, B., & Carranza-Concha, J. (2016). Capacidad antioxidante y contenido fenólico de uva blanca (*Vitis vinifera* L.) sin semilla. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 801- 805.
- Baudoin, J., & Maquet, A. (1999). Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in Phaseolus. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 3, 220-224.
- Bellani, L., Muccifora, S., & Giorgetti, L. (2019). Impact of sprouting and cooking on antioxidant compounds and activity in different Italian varieties of *Lens culinaris* L. *Journal of Food Measurement and Characterization*. doi:10.1007/s11694-019-00295-1
- Balsom, P., Wood, K., Olsson, P., & Ekblom, B. (1999). Carbohydrate Intake and Multiple Sprint Sports: With Special Reference to Football (Soccer). *International Journal of Sports Medicine*, 20(01), 48–52. doi:10.1055/s-2007-971091
- Benevides, C. M. J., de Lima, J. C. C., Cavalcanti, M. S. C., Souza, T. E., & Lopes, M. V. (2017). Processing Effect Assessment in Contents Phenolic Total and Antioxidant Capacity of the Bean Mangalô (*Lablab Purpureus* (L.) Sweet) and Bean Guandu (*Cajanus Cajan* (L.) Mill Sp). *Revista Virtual de Química*, 827–837. doi:10.21577/1984-6835.20170051
- Bibi, N., Zeb, A., Khattak, A. B., & Saeed Khat, M. (2007). Effect of Germination Time and Type of Illumination on Proximate Composition of Chickpea Seed (*Cicer arietinum* L.). *American Journal of Food Technology*, 3(1), 24–32. doi:10.3923/ajft.2008.24.32
- Bisi Molina, M. D. C. (2018). Relación sodio / potasio urinario y consumo de condimentos industrializados y alimentos ultraprocesados. *Nutrición Hospitalaria*. doi:10.20960/nh.02101.
- Borges-Martínez, E., Gallardo-Velázquez, T., Cardador-Martínez, A., Moguel-Concha, D., Osorio-Revilla, G., Ruiz-Ruiz, J. C., & Martínez, C. J. (2022). Phenolic compounds profile and antioxidant activity of pea (*Pisum sativum* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) sprouts. *Food Science and Technology*, 42. doi:10.1590/fst.45920

- Bost, M., Houdart, S., Oberli, M., Kalonji, E., Huneau, J.-F., & Margaritis, I. (2016). Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 35, 107–115. doi:10.1016/j.jtemb.2016.02.006.
- Brajdes, C., & Vizireanu, C. (2012). Sprouted buckwheat, an important vegetable source of antioxidants. *Food Technol.*, 36, 53-60.
- Bravo, A. (2019). Interacciones proteína-almidón y su aplicación en sistemas modelo. Tesis doctoral. Valladolid España. Universidad de Valladolid. 98p.
- Brand- Willams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 22, 25-30.
- Bray, George A. (2003). Low-Carbohydrate Diets and Realities of Weight Loss. *JAMA*, 289(14), 1853–. doi:10.1001/jama.289.14.1853
- Briguglio, M., Hrelia, S., Malaguti, M., Lombardi, G., Riso, P., Porrini, M., ... Banfi, G. (2020). The Central Role of Iron in Human Nutrition: From Folk to Contemporary Medicine. *Nutrients*, 12(6), 1761. doi:10.3390/nu12061761.
- Bueno, D. B., da Silva Júnior, S. I., Seriani Chiarotto, A. B., Cardoso, T. M., Neto, J. A., Lopes dos Reis, G. C., ... Tavano, O. L. (2019). The germination of soybeans increases the water-soluble components and could generate innovations in soy-based foods. *LWT*, 108599. doi:10.1016/j.lwt.2019.108599
- Byong, H., (2000). “Fundamentos de la biotecnología en alimentos”, 1ª Ed. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.
- Camarena, F. (2014). Innovación fitotecnia del haba (*Vicia faba* L.), arveja (*Pisum sativum* L.), y lenteja (*Lens culinaris* M.). Lima, Perú. 189p.
- Campbell, P., Smith, A. y Peters, T., (2006). “Bioquímica Ilustrada: Bioquímica y biología molecular en la era posgenómica”, 5ta edición, Editorial Masson, S.A., Barcelona España.
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 107–120. doi:10.1016/j.tifs.2017.11.008
- Castillo-Gómez C., Narváez-Solarte W. & Hahn-Von-Hessberg C.M., (2016).- Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. (FABACEAE). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 20 (1): 52-62. DOI: 10.17151/bccm.2016.20.1.5
- Chaparro C., Remigio Y. Pisma G, Ana de Dios Elizalde C. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. *Biotecnología*

- en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Poapayán, Colombia. Universidad del Cauca. 51p.
- Cedano, J. (2006). Guía Técnica Cultivo del Guandul. Santo Domingo, República Dominicana, CEDAF. 84 p.
- Chinma, Chiemela Enyinnaya; Abu, Joseph Oneh; Asikwe, Blessing Ngozi; Sunday, Tabitha; Adebo, Oluwafemi Ayodeji (2021). Effect of germination on the physicochemical, nutritional, functional, thermal properties and in vitro digestibility of *Bambara groundnut* flours. LWT, 140(), 110749–. doi:10.1016/j.lwt.2020.110749
- Chugh, C., Ritu. (2018). Variability in Polyphenols, Antioxidants and Mineral Composition in Different Genotypes of Pigeonpea (*Cajanus Cajan*) Grown in India. Chemical Science Review & Letters, 7, 165-169
- Chung, H.-J., Liu, Q., Hoover, R., Warkentin, T. D., & Vandenberg, B. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. Food Chemistry, 111(2), 316–321. doi:10.1016/j.foodchem.2008.03.06
- Coello, C. y Garcés, C. (2019). Análisis de Propiedades térmicas durante la Gelatinización de tres variedades de arroz INIAP aplicando el Colorímetro Diferencial de Barrido (DSC). Título de Ingeniero de Alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 130p.
- Cornejo, F., Caceres, P. J., Martínez-Villaluenga, C., Rosell, C. M., & Frias, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. Food Chemistry, 173, 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.037>
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., & Rosell, C. M. (2019). Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. Food Research International. doi:10.1016/j.foodres.2019.01.022
- Czaja, T., Sobota, A., & Szostak, R. (2020). Quantification of Ash and Moisture in Wheat Flour by Raman Spectroscopy. Foods, 9(3), 280. doi:10.3390/foods9030280
- Dalaram, I. S. (2017). Evaluation of total polyphenol content and antioxidant capacity of different variety lupin seeds. Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences, 11(1), 26–34. doi:10.5219/678
- Dahl, W. J., & Stewart, M. L. (2015). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Health Implications of Dietary Fiber. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 115(11), 1861–1870. doi:10.1016/j.jand.2015.09.003

- Davila, Marbelly A.; Sangronis, Elba y Granito, Marisela.(2003) Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *ALAN* [online]., vol.53, n.4, pp.348-354. ISSN 0004-0622.
- Devi, J., Sanwal, S. K., Koley, T. K., Mishra, G. P., Karmakar, P., Singh, P. M., & Singh, B. (2019). Variations in the total phenolics and antioxidant activities among garden pea (*Pisum sativum* L.) genotypes differing for maturity duration, seed and flower traits and their association with the yield. *Scientia Horticulturae*, 244, 141–150. doi:10.1016/j.scienta.2018.09.048
- Devinder Dhingra; Mona Michael; Hradesh Rajput; R. T. Patil (2012). Dietary fibre in foods: a review. 49(3), 255–266. doi:10.1007/s13197-011-0365-5
- Dhull, S. B., Kinabo, J., & Uebersax, M. A. (2022). Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*. doi:10.1002/leg3.156
- Dhull, S. B., Punia, S., Kidwai, M. K., Kaur, M., Chawla, P., Purewal, S. S., ... Palthania, S. (2020). Solid-state fermentation of lentil (*Lens culinaris* L.) with *Aspergillus awamori* : Effect on phenolic compounds, mineral content, and their bioavailability. *Legume Science*. doi:10.1002/leg3.37
- Domínguez-Arispuro, D. M., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán-Carrillo, J., León-López, L., Gutiérrez-Dorado, R., & Reyes-Moreno, C. (2017). Optimal germination condition impacts on the antioxidant activity and phenolic acids profile in pigmented desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 638–647. doi:10.1007/s13197-017-2973-1
- Drouet, S.; Lorenzo, J.M.; Hano, C. (2021). Green Extraction of Antioxidant Flavonoids from Pigeon Pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) Seeds and Its Antioxidant Potentials Using Ultrasound-Assisted Methodology. *Molecules*, 26, 7557. <https://doi.org/10.3390/molecules26247557>
- Dueñas, M., Sarmiento, T., Aguilera, Y., Benitez, V., Mollá, E., Esteban, R. M., & Martín-Cabrejas, M. A. (2016). Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 66, 72–78. doi:10.1016/j.lwt.2015.10.025
- Duodu KG (2014) Efectos del procesamiento en fitoquímicos fenólicos en cereales y legumbres. *Cereales Alimentos Mundo* 59: 64–70. <https://doi.org/10.1094/CFW-59-2-0064>

- Escalante, R. (2009). Caracterización fenotípica de 25 accesiones del frijol de palo (*Cajanus cajan* L.) de la zona de Lambayeque a condiciones de Lima – La Molina [Tesis Ingeniero en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1898/Escalante%20Rosas.pdf?sequence=1>
- FAO (2018). Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 292p. [En línea] <https://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf> consultado, 14 de junio del 2021)
- FAO (2016). Beneficios nutricionales de las legumbres [En línea] (<http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/405378/>), consultado, 10 de setiembre del 2021)
- Ferreira, C. D., Bubolz, V. K., da Silva, J., Dittgen, C. L., Ziegler, V., de Oliveira Raphaelli, C., & de Oliveira, M. (2019). Changes in the chemical composition and bioactive compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) fortified by germination. *LWT*, 111, 363–369. doi:10.1016/j.lwt.2019.05.049
- Fouad, A. A., & Rehab, F. M. A. (2015). Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14(3), 233–246. doi:10.17306/j.afs.2015.3.25
- Fontana, A. J. (2004). Measurement of Water Activity, Moisture Sorption Isotherms, and Moisture Content of Foods. *Water Activity in Foods*, 155–171. doi:10.1002/9780470376454.ch6
- Gawlik-Dziki, U., Baraniak, B., Sikora, M., Jakubczyk, A., Kapusta, I., & Świeca, M. (2021). Potentially Bioaccessible Phenolic and Antioxidant Potential of Fresh and Stored Lentil Sprouts—Effect of *Lactobacillus plantarum* 299v Enrichment. *Molecules*, 26(8), 2109. doi:10.3390/molecules26082109
- Galussi, A., Arguello, A., Cerana, M., Maximino, G., Moya, E., (2016). Características anatómicas y químicas del tegumento seminal de *Medicago sativa* L. (alfalfa) cv. Baralfa 85 y su asociación con la dormición; Fundación Romulo Raggio; *Phyton - International Journal of Experimental Botany*; 84; 1; 6-2015; 163-175
- Gan, R.-Y., Lui, W.-Y., Wu, K., Chan, C.-L., Dai, S.-H., Sui, Z.-Q., & Corke, H. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1–14. doi:10.1016/j.tifs.2016.11.010

- García, E. M., Fernández, I., and Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Universidad Politécnica de Valencia. 9 p.
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. doi:10.1016/j.tifs.2017.02.017.
- Ghumman, Atinder; Kaur, Amritpal; Singh, Narpinder (2016). Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. *LWT - Food Science and Technology*, 65(), 137–144. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.075
- Gómez-Maqueo, A., Escobedo-Avellaneda, Z., Cano, P., & Welti-Chanes, J. (2018). Phenolic Compounds in Food. En *Phenolic Compounds in Food: Characterization and Analysis* (págs. 33 - 57). New York: Taylor & Francis Group.
- Gómez, P. L.S. (2009). Determinación de la fracción de agua no congelada en murta (*Ugni molinae* Turcz) mediante termoanálisis con el calorímetro diferencial de barrido (Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 152p.
- Grusak, MA (2009). Calidad nutricional y beneficiosa para la salud. En W. Erskine, FJ Muehlbauer, A. Sarker y B. Sharma (Eds.), *La lenteja: Botánica, producción y usos* (págs. 368–390). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845934873.0368>
- Gujral, Hardeep Singh; Angurala, Mamta; Sharma, Paras; Singh, Jaspreet (2011). Phenolic Content and Antioxidant Activity of Germinated and Cooked Pulses. *International Journal of Food Properties*, 14(6), 1366–1374. doi:10.1080/10942911003672167
- Gunenc, A., Yeung, M. H., Lavergne, C., Bertinato, J., & Hosseinian, F. (2017). Enhancements of antioxidant activity and mineral solubility of germinated wrinkled lentils during fermentation in kefir. *Journal of Functional Foods*, 32, 72-79.
- Guo, W. (2017). Magnesium homeostasis mechanisms and magnesium use efficiency in plants. *Plant Macronutrient Use Efficiency*, 197–213. doi:10.1016/b978-0-12-811308-0.00011-9.
- Gutiérrez, J. (2019). Influencia de la Germinación sobre los cambios microestructurales del almidón de cebada. Título Maestría en Ciencia de los Alimentos. Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 104p.
- Guajardo-Flores, D., Pérez-Carrillo, E., Romo-López, I., Ramírez-Valdez, L. E., Moreno-García, B. E., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017). Effect of Dehulling and Germination on

- Physicochemical and Pasting Properties of Black Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cereal Chemistry Journal*, 94(1), 98–103. doi:10.1094/cchem-02-16-0017-fi
- Hamad, A. M. A. (2021). Evaluation of Dietary Fiber and the Effect on Physicochemical Properties of Foods. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 421–433. doi:10.32628/ijrst218385
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Nahar, K., Hossain, M., Mahmud, J., Hossen, M., ... Fujita, M. (2018). Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. doi:10.3390/agronomy8030031.
- Hefnawy, T. H. (2011). Effect of processing methods on nutritional composition and antinutritional factors in lentils (*Lens culinaris*). *Annals of Agricultural Sciences*, 56(2), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2011.07.001>
- Henry C Lukaski (2004). Vitamin and mineral status: effects on physical performance. , 20(7-8), 632–644. doi:10.1016/j.nut.2004.04.001
- Holden JM, Harnly JM, Beecher CR. (2003). Composición de los alimentos. Conocimientos actuales sobre nutrición. En. Bowmann BA, Russell RM. Washington: ILSI. 645-657.
- Hoyos-Leyva, J.D.; Alonso-Gomez, L.; Rueda-Enciso, J.; Yee-Madeira, H.; Bello-Perez, L.A.; Alvarez-Ramirez, J. (2017). Morphological, physicochemical and functional characteristics of starch from *Marantha ruiziana* Koern. *LWT - Food Science and Technology*, 83(), 150–156. doi:10.1016/j.lwt.2017.05.019
- Huaman. (2019). Introducción de variedades mejoradas de arveja (*Pisum sativum* L.) en condiciones del distrito de Huando – Huancavelica. Tesis Ing. Agrónomo. Jauja, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. 88 p.
- INEI. (2018). [En línea]: (https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1635/cap13/cap13.pdf. Consultado el 12 de mayo del 2022).
- James, S., Nwabueze, T. U., Ndife, J., Onwuka, G. I., & Ata'Anda Usman, M. (2020). Influence of fermentation and germination on some bioactive components of selected lesser legumes indigenous to Nigeria. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100086. doi:10.1016/j.jafr.2020.100086
- James W Anderson; Pat Baird; Richard H Davis Jr; Stefanie Ferreri; Mary Knudtson; Ashraf Koraym; Valerie Waters; Christine L Williams (2009). Health benefits of dietary fiber. , 67(4), 188–205. doi:10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2017). Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten e Free cookies made from raw and germinated *Chenopodium*

- (*Chenopodium album*) flour. LWT – Food Science and Technology, 71, 281–287. doi:10.1016/j.lwt.2016.04.001
- Jensen, B. (2012). Semillas y Germinados <https://es.scribd.com/document/92425481/Semillasy-Germinados-Dr-Bernard-Jensen-Espanol>. España: Escribd.
- Johnson, C. R., Thavarajah, D., & Thavarajah, P. (2013). The influence of phenolic and phytic acid food matrix factors on iron bioavailability potential in 10 commercial lentil genotypes (*Lens culinaris* L.). Journal of Food Composition and Analysis, 31(1), 82–86. doi:10.1016/j.jfca.2013.04.003
- Joshi, M., Timilsena, Y., & Adhikari, B. (2017). Global production, processing and utilization of lentil: A review. Journal of Integrative Agriculture, 16(12), 2898–2913. doi:10.1016/s2095-3119(17)61793-3
- Jribi, Sarra; Sahagùn, Marta; Debbabi, Hajer; Gomez, Manuel (2019). Evolution of functional, thermal and pasting properties of sprouted whole durum wheat flour with sprouting time. International Journal of Food Science & Technology, (), ijfs.14192–. doi:10.1111/ijfs.14192
- Kamboj, R., & Nanda, V. (2017). Proximate composition, nutritional profile and health benefits of legumes – A review. Legume Research, 41, 325-332. Doi:10.18805/LR-3748
- Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Bai, Z., Wang, J., ... Song, K. (2018). Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. Food Chemistry, 260, 317–326. doi:10.1016/j.foodchem.2018.03.14
- Khang, D., Dung, T., Elzaawely, A., & Xuan, T. (2016). Phenolic Profiles and Antioxidant Activity of Germinated Legumes. Foods, 5(4), 27. doi:10.3390/foods5020027
- Khazaei, H., Podder, R., Caron, C. T., Kundu, S. S., Diapari, M., Vandenberg, A., & Bett, K. E. (2017). Marker–trait association análisis of iron and zinc concentration in lentil (*Lens culinaris* Medik.) seeds. The Plant Genome, 10, 1–8. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.02.0007>
- Koo, S.-C., Kang, B.-K., Kim, H.-T., Seo, J.-H., Jeong, K.-H., ... Choi, M.-S. (2015). Evaluation of Pea (*Pisum sativum* L.) Genetic Resources for Sprout and Analysis of Optimum Culture Condition for Pea Sprout. The Korean Journal of Crop Science, 60(4), 484–490. doi:10.7740/kjcs.2015.60.4.484
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 25(4), 726–732. doi:10.1590/s0101-20612005000400016

- Lalaleo, D. (2017). “Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir harina y residuos de banano de rechazo” (Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.). Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24739>
- Lastiri H, Álvarez B, Soria M. H, Ochoa E. S y Cruz, C .G. (2017). Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.8 p. 1245-1257.
- Le, N. L., Le, T. T. H., Nguyen, N. T. M., & Vu, L. T. K. (2022). Impact of different treatments on chemical composition, physical, anti-nutritional, antioxidant characteristics and in vitro starch digestibility of green-kernel black bean flours. *Food Science and Technology*, 42. doi:10.1590/fst.31321
- Liu, Y., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., & Wang, S. (2019). Gelatinization behavior of starch: reflecting beyond the endotherm measured by differential scanning calorimetry. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.0
- Liu, HongKai; Chen, YaYun; Hu, TingTing; Zhang, ShuJie; Zhang, YaHong; Zhao, TianYao; Yu, HongEn; Kang, YuFan (2016). The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. *Journal of Functional Foods*, 25(), 459–465. doi:10.1016/j.jff.2016.06.028
- López-Amorós, M. L., Hernández, T., & Estrella, I. (2006). Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4), 277–283. doi:10.1016/j.jfca.2004.06.012
- Ma, Z., Boye, J. I., & Hu, X. (2018). Nutritional quality and techno-functional changes in raw, germinated and fermented yellow field pea (*Pisum sativum* L.) upon pasteurization. *LWT*, 92, 147–154. doi:10.1016/j.lwt.2018.02.018
- Ma, Z., Boye, J. I., & Hu, X. (2017). In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of Saskatchewan grown yellow field peas (*Pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Research International*, 92, 64–78. doi:10.1016/j.foodres.2016.12.012
- Maetens, E., Hettiarachchy, N., Dewettinck, K., Horax, R., Moens, K., & Moseley, D. O. (2017). Physicochemical and nutritional properties of a healthy snack chip developed from germinated soybeans. *LWT*, 84, 505–510. doi:10.1016/j.lwt.2017.06.020
- Maninder, K., Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon

- pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 104(1), 259–267. doi:10.1016/j.foodchem.2006.11.03
- Marcos Filho, J. (2005). *Fisiología de semillas de plantas cultivadas*. Piracicaba: Fealq.
- Márquez, B. M. (2014). *Cenizas y grasas*. (Tesis bachiller: Universidad Nacional de San Agustín) Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isA>
- Martínez, M.E. (2019). Contenido de hierro, calcio y magnesio durante el proceso de producción de germinados de lentejas (*Lens culinaris*) bajo cultivo aeropónico. Tesis de grado de Licenciatura en Bromatología. Mendoza, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo. 71p.
- Martín, P: 2017. Cinco razones para consumir brotes. <https://www.rionegro.com.ar/cinco-razones-para-consumir-brotes-1242883/>.
- Messina, M. J. (1999). Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *The American journal of clinical nutrition*, 70(3), 439s-450s.
- Michos, E. D., Cainzos-Achirica, M., Heravi, A. S., & Appel, L. J. (2021). Vitamin D, Calcium Supplements, and Implications for Cardiovascular Health. *Journal of the American College of Cardiology*, 77(4), 437–449. doi:10.1016/j.jacc.2020.09.617.
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103233. doi:10.1016/j.jfca.2019.103233
- MINAGRI. (2016). Leguminosas de grano. [En línea] (<https://www.midagri.gob.pe/portal/download/legumbres/catalogo-leguminosas.pdf>. Consultado el 12 de junio del 2022)
- Miranda, A. (2021). Importancia de los germinados para el consumo humano [Tesis de grado, Universidad de Santander]. Repositorio UDES https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/5646/1/Importancia_de_los_Germinados_Para_el_Consumo_Humano.pdf
- Mite, F., Carrillo, M., Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de Cacao, suelos y aguas en Ecuador. In XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M. Y Rizzello, CG. (2018). Investigación de los efectos nutricionales, funcionales y tecnológicos de la fermentación en masa madre de

- harinas germinadas. *Revista Internacional de Microbiología de Alimentos*, 30(2): 47–58.
- Morales-Morales, A. E., De la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez-Chávez, E., Trejo, A. M., and Márquez-Quiroz, C. (2016). Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17): 3415-3425
- Muller, M. (2015). Capacidad antioxidante y contenido de flavonoides entre las semillas de chia negra (*Salvia nativa*) y chia blanca (*Salvia hispánica* L.) Puno, octubre 2014 – enero 2015 [Tesis licenciado en Nutrición Humana, Universidad Nacional del Altiplano].
 Repositorio UNAP.
[http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2376/Muller Tito Kely Eusebia.pdf?sequence=1](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2376/Muller_Tito_Kely_Eusebia.pdf?sequence=1)
- National Institutes of Health. (2022). Revisado 16 de julio del 2022.
<https://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx>
- Ndidi, Uche Samuel; Ndidi, Charity Unekwuajo; Aimola, Idowu Asegame; Bassa, Obed Yakubu; Mankilik, Mary; Adamu, Zainab (2014). Effects of Processing (Boiling and Roasting) on the Nutritional and Antinutritional Properties of *Bambara Groundnuts* (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) from Southern Kaduna, Nigeria. *Journal of Food Processing*, 2014(), 1–9. doi:10.1155/2014/472129
- Nkhata, SG, Ayua, E., Kamau, EH y Shingiro, JB (2018). La fermentación y la germinación mejoran el valor nutricional de los cereales y las legumbres mediante la activación de enzimas endógenas. *Ciencia de los Alimentos y Nutrición*, 6(8), 2446-2458.
<http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.846>.
- Norramon Thanyapanich;Ampa Jimtaisong;Saroat Rawdkuen; (2021). Functional Properties of Banana Starch (*Musa* spp.) and Its Utilization in Cosmetics. *Molecules*, (), – . doi:10.3390/molecules26123637
- Nyau, V., Prakash, S., Rodrigues, J., & Farrant, J. (2017). Profiling of Phenolic Compounds in Sprouted Common Beans and Bambara Groundnuts. *Journal of Food Research*, 6(6), 74. doi:10.5539/jfr.v6n6p74
- Oghbaei, M., & Prakash, J. (2016). Nutritional properties of green gram germinated in mineral fortified soak water: I. Effect of dehulling on total and bioaccessible nutrients and bioactive components. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 871–879. doi:10.1007/s13197-016-2382-x

- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C. C., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 213–222. doi: 10.1016/j.tifs.2020.05.003.
- Ongol, M. P., Nyoziama, E., Gisanura, I., & Vasanthakalam, H. (2013). Effect of germination and fermentation on nutrients in maize flour. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 23, 183–188
- Ordoñez, E. S., Menacho-Mallqui, T., & Reategui, D. (2021). Quantification of minerals in medicinal plants and their infusions using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *Agroindustrial Science*, 11(3), 313–322. doi:10.17268/agroind.sci.2021.03.09
- OMS. (2019). Énfasis en la nutrición en los servicios de salud para 2025. [En línea] (<https://www.who.int/es/news/item/04-09-2019-stronger-focus-on-nutrition-within-health-services-could-save-3.7-million-lives-by-2025>) Consultado 14 de julio del 2022
- OMS. (2012). Guideline: potassium intake for adults and children. http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/potassium_intake/en/.
- Owuamanam, C., Ogueke, C., Iwouno, J., & Edom, T. (2014). Use of Seed Sprouting in Modification of Food Nutrients and Pasting Profile of Tropical Legume Flours. *Nigerian Food Journal*, 32(1), 117–125. doi:10.1016/s0189-7241(15)30104-1.
- Patience, N. O., & Okongwu S. N. (2006). Performance Characteristics and Nutrient Utilization of Starter Broilers Fed Raw and Processed Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) Seed Meal. *International Journal of Poultry Science*, 5(7), 693–697. doi:10.3923/ijps.2006.693.697
- Patterson, C. A., Curran, J., & Der, T. (2017). Effect of processing on antinutrient compounds in pulses. *Cereal Chemistry*, 94, 2–10. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-16-0144-FI>
- Pérez Galeano, A. (2015). Evaluación del comportamiento comercial de los germinados y brotes tiernos en la ciudad de medellín: posibles alternativas de comercialización [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Lasallista]. Repositorio UNILASALLISTA.http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1576/1/Evaluacion_comportamiento_comercial_germinados_brotes_tierno.pdf
- Perez-Perez, L. M., Leslie García-Borbón, L., González-Vega, R. I., Rodríguez-Figueroa, J. C., Rosas-Burgos, E. C., Huerta-Ocampo, J. Á., ... Del-Toro-Sánchez, C. L. (2018). Liberación de compuestos fenólicos ligados en el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) utilizando microbiota humana intestinal. *Biotecnia*, 20(3), 146–154. doi:10.18633/biotecnia.v20i3.722

- Pietrini, F., Carnevale, M., Beni, C., Zacchini, M., Gallucci, F., & Santangelo, E. (2019). Effect of Different Copper Levels on Growth and Morpho-Physiological Parameters in Giant Reed (*Arundo donax* L.) in Semi-Hydroponic Mesocosm Experiment. *Water*, 11(9), 1837. doi:10.3390/w11091837.
- Piñero, M.P., Parra, K.C., Barboza, Y.M., Ortega, J. (2013). Efecto combinado de la imbibición y la germinación sobre la calidad del quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp.). *Ciencia*, 21(4), 192-200
- Polo, A. (2012). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de seis variedades de leguminosas: arveja, garbanzo, haba, lenteja, maní y soya. Título de Licenciado en Ciencias Químicas Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 126p.
- Ramage, C.M., Williams, R.R. (2002). Mineral nutrition and plant morphogenesis. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 38, 116–124 <https://doi.org/10.1079/IVP2001269>.
- Ramírez A. M., Moreno-Rojas, R., & Cámara-Martos, F. (2018). Mineral and trace element content in legumes (lentils, chickpeas and beans): Bioaccessibility and probabilistic assessment of the dietary intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 17–28. doi:10.1016/j.jfca.2018.07.007.
- Ramos, E., Castañeda, B., Ibañez, L. (2008). Evaluación de la capacidad antioxidante de plantas medicinales peruanas nativas e introducidas. *Rev. Acad. Perú Salud, Perú*, 15: 42-46.
- REDESA. (2007). Informe de consultoría en Desarrollo Económico (2003-2005). Perú.
- Re, R.;Pellegrini, N.;Proteggente, A.;Pannala, A.;Yang, M.;Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26, 9/10, 1231-1237, 1999.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., & Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2), 219–224. doi:10.1016/j.jcs.2008.10.003
- Rizvi Q, Kumar K, Ahmed N, Yadav AN, Chauhan D, Thakur P, Jan S, Sheikh I. (2022). Influence of soaking and germination treatments on the nutritional, anti-nutritional, and bioactive composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *J App Biol Biotech*. Doi;10 (3):127-134. Doi:[10.1016/j.crfs.2021.11.019](https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019)
- Robles, M. (2012). Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Tesis Ingeniero en Alimentos. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 45p.

- Roskhrua, P., Tran, T., Chaiwanichsiri, S., Kupongsak, S., & Pradipasena, P. (2014). Physicochemical properties of thermal alkaline treated pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) flour. *Food Science and Biotechnology*, 23(2), 381–388. doi:10.1007/s10068-014-0053-0
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0), 1–24. doi:10.7831/ras.3.1
- Saja, J.; Rodriguez, M.; Rodriguez, M, L. (2005). *Materiales – Estructuras, Propiedades y Aplicaciones*. (Ed) Thomson Learning Ibero. 393 p.
- Salas-López, F., Gutiérrez-Dorado, R., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Canizalez-Roman, V. A., León-Sicairos, C. del R., & Reyes-Moreno, C. (2018). Nutritional and antioxidant potential of a desert underutilized legume – tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). *Optimization of germination bioprocess*. *Food Science and Technology*, 38(suppl 1), 254–262. doi:10.1590/fst.25316
- Salas-Pérez, L., Gaucín-Delgado, J. M., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Valenzuela-García, J. R., and Ayala-Garay, A. V. (2016). Efecto del ácido benzoico en la capacidad antioxidante de germinados de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17: 3397-3404.
- Saleh, H. M., Hassan, A. A., Mansour, E. H., Fahmy, H. A., & El-Bedawey, A. E.-F. A. (2017). Melatonin, phenolics content and antioxidant activity of germinated selected legumes and their fractions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. doi:10.1016/j.jssas.2017.09.001
- Salud y buenos alimentos. (2017). Clasificación y propiedades de la Lenteja (*Lens culinaris*). [En línea] (<http://saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=Legumbres&s2=Secan>, Consultado, 12 junio del 2022)
- Sandberg, A.-S. (2002). Bioavailability of minerals in legumes. *British Journal of Nutrition*, 88(S3), 281–285. doi:10.1079/bjn/2002718
- Sangronis, E., & Machado, C. J. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 116–120. doi:10.1016/j.lwt.2005.08.003.
- Santos, J., Herrero, M., Mendiola, J. A., Oliva-Teles, M. T., Ibáñez, E., Delerue-Matos, C., & Oliveira, M. B. P. P. (2014). Assessment of nutritional and metabolic profiles of pea shoots: The new ready-to-eat baby-leaf vegetable. *Food Research International*, 58, 105–111. doi:10.1016/j.foodres.2014.01.06

- Schaich, K.M.; Tian, X.; Xie, J. (2015). Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *Journal of Functional Foods*, 14(4), 111–125. doi:10.1016/j.jff.2015.01.043
- Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., & Thiel, H. (2015). Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*, 66(12), 1219. doi:10.1071/cp15104.
- Setia, R. (2019). Impacts of germination on the physicochemical properties, nutritional quality and bread making performance of yellow pea and faba bean flours (Thesis Degree of Master of Science. University of Saskatchewan). <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/12308/SETIA-THESIS-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Shalaby, E. A., & Shanab, S. M. M. (2013). Antiradical and Antioxidant Activities of Different *Spirulina platensis* Extracts against DPPH and ABTS Radical Assays. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 02(01). doi:10.4172/2324-8661.1000105
- Shang, R., Wu, H., Guo, R., Liu, Q., Pan, L., Li, J., ... Chen, C. (2016). The Diversity of Four Anti-nutritional Factors in Common Bean. *Horticultural Plant Journal*, 2(2), 97–104. doi:10.1016/j.hpj.2016.06.001
- Sharma, S., Singh, A., & Singh, B. (2018). Characterization of in vitro antioxidant activity, bioactive components, and nutrient digestibility in pigeon pea (*Cajanus cajan*) as influenced by germination time and temperature. *Journal of Food Biochemistry*, e12706. doi:10.1111/jfbc.12706
- Sharma S, Singh N, Viridi AS, Rana JC. (2015) Himalayan kidney bean germplasm: grain-flour characteristics, structural-functional properties and in vitro digestibility of starches. *Food Res Int.* 77:498–505. doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.030.
- Shivakumar, A., & Kumar, M. Y. (2018). Critical Review on the Analytical Mechanistic Steps in the Evaluation of Antioxidant Activity. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(3), 214 - 236. doi:10.1080/10408347.2017.1400423
- Sinan, K. I., Mahomoodally, M. F., Eyupoglu, O. E., Etienne, O. K., Sadeer, N. B., Ak, G., ... Zengin, G. (2021). HPLC-FRAP methodology and biological activities of different stem bark extracts of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 192, 113678. doi:10.1016/j.jpba.2020.113678
- Sindhu, R., Beniwal, S. K., & Devi, A. (2019). Effect of grain processing on nutritional and physico-chemical, functional and pasting properties of amaranth and quinoa flours. *Indian Journal of Traditional Knowledge (IJTK)*, 18(3), 500–507.

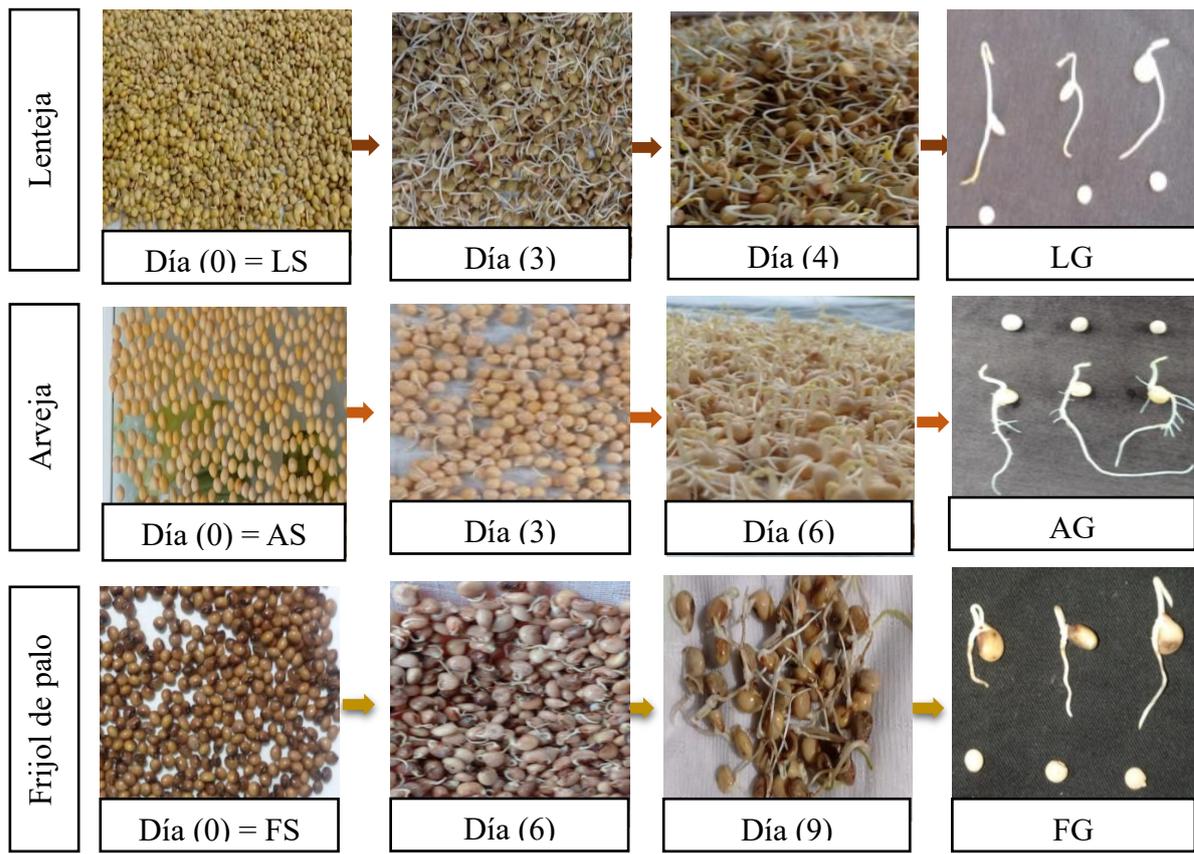
- Singh, Jaspreet (2016). *Advances in Potato Chemistry and Technology || Potato Starch and Its Modification*. 195–247. doi:10.1016/b978-0-12-800002-1.00008-x
- Socha, K., Kochanowicz, J., Karpińska, E., Soroczyńska, J., Jakoniuk, M., Mariak, Z., & Borawska, M. H. (2014). Dietary habits and selenium, glutathione peroxidase and total antioxidant status in the serum of patients with relapsing-remitting multiple sclerosis. *Nutrition Journal*, 13(1). doi:10.1186/1475-2891-13-62
- Sousa, C., Moutinho, C., Ana, F., Matos, C. (2019). Trace Minerals in Human Health: Iron, Zinc, Copper, Manganese and Fluorine. *International Journal of Science and Research Methodology*, 13 (3): 57-80.
- Souza (2016). *Germinados ¡Naturalmente Saludables!* 81p.
- Surveswaran, S., Cai, Y., Corke, H., & Sun, M. (2007). Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chemistry*, 102(3), 938–953. doi:10.1016/j.foodchem.2006.06.03
- Swieca, M., Gawlik-Dziki, U., Jakubczyk, A., Bochnak, J., Sikora, M., & Suliburska, J. (2019). Nutritional quality of fresh and stored legumes sprouts – Effect of *Lactobacillus plantarum* 299v enrichment. *Food Chemistry*, 288, 325–332. doi:10.1016/j.foodchem.2019.02.13
- Tan, D., Olden, A. N., Orengo, A., Francey, C., Campos, V. C., Fayet-Moore, F., ... Lê, K.-A. (2020). An Assessment of Three Carbohydrate Metrics of Nutritional Quality for Packaged Foods and Beverages in Australia and Southeast Asia. *Nutrients*, 12(9), 2771. doi:10.3390/nu12092771
- Tarasevičienė, Ž., Viršilė, A., Danilčenko, H., Duchovskis, P., Paulauskienė, A., & Gajewski, M. (2019). Effects of germination time on the antioxidant properties of edible seeds. *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 447–454. doi:10.1080/19476337.2018.1553895
- Tayade, R., Kulkarni, K. P., Jo, H., Song, J. T., & Lee, J.-D. (2019). Insight Into the Prospects for the Improvement of Seed Starch in Legume—A Review. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi:10.3389/fpls.2019.01213
- 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. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(4), 323–330. doi:10.4067/s0717-75182018000500323
- Torres, A., Frias, J., Granito, M., & Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry*, 101(1), 202–211. doi:10.1016/j.foodchem.2006.01.018.

- Umar, A., Khan, M. T., Bukhari, S., Sardar, R., Naheed, K., Younas, H., ... Kiani, R. K. (2022). Antioxidant activity and total phenolic contents of dried and germinated legumes . doi:10.21203/rs.3.rs-1239490/v1
- Uthumporn; I.S.M. Zaidul; A.A. Karim (2010). Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. , 88(1), 47–54. doi:10.1016/j.fbp.2009.10.001
- Uvere, P. O., & Orji, G. S. (2002). Lipase Activities During Malting and Fermentation of Sorghum for Burukutu Production. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(2), 256–260. doi:10.1002/j.2050-0416.2002.tb00549.x
- Valdivia y Ostos. (2020). Pan fortificado con lenteja (*Lens Culinaris*) y linaza (*Linum usitatissimum*), diseño de mezcladora-amasadora [Tesis Ingeniero en Industria Alimentaria, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8358/69.0397.AL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valentova, K., Cvak, L., Muck, A., Ulrichova, J., & Simanek, V. (2003). Antioxidant activity of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*. *European Journal of Nutrition*, 42(1), 61–66. doi:10.1007/s00394-003-0402-x
- Vargas, N. Flores, N. (2021). Evaluación fisicoquímica y de las propiedades funcionales del almidón del araq papa (*Solanum tuberosum*) procedente del distrito y provincia de Acobamba – Huancavelica. Tesis Ingeniero Agroindustrial. Huancavelica, Perú. Universidad Nacional de Huancavelica. 87p.
- Vilcapoma, G. (1991). *Manual de Botánica Sistemática*. Lima, Perú. 22 p.
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K., & Turkiewicz, I. P. (2020). Sprouts vs. Microgreens as Novel Functional Foods: Variation of Nutritional and Phytochemical Profiles and Their In vitro Bioactive Properties. *Molecules*, 25(20), 4648. doi:10.3390/molecules25204648
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217–224. doi:10.1016/j.foodres.2010.10.033
- Xu, M., Jin, Z., Simsek, S., Hall, C., Rao, J., & Chen, B. (2019). Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. *Food Chemistry*, 295, 579–587. doi:10.1016/j.foodchem.2019.05.167.

- Xu; S.K.C. Chang (2007). A Comparative Study on Phenolic Profiles and Antioxidant Activities of Legumes as Affected by Extraction Solvents, 72(2), 0–0. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x
- Yang, S.-E., Vo, T.-L. T., Chen, C.-L., Yang, N.-C., Chen, C.-I., & Song, T.-Y. (2020). Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Functional Evaluation of Various Parts of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Agriculture, 10(11), 558. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110558>
- Yang, X., & Boyle, R. A. (2016). Sensory Evaluation of Oils/Fats and Oil/Fat–Based Foods. Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats, 157–185. doi:10.1016/b978-1-63067-056-6.00003-3
- Yang, Q. (2011). Sodium and Potassium Intake and Mortality Among US Adults. Archives of Internal Medicine, 171(13), 1183. doi:10.1001/archinternmed.2011.25
- Zhang, B., Deng, Z., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Ramdath, D. D., ... Tsao, R. (2014). Effect of Domestic Cooking on Carotenoids, Tocopherols, Fatty Acids, Phenolics, and Antioxidant Activities of Lentils (*Lens culinaris*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(52), 12585–12594. doi:10.1021/jf504181r
- Zhu, X., Cui, W., Zhang, E., Sheng, J., Yu, X., & Xiong, F. (2017). Morphological and physicochemical properties of starches isolated from three taro bulbs. Starch - Stärke, 70(1–2), 1700168. <https://doi.org/10.1002/star.201700168>
- Zia, Haq, Muhammad., Ahmad, S., Amarowicz, R. (2013). Compositional studies of some pea (*Pisum sativum* L.) seed cultivars commonly consumed in Pakistan. Italian journal Food Science, 25, 295-302
- Zia-UL-Haq, S. Ahmad, M. Aslam Shad , S. Iqbal ,M. Q. (2011). Compositional studies of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars commonly grown in Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 43(3): 1563-1567.

ANEXO

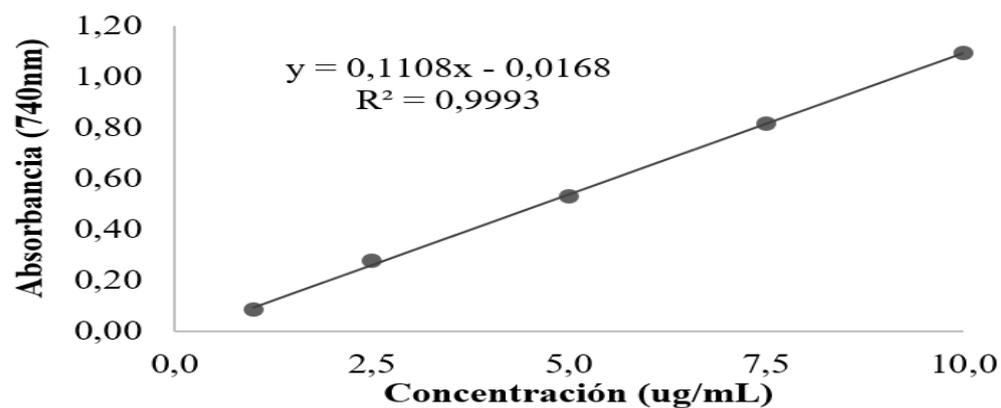
A-I. Tiempo de germinación de la lenteja, arveja y frijol de palo



A-II. Resultados de absorbancias para la curva estándar de fenoles totales

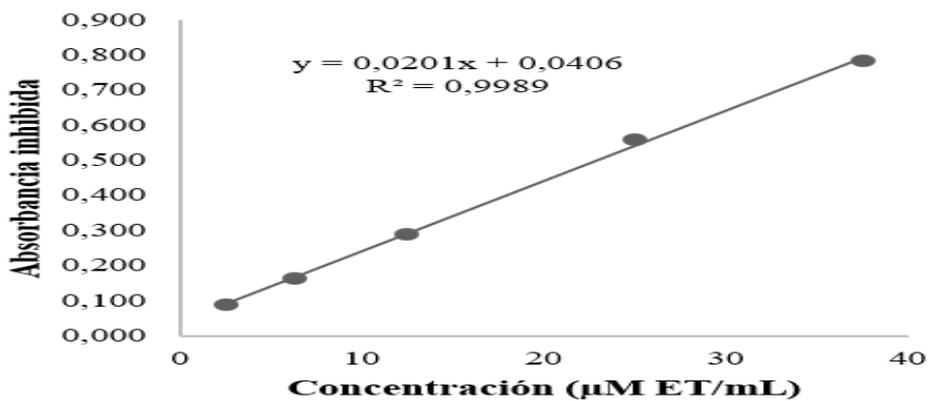
Concentración ($\mu\text{g EAG/mL}$)	Absorbancia (740nm)			
	R1	R2	R3	Promedio
1,0	0,08	0,09	0,07	0,08
2,5	0,30	0,28	0,26	0,28
5,0	0,50	0,54	0,55	0,53
7,5	0,83	0,82	0,81	0,82
10,0	1,10	1,09	1,08	1,09

R1, R2, R2 repeticiones



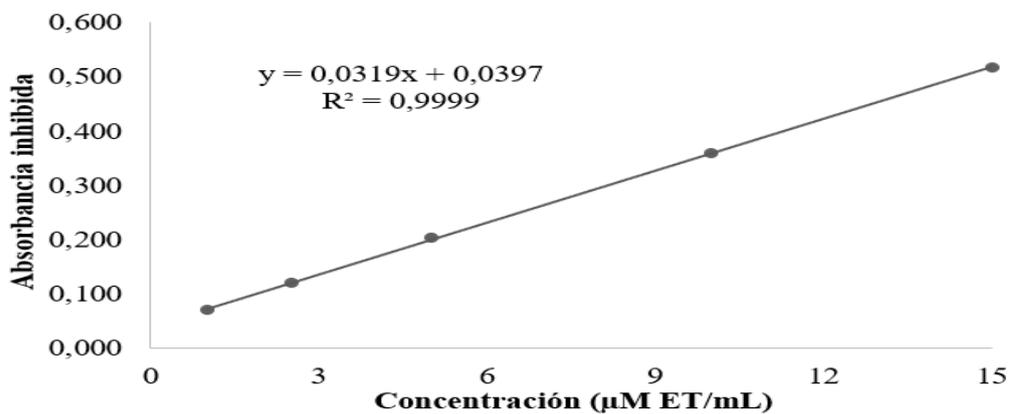
A-III. Resultados de absorbancias para la curva estándar de radical DPPH

Concentración ($\mu\text{M ET/mL}$)	Absorbancia residual	Absorbancia inhibida
37,5	0,216	0,784
25,0	0,441	0,559
12,5	0,710	0,290
6,25	0,837	0,163
2,5	0,911	0,089
Control	1	



A-IV. Resultados de absorbancias para la curva estándar de radical ABTS

Concentración ($\mu\text{M ET/mL}$)	Absorbancia residual	Absorbancia inhibida
15	0,253	0,517
10	0,412	0,358
5	0,568	0,202
2,5	0,650	0,120
1	0,701	0,069
Control	0,770	



A-V. Análisis de varianza (ANVA) de composición químico-proximal en no germinados y germinados de lenteja arveja y frijol de palo

• **A-Va. Proteína**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	171,6	34,3	12333,3	<0,0001
Error experimental	12	0,0	0,0	.....	.....
Total	17	171,6	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9998$ C.V. =0,2171 M.S.E. =0,0527 Media =24,3

• **A-Vb. Grasa**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1,0	0,2	1119,3	<0,0001
Error experimental	12	0,0	0,0	.....	.....
Total	17	1,0	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9979$ C.V. =1,4319 M.S.E. =0,0135 Media =0,94

• **A-Vc. Fibra**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	46,3	9,3	17370,9	<0,0001
Error experimental	12	0,0	0,0	.....	.....
Total	17	46,3	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9998$ C.V. =0,3899 M.S.E. =0,0231 Media =5,9

• **A-Vd. Ceniza**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	12,5	2,5	2328,6	<0,0001
Error experimental	12	0,0	0,0	.....	.....
Total	17	12,5	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9989$ C.V. =0,8349 M.S.E. =0,0327 Media =3,9

A-VI. Análisis de varianza (ANVA) de bioactividad (fenoles totales, DPPH y ABTS) de no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo

• **A-VIa. Fenoles totales**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1050705,1	210141,0	12046,3	<0,0001
Error experimental	12	209,3	17,4	.....	.....
Total	17	1050914,4	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9998$ C.V. =0,9815 M.S.E. =4,1766 Media =425,5556

• **A-VIb. Inhibición del radical DPPH**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1,83	0,37	776,05	<0,0001
Error experimental	12	0,01	0,00	.....	.....
Total	17	1,84	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9969$ C.V. =0,9004 M.S.E. =0,0217 Media =2,41

• **A-VIc. Inhibición del radical ABTS**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	34,31	6,86	619,47	<0,0001
Error experimental	12	0,13	0,01	.....	.....
Total	17	34,44	.....	.....	.....

$R^2 = 0,9961$ C.V. =2,0003 M.S.E. =0,1052 Media =5,26

A-VII. Análisis de varianza (ANVA) de macroelementos en no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo

• **A-VIIa. Calcio**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1 343,301	268,66	22,99	<0,0001
Error experimental	12	140,233	11,69	.....	.....
Total	17	1 483,534	.....	.....	.....

$R^2 = 0,905474$ C.V. =15,2532 M.S.E. =3,4185 Media =22,41

- **A-VIIIb. Sodio**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	11 793,931	2 358,786	338,21	<0,0001
Error experimental	12	83,691	6,974	.....	.....
Total	17	11 877,622	.....	.....	.....

$R^2 = 0,992954$ C.V. = 2,6163 M.S.E. = 2,6409 Media =100,94

- **A-VIIIc. Potasio**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1 453 420,22	290 684,04	23,72	<0,0001
Error experimental	12	147 080,99	12 256,75	.....	.....
Total	17	1 600 501,21	.....	.....	.....

$R^2 = 0,908103$ C.V. =8,2610 M.S.E. =110,71 Media =1340,15

- **A-VIII d. Magnesio**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1 809,20	361,84	9,48	<0,0007
Error experimental	12	457,97	38,16	.....	.....
Total	17	2 267,17	.....	.....	.....

$R^2 = 0,797998$ C.V. =4,9169 M.S.E. =6,1777 Media =125,64

A-VIII. Análisis de varianza (ANVA) de micr-minerales en no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo

- **A-VIIIa. Hierro**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1,12	0,22	5,07	<0,0099
Error experimental	12	0,53	0,04	.....	.....
Total	17	1,65	.....	.....	.....

$R^2 = 0,992954$ C.V. = 2,6163 M.S.E. = 2,6409 Media =100,94

- **A-VIIIb. Manganeso**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	2,16	0,14	6,03	<0,0001
Error experimental	12	0,53	0,22	.....	.....
Total	17	2,69	.....	.....	.....

$R^2 = 0,992954$ C.V. = 2,6163 M.S.E. = 2,6409 Media =100,94

- **A-VIIIc. Cobre**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	0,444	0,088	49,05	<0,0001
Error experimental	12	0,022	0,002	.....	.....
Total	17	0,466	.....	.....	.....

$R^2 = 0,992954$ C.V. = 2,6163 M.S.E. = 2,6409 Media =100,94

A-IX. Análisis de varianza (ANVA) de propiedades térmicas de gelatinización de no germinados y germinados de lenteja, arveja y frijol de palo

- **A-IXa. Temperatura inicial**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	728,551	145,710	126,21	<0,0001
Error experimental	12	13,854	1,154	.....	.....
Total	17	742,405	.....	.....	.....

$R^2 = 0,981339$ C.V. =1,5562 M.S.E. =1,0745 Media =69,043

- **A-IXb. Temperatura pico**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	585,432	117,086	138,21	<0,0001
Error experimental	12	10,166	0,847	.....	.....
Total	17	595,598	.....	.....	.....

$R^2 = 0,982931$ C.V. =1,2171 M.S.E. =0,9204 Media =75,621

- **A-IXc. Temperatura final**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	448,010	89,602	107,60	<0,0001
Error experimental	12	9,993	0,833	.....	.....
Total	17	458,003	.....	.....	.....

$R^2 = 0,978182$ C.V. =1,1046 M.S.E. =0,9125 Media =82,611

- **A-IXd. Entalpía de gelatinización**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	P valor
Harina de leguminosas	5	1,011	0,202	37,34	<0,0001
Error experimental	12	0,065	0,005	.....	.....
Total	17	1,076	.....	.....	.....

$R^2 = 0,939612$ C.V. = 9,0529 M.S.E. =0,0736 Media =0,813