

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**T E S I S**

**“EVALUACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN  
MINERAL EXISTENTE EN DIFERENTES MENESTRAS ORIGINARIAS DEL  
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, USANDO ESPECTROSCOPIA DE RUPTURA  
INDUCIDA POR LÁSER (LIBS)”**

Para optar el Título profesional de:

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentado por la Bachiller:

**MARÍA LUCERO GARCÍA ARÉVALO**

Asesor:

**DR. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**

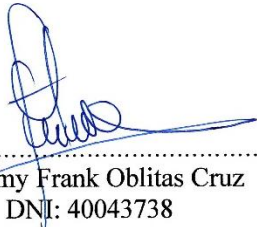
**2026**

**CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. Investigador:  
María Lucero García Arévalo  
DNI: N° 75915566  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
**INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
2. Asesor:  
**Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz**  
Facultad/Unidad UNC:  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
**“EVALUACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN MINERAL EXISTENTE EN DIFERENTES MENESTRAS ORIGINARIAS DEL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, USANDO ESPECTROSCOPIA DE RUPTURA INDUCIDA POR LÁSER (LIBS)”**
6. Fecha de evaluación: 25/03/2026
7. Software antiplagio:  TURNITIN    URKUND (ORIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 14%
9. Código Documento: oid::: 3117:571370170
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 06/04/2026

*Firma y/o Sello  
Emisor Constancia*



.....  
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz  
DNI: 40043738

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
Secretaría Académica



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Cajamarca, a los doce días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente **2H - 204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 155-2026-FCA-UNC, de fecha 09 de febrero del 2026**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EVALUACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN MINERAL EXISTENTE EN DIFERENTES MENESTRAS ORIGINARIAS DEL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, USANDO ESPECTROSCOPIA DE RUPTURA INDUCIDA POR LÁSER (LIBS)"**, realizada por la Bachiller **MARÍA LUCERO GARCÍA ARÉVALO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.


A las siete horas y veinte minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciocho (18); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Gerardo Salhuana Granados**  
**PRESIDENTE**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones**  
**SECRETARIO**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez**  
**VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios silenciosos y por creer en mi incluso en los momentos más difíciles. Su ejemplo de trabajo, responsabilidad y fortaleza me ha inspirado a seguir adelante y a culminar esta importante etapa con orgullo y gratitud.

A mi hijo, por ser mi motivación a ser mejor cada día y a mi esposo, por su apoyo a continuar adelante, a seguir mis sueños y perseverar por mis metas.

A mis hermanos, por su compañía, comprensión y apoyo inquebrantable. Ellos fueron una fuente constante de ánimo y alegría, recordándome siempre la importancia de la unión familiar y del amor que trasciende cualquier distancia o dificultad.

Y finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de mi camino académico y personal. A todos ellos, les extiendo mi gratitud por acompañarme en este proceso y por ser parte esencial de este logro que hoy celebro con humildad y emoción.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por haberme otorgado la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesaria para culminar con éxito esta etapa de mi formación profesional. Su guía espiritual fue esencial para mantenerme firme y enfocada en cada desafío del camino.

De manera especial quiero manifestar mi sincero reconocimiento al Dr. Ing. Jimmy Frank Oblitas Cruz, asesor de esta investigación, por su orientación constante, su compromiso académico y su valioso acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo. Su guía experta y sus oportunas observaciones fueron pilares fundamentales para la consolidación de mi propuesta.

Asimismo, expreso mi gratitud a los docentes de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes, con su conocimiento, exigencia y dedicación, contribuyeron significativamente a mi formación técnica, ética y profesional. Su ejemplo y vocación fueron fuente de inspiración en mi proceso de aprendizaje.

Finalmente, Agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y guiarme con valores de excelencia, ética y compromiso que me acompañarán en mi desarrollo personal y profesional.

## INDICE

<b>I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Descripción del Problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Justificación Teórica .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. Justificación Académica/ Practica .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.3. Justificación Social .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.4. Justificación Económica.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. Objetivo General .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Hipótesis .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.1. Hipótesis Alternativa.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2. Hipótesis Nula.....</b>	<b>5</b>
<b>1.6. Variables .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6.1. Variable Independiente .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6.2. Variable Dependiente .....</b>	<b>6</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Antecedentes .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Marco Teórico.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1. Leguminosas, Legumbres y Menestras.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2. Frijol: (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3. Lentejas: (<i>Lens culinaris</i>) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4. Arvejas: (<i>Pisum sativum</i>).....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.5. Habas: (<i>Vicia faba L.</i>).....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.6. Garbanzo: (<i>Cicer arietinum L.</i>) .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.7. Pallar: (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.8. Minerales .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.9. Espectroscopia LIBS .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.10. Aplicaciones de LIBS en la Industria Alimentaria.....</b>	<b>43</b>
<b>2.3. Definición de Términos.....</b>	<b>45</b>

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Ubicación.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Materiales.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.1. Materia Prima .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 Metodología.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.1. Tipo y diseño de investigación.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.2. Población y Muestra.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.3. Diseño experimental .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.4. Croquis del experimento .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.6. Descripción de evaluación por método LIBS .....</b>	<b>57</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1. Resultados .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.1. Identificación de la composición mineral de las 6 muestras de menestras, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.2. Cuantificación de minerales en cada tipo de menestra .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2. Comparación con investigaciones previas .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2.3. Limitaciones del estudio .....</b>	<b>82</b>
<b>4.2.7. Aportes del estudio .....</b>	<b>82</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>87</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Especies y variedades más consumidas de leguminosas en América.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2: Variedades de leguminosas en el Perú.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 3: Composiciones nutricionales del frijol en 100 g de porción comestible.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 4: Composiciones nutricionales de Lenteja en 100 g de porción comestible. ....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 5: Valor Nutricional de la Arveja.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 6: Valor Nutricional de Haba en 100g de producto comestible. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 7: Información Nutricional del Garbanzo .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 8: Diseño experimental de diferentes muestras de menestras, usando LIBS .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 9: Intensidad de metales presentes en Frijol .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 10: Intensidad de metales presentes en Lentejas .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 11: Intensidad de metales presentes en Arvejas .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 12: Intensidad de metales presentes en Habas.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 13: Intensidad de metales presentes en Garbanzo.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 14: Intensidad de metales presentes en Pallar .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 15: Tabla de presencia de Fe, Ca, Zn, Mg, K en diferentes muestras de menestras originarias de la Región de Cajamarca. ....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Mapa Universidad Nacional de Cajamarca – Infraestructura de E.A.P. Ingeniería en Industrias Alimentarias. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 2: Distrito de Cachachi - Provincia de Cajabamba.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3: Centro Poblado de San Isidro - Provincia de San Marcos. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 4: Distrito de Matara - Provincia de Cajamarca. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 5: Caserío Chamcas, Distrito de la Encañada- Provincia de Cajamarca.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 6: Distrito Bambamarca, Provincia Hualgayoc y Departamento de Cajamarca.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 7: Distrito de Bambamarca, Prov. de Hualgayoc - Dpto de Cajamarca. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 8: Esquema Experimental.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 9: Diagrama de preparación de menestras para la obtención de pastillas a partir de la Materia Prima para pasar a LIBS.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 10: Diagrama para determinar Fe, Ca, Zn, Mg, K presentes en menestras Originarias del Departamento de Cajamarca por método LIBS. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 11: Espectros promedio de las 6 menestras analizadas .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 12: Comparación de intensidad total para Hierro .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 13: Comparación de intensidad total para Calcio .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 14: Comparación de intensidad total para Magnesio .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 15: Comparación de intensidad total para Zinc .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 16: Comparación de intensidad total para Potasio .....</b>	<b>80</b>

## INDICE ANEXOS

<b>Anexo 1: Espectro Promedio de Frijol Variedad Rojo Moteado .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 2: Espectro Promedio de Lenteja Variedad Serrana .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 3: Espectro Promedio de Arveja Variedad Blanca.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 4: Espectro Promedio de Haba Variedad Chiqui.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 5: Espectro Promedio de Garbanzo Variedad Mediano .....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 6: Espectro Promedio de Pallar Variedad Mediano.....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 7: Detalle del Proceso de Preparación de Muestras para utilizar Técnica LIBS. ...</b>	<b>101</b>

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar, cuantificar y comparar la composición mineral de diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca mediante la técnica de espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS). Se analizaron muestras de seis variedades de menestras representativas de la Región: Frijol Rojo Moteado, Lenteja Serrana, Arveja Blanca, Haba Chiqui, Garbanzo Mediano y Pallar Mediano. La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional de Cajamarca, E.A.P. Ingeniería en Industrias Alimentarias. Donde las menestras fueron molidas, prensadas en forma de pastillas y sometidas a análisis espectral, identificándose líneas características de minerales esenciales como Fe, Ca, Mg, K y Zn. La semi cuantificación se realizó mediante calibración con materiales de referencia certificados y posterior procesamiento de datos espectrales, se realizaron 2 pulsos de limpieza y 5 espectros de cada muestra. Los resultados mostraron que el Potasio (K) fue el mineral mayoritario en todas las menestras, seguido del Calcio (Ca). El haba y Lenteja presentaron el mayor contenido de Hierro (Fe), mientras que el Garbanzo registró los niveles más altos de Zn, Mg y K, destacando como la menestra con mejor aporte mineral global. El análisis estadístico (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre las variedades para Fe, Ca, Mg, Zn y K. Los resultados demuestran la eficacia de LIBS como herramienta analítica rápida y confiable para el estudio multielemental de alimentos secos (de preferencia molidos y prensados), además de aportar información relevante de Cultivos Regionales. Se concluye que el Garbanzo ofrece el mayor aporte global de minerales esenciales, mientras que el Haba y Lenteja destacan como una fuente importante de hierro; información útil para programas nutricionales y estrategias agrícolas en Cajamarca.

**Palabras clave:** LIBS, Menestras, Composición Mineral, Cajamarca, Análisis Multielemental, Espectroscopia.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate, quantify, and compare the mineral composition of different legumes originating from the Cajamarca region using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). Samples of six representative legume varieties from the region were analyzed: red speckled bean, Andean lentil, white pea, small broad bean, medium chickpea, and medium lima bean. The research was conducted at the Food Engineering Laboratory of the National University of Cajamarca, Food Industry Engineering Department. The legumes were ground, pressed into pellets, and subjected to spectral analysis, identifying characteristic lines of essential minerals such as Fe, Ca, Mg, K, and Zn. Semi-quantification was performed through calibration with certified reference materials and subsequent processing of spectral data. Two cleaning pulses and five spectra were taken from each sample. The results showed that potassium (K) was the most abundant mineral in all the legumes, followed by calcium (Ca). Broad beans and lentils showed the highest iron (Fe) content, while chickpeas registered the highest levels of zinc (Zn), magnesium (Mg), and potassium (K), standing out as the legume with the best overall mineral contribution. Statistical analysis (ANOVA) revealed significant differences between varieties for Fe, calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), and potassium (K). The results demonstrate the effectiveness of LIBS as a rapid and reliable analytical tool for the multi-element study of dried foods (preferably ground and pressed), in addition to providing relevant information on regional crops. It is concluded that chickpeas offer the highest overall contribution of essential minerals, while broad beans and lentils stand out as an important source of iron; this information is useful for nutritional programs and agricultural strategies in Cajamarca.

**Keywords:** LIBS, Legumes, Mineral Composition, Cajamarca, Multi-element Analysis, Spectroscopy.

## ***I. INTRODUCCION***

### **1.1. Descripción del Problema**

Dentro de la ingesta diaria alimentaria es crucial cumplir con las cantidades de nutrientes que nuestro organismo necesita, dichos nutrientes se encuentran en los diferentes grupos de alimentos; tales como: Verduras y Frutas, Cereales y Tubérculos, Leguminosas y Alimentos de Origen Animal, Leche y Derivados, y Grasas y Aceites. Es así, que, en el Grupo de Leguminosas y Alimentos de Origen Animal, se encuentran las menestras quienes son muy importantes por ser fuente de nutrientes esenciales (proteínas, fibra, vitaminas y minerales), (ScienceDirect, 2019). Su contenido mineral, que incluye elementos esenciales como hierro, calcio, potasio, magnesio y zinc, desempeña un papel fundamental en la salud humana. Sin embargo, la composición mineral de estos alimentos puede variar significativamente dependiendo de factores como las condiciones edafoclimáticas, la variedad y los procesos de almacenamiento, (AAN, 2016).

A pesar de su relevancia, en Cajamarca no existe suficiente información científica actualizada que permita conocer con precisión la composición mineral de las diferentes menestras producidas en el Departamento de Cajamarca. Así mismo, esta investigación surge desde la experiencia al requerir una menestra que aporte hierro, por la existencia de deficiencia de Fe, por ello se propone comparar las menestras de origen Cajamarquino, con el fin de informar a la población. Es así que la información disponible suele provenir de tablas nutricionales generales o estudios realizados en otras localidades, lo que podría no reflejar las características propias de las menestras cultivadas en suelos cajamarquinos.

Por otro lado, la espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS) es una técnica analítica innovadora basada en la emisión atómica para el análisis, identificación y cuantificación de elementos en diferentes materiales, (Pontes et al., 2010).

En detalle, LIBS mediante un pulsador láser de alta energía vaporiza de inmediato una pequeña parte de la muestra en investigación y así genera un plasma ionizado en la superficie. A medida que este plasma se expande y se enfría, emite luz a longitudes de onda específicas, dichas líneas espectrales atómicas/iónicas características (conocidas como líneas espectrales LIBS) son emitidas por las especies atómicas/iónicas excitadas presentes en el plasma. Es así, que la emisión óptica del plasma al contener la firma espectral de todos los elementos presentes en el material de muestra, puede determinar la composición elemental de la misma, (Alvira, 2010).

En este contexto, el uso de técnicas avanzadas como la espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS) representa una oportunidad para obtener datos rápidos, precisos y no destructivos sobre la composición mineral de los alimentos. Sin embargo, hasta el momento, no se han desarrollado estudios locales que utilicen esta tecnología para evaluar las menestras cajamarquinas.

Por ello, con esta investigación se procura demostrar el latente potencial de espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS) al utilizar diferentes menestras, tales como: frijoles, arvejas, lentejas, garbanzos, pallares, habas, para evaluar, cuantificar y comparar su composición mineral.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Será posible la Evaluación, Cuantificación y Comparación de Composición Mineral existente en diferentes Menestras originarias del Departamento de Cajamarca, usando Espectroscopia de Ruptura Inducida por Láser (LIBS)?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación Teórica**

La presente investigación se sustenta en los fundamentos de la química analítica instrumental y en el estudio de la composición mineral de alimentos de origen vegetal. Si bien existen investigaciones sobre contenido mineral en leguminosas, la información específica referente a menestras originarias del departamento de Cajamarca es limitada y poco actualizada. El estudio permitirá ampliar el conocimiento científico sobre la variabilidad mineral en función del tipo de menestra y su zona de procedencia, aportando evidencia empírica que contribuya a la literatura existente en el campo del análisis agroalimentario. Asimismo, fortalecerá el marco conceptual relacionado con la aplicación de la Espectroscopía de Ruptura Inducida por Láser (LIBS) como técnica emergente para la determinación multielemental en matrices alimentarias, (Moncayo, 2017). De esta manera, la investigación contribuirá al desarrollo teórico sobre caracterización mineral y validación de métodos analíticos en alimentos.

#### **1.3.2. Justificación Académica/ Practica**

La investigación permitirá evaluar la viabilidad de la técnica LIBS como método alternativo para la determinación de minerales en alimentos, considerando su rapidez, mínima preparación de muestra, carácter multielemental y reducción en el uso de reactivos químicos, lo que puede representar una alternativa viable frente a métodos convencionales, (Alvira, 2010). La validación y aplicación de esta metodología en menestras originarias del departamento de Cajamarca contribuirá a ampliar su campo de uso en el análisis agroalimentario, promoviendo el desarrollo tecnológico en la región de Cajamarca. Así, mismo; los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones relacionadas con calidad nutricional, trazabilidad y diferenciación de productos agrícolas.

#### **1.3.3. Justificación Social**

Las menestras constituyen un alimento fundamental en la dieta de la población Cajamarquina y son una fuente importante de minerales esenciales para la salud humana, como hierro, calcio, magnesio, zinc y potasio. Contar con información precisa sobre su composición mineral favorece la toma de decisiones en programas de nutrición, seguridad alimentaria y salud pública. Además, el conocimiento de su valor nutricional puede contribuir a promover el consumo informado y mejorar la calidad de la alimentación en el departamento de Cajamarca.

#### **1.3.4. Justificación Económica**

El departamento de Cajamarca posee una importante producción agrícola de menestras. La caracterización mineral puede contribuir a la valorización comercial de estos productos, permitiendo diferenciarlos por calidad nutricional y potencialmente fortaleciendo su competitividad en mercados regionales y nacionales. Asimismo, la aplicación de técnicas analíticas rápidas como LIBS podría representar una alternativa más eficiente y de menor costo operativo frente a métodos convencionales, favoreciendo su implementación en laboratorios locales.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

- Identificar, Cuantificar y Comparar la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los minerales presentes en variedades de menestras originarias del departamento de Cajamarca; frijol rojo moteado, lenteja serrana, arveja blanca criolla, garbanzo mediano, haba chiqui y pallar mediano.
- Cuantificar la composición mineral de cada una de las muestras de las diferentes menestras, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).
- Comparar los resultados de la composición de minerales de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, para lograr identificar cuál de ellas brinda mayores beneficios a la población.
- Evaluar la viabilidad de la técnica LIBS como método analítico para el análisis de alimentos de la Región de Cajamarca.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis Alternativa**

- Será posible la evaluación, cuantificación y comparación de la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, utilizando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).

### **1.5.2. Hipótesis Nula**

- No será posible la evaluación, cuantificación y comparación de la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, utilizando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).

## **1.6. Variables**

### **Factor en estudio**

El principal factor en la investigación es el contenido de minerales en las diferentes muestras de menestras, puesto que al culminar el estudio se comparará el valor nutritivo de cada una de ellas.

### **1.6.1. Variable Independiente**

Muestras de menestras del departamento de Cajamarca:

- Frijol rojo moteado
- Lenteja serrana
- Arveja blanca criolla
- Haba chiqui
- Garbanzo mediano
- Pallar mediano.

### **1.6.2. Variable Dependiente**

Se identificaron y determinaron la concentración de minerales:

- Concentración de (Fe) evaluado mediante LIBS.
- Concentración de (Ca) evaluado mediante LIBS.
- Concentración de (Zn) evaluado mediante LIBS.
- Concentración de (Mg) evaluado mediante LIBS.
- Concentración de (K) evaluado mediante LIBS.
- Comparación de Composición mineral de las distintas muestras de menestras del departamento de Cajamarca.

## ***II. REVISIÓN DE LITERATURA***

### **2.1. Antecedentes**

(Lainez, 2024), en su investigación sobre LIBS, menciona que este equipo ofrece una solución rápida y efectiva para diversos desafíos. Puesto que se ha utilizado para analizar la composición mineral de productos lácteos y carnes, detectar adulteraciones en cereales y especias, e incluso para identificar la presencia de metales pesados en vegetales y cereales. La capacidad de LIBS para proporcionar resultados casi inmediatos es particularmente valiosa en contextos donde el tiempo es un factor crítico, como en la inspección de líneas de producción en tiempo real. Este antecedente aporta sustento metodológico a la presente investigación, ya que confirma la viabilidad del uso de LIBS en alimentos de origen vegetal, similares en naturaleza a las menestras objeto de estudio. Asimismo, refuerza la elección de esta técnica como herramienta adecuada para la identificación y cuantificación de la composición mineral en menestras originarias del departamento de Cajamarca, debido a su rapidez, mínima preparación de muestra y potencial para aplicaciones en tiempo real. En ese sentido, la investigación propuesta amplía el campo de aplicación de LIBS hacia la caracterización mineral específica de menestras regionales, contribuyendo a generar información científica local y fortaleciendo el uso de tecnologías analíticas modernas en el ámbito agroalimentario.

(ScienceDirect, 2019), en su investigación “Determinación de alta sensibilidad de cadmio y plomo en arroz mediante espectroscopia de descomposición inducida por láser”, detalla que se propuso un método de pretratamiento de muestras simple y de bajo costo denominado método de transformación sólido-líquido-sólido. Los analitos cadmio (Cd) y plomo (Pb) de las muestras de arroz se prepararon mediante extracción asistida por ultrasonidos en solución de ácido clorhídrico. La solución se dejó caer en el portaobjetos de vidrio después del proceso de centrifugación y se secó en un calentador. Finalmente, se realizó el portaobjetos de vidrio que contenía los analitos para la determinación de LIBS. En comparación con el método de pellets convencional, la intensidad espectral de los elementos Cd y Pb se mejoró significativamente utilizando LIBS. Los límites de detección fueron de 2,8 y 43,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. Los límites de cuantificación fueron 9,3 y 145,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. Los resultados demostraron que LIBS junto con la extracción asistida por ultrasonido debería ser una herramienta prometedora para detectar elementos tóxicos en el arroz. Para la presente investigación, este trabajo constituye un referente metodológico importante, ya que respalda la viabilidad de aplicar LIBS en alimentos de origen vegetal no solo para macro y micronutrientes, sino también para la posible identificación de metales traza. Además, orienta sobre alternativas de preparación de muestra que podrían considerarse para optimizar la señal espectral y mejorar los límites de detección en el análisis mineral de menestras originarias del departamento de Cajamarca.

(Romero, 2022), en su investigación detalla que ha aplicado las técnicas de espectroscopía LIBS y Raman a nueve muestras diferentes de miel. Con el fin de identificar parte de su composición molecular y atómica, se han analizado cientos de espectros correspondientes a cada miel. Gracias a LIBS, se ha obtenido que, desde el punto de vista atómico, se tienen elementos (iones) como carbono, C(I); magnesio, Mg (I) o Mg(II); calcio, Ca (I) o Ca (II); potasio, K(I); fósforo, P(II); sodio, Na(I); nitrógeno, N(I); oxígeno, O(I); hidrógeno, H(I) o incluso litio, Li(I). Por su parte, con la técnica de espectroscopía Raman se ha detectado gran presencia de moléculas como glucosa o fructosa e incluso proteínas que no se han podido identificar. Finalmente, se ha aplicado un algoritmo de análisis discriminante lineal (LDA) a distintas regiones de los espectros medidos. Se ha determinado que la clasificación de los tipos de miel con este algoritmo es significativamente mejor en el caso de los resultados obtenidos con la espectroscopía Raman. Asimismo, se ha concluido que para ambas técnicas la región que mejor

permite la discriminación es todo el rango estudiado a partir del permitido por el montaje experimental (200–2800  $\text{cm}^{-1}$  para Raman y 200–890 nm en el caso de LIBS). Este antecedente es relevante para el presente estudio, ya que demuestra la capacidad de LIBS para identificar la composición atómica en matrices alimentarias complejas, puesto que en dicho trabajo han logrado detectar elementos como carbono, magnesio, calcio, potasio, fósforo, sodio, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y litio, evidenciando el potencial multielemental de la técnica.

(Banu et al., 2018), en su investigación “Una herramienta rápida para la determinación del contenido de dióxido de titanio en muestras de garbanzo blanco”. Menciona que, realizó una medición rápida y cuantitativa del contenido de  $\text{TiO}_2$  en muestras de alimentos utilizando LIBS, y los resultados obtenidos se compararon con mediciones de ICP-MS. Los métodos convencionales utilizados para la determinación del contenido de  $\text{TiO}_2$ , como ICP-MS, son laboriosos y requieren pasos de preparación de muestras tediosos (por ejemplo, incineración) y el uso de productos químicos peligrosos. Este estudio proporcionó una buena alternativa para determinar el  $\text{TiO}_2$  en muestras de alimentos. El método LIBS desarrollado es un método simple, rápido y confiable para la determinación cuantitativa del contenido de  $\text{TiO}_2$  en muestras de garbanzos blancos. Dado que LIBS puede analizar un número mucho mayor de muestras en un corto período de tiempo, se propone como una herramienta valiosa para el análisis de control de calidad de los alimentos. Este antecedente aporta sustento científico a la presente investigación al evidenciar que LIBS puede emplearse como alternativa eficiente frente a métodos convencionales que requieren procesos complejos de preparación de muestra, como incineración o digestión química, además del uso de reactivos peligrosos. La simplicidad, rapidez y confiabilidad del método desarrollado en garbanzos blancos, una leguminosa; al igual que las menestras objeto del presente estudio, refuerza la viabilidad de aplicar LIBS en matrices vegetales similares.

(Banu & Gonca, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Based Protein Assay for Cereal Samples, 2016), en su investigación “Ensayo de proteínas basado en espectroscopía de ruptura inducida por láser para muestras de cereales”. Menciona que los métodos de análisis convencionales, Kjeldahl y Dumas, tienen importantes inconvenientes, como el largo tiempo de análisis, errores de titulación y dependencia del gas portador con alta pureza. Por ello, existe una necesidad urgente de tecnologías rápidas, fiables y respetuosas con el medio ambiente para

el análisis de proteínas. Es así que, en su estudio tiene como objetivo desarrollar un nuevo método para el análisis de proteínas en harina de trigo y harina integral utilizando espectroscopia de descomposición inducida por láser (LIBS), que es un método espectroscópico multielemental, rápido y simple. A diferencia de los métodos Kjeldahl y Dumas, tiene el potencial de analizar un gran número de muestras en un tiempo considerablemente corto. En el estudio, los picos de nitrógeno en los espectros LIBS de muestras de harina de trigo y harina integral con diferentes contenidos de proteínas se correlacionaron con los resultados del método estándar Dumas con la ayuda de métodos quimiométricos. Esta investigación demuestra la importancia del apoyo de métodos estadísticos y quimiométricos para mejorar la precisión y validez de los resultados, aspecto que puede ser incorporado en el análisis comparativo de la composición mineral entre las diferentes menestras estudiadas del departamento de Cajamarca.

(Trevizan et al., 2008), en su investigación “Evaluación de la espectroscopia de descomposición inducida por láser para la determinación de macronutrientes en materiales vegetales”, mencionan que debido a la falta de información sobre el análisis LIBS de muestras agrícolas y ambientales, han evaluado un sistema LIBS para la determinación de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) en pellets de materiales de referencia vegetales, diseñando un montaje experimental donde utilizaron un láser Nd:YAG que opera a 1064 nm y un espectrómetro Echelle con detector ICCD. Así mismo, estimaron la temperatura del plasma mediante gráficos de Boltzmann y evaluaron parámetros instrumentales como el tiempo de retardo, la distancia lente-muestra y la energía del pulso. Utilizaron materiales de referencia certificados, así como materiales de referencia, para las calibraciones analíticas de P, K, Ca y Mg. Y obtuvieron que la mayoría de los resultados del análisis directo de muestras vegetales mediante LIBS concordaron razonablemente con aquellos obtenidos por ICP OES tras la descomposición ácida en húmedo. Este antecedente aporta un sustento metodológico sólido a la presente investigación en dos aspectos. Primero, demuestra que la técnica LIBS es viable para el análisis directo de materiales vegetales, con resultados comparables a técnicas convencionales ampliamente aceptadas. Segundo, destaca la importancia de optimizar los parámetros instrumentales y emplear materiales de referencia para mejorar la exactitud y confiabilidad de los resultados.

(Banerjee et al., 2010), En su investigación “Contaminación por metales pesados en frutas y verduras en dos distritos de Bengala Occidental, India”, menciona que se recogieron y analizaron muestras (frutas, verduras y suelos) de seis lugares en regiones de cultivo de frutas y verduras para determinar el contenido de metales pesados. La concentración media de cobre en todas las muestras (lavadas) recolectadas de diferentes áreas está dentro del valor seguro recomendado por la FAO/OMS. La concentración de plomo en casi todas las muestras recolectadas, y de cadmio y cromo en algunas de ellas, supera el límite permitido. Así mismo, este estudio investigó la magnitud de la contaminación por metales pesados en frutas y verduras y destaca el peligro creciente de consumir frutas y verduras frescas. No se encontró ninguna muestra de suelo que contenga metales pesados por encima de la concentración permitida, lo que muestra que la contaminación se debe principalmente a los gases de escape de automóviles, pesticidas y gases industriales. Este antecedente aporta relevancia y justificación a la presente investigación, ya que pone de manifiesto la importancia de evaluar el contenido nutricional mineral de los alimentos, además de la posible presencia de elementos potencialmente tóxicos en matrices vegetales. En el contexto del análisis de menestras originarias del departamento de Cajamarca, este estudio refuerza la necesidad de realizar una caracterización mineral integral, que considere tanto macro y micronutrientes esenciales como posibles metales traza.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Leguminosas, Legumbres y Menestras**

#### **Leguminosas**

Las leguminosas son plantas de la familia de las Fabaceae (también conocidas como fabáceas). Se caracterizan por tener frutos en forma de vaina, dentro de las cuales se desarrollan los granos o semillas comestibles, que son lo que llamamos legumbres, (FAO, 2016).

Segun, (FAO, 2016) entre sus características más notables, las leguminosas tienen capacidad de fijación biológica del nitrógeno, un hito natural que habría tenido y tiene gran relevancia en el enriquecimiento productivo de los suelos.

#### **Menestras**

**Definición:** Legumbre seca, (RAE, 2025).

## **Legumbres**

**Origen:** Las legumbres pertenecen a la familia vegetal Fabaceae o Leguminosae, el tercer grupo de plantas más numeroso del planeta, de distribución global y cuyo origen se presume hace alrededor de 90 millones de años, con un proceso de diversificación que habría comenzado en el Terciario temprano, (FAO, 2016).

**Definición:** Se consideran legumbres secas a las semillas deshidratadas comestibles de leguminosas que producen de uno a doce granos de diferente tamaño, forma y color dentro de una vaina, (FAO, 2016).

De acuerdo con (Chiape V, 1994), las legumbres son una valiosa fuente de proteínas, hierro y calcio, por lo que son fundamentales para la alimentación humana. Por ello, los expertos sugieren que se debe aprovechar al máximo este recurso para mejorar los niveles nutricionales de la población.

A pesar de que la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) sugiere un consumo de 9 kg de legumbres por persona al año, la producción alimentaria global no está a la par del rápido crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos dietéticos. Actualmente, el consumo mundial promedio es de unos 7 kg por persona al año, mientras que en Perú este valor asciende a 7.5 kg por persona al año.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en un estudio de (AAN, 2016), señaló una leve baja en el consumo mundial de legumbres, que actualmente se sitúa en 7 kilogramos por persona al año. Por ello el estudio realizado por la Agencia Agraria de Noticias aporta valiosa información sobre el consumo de legumbres a la presente investigación.

En 2016, el consumo promedio de leguminosas por persona en América fue de 5.4 kg anuales, cifra inferior al promedio global. Dentro de esta categoría, las legumbres secas representaron el mayor consumo, alcanzando los 10.8 kg por persona al año. Específicamente en América del Sur, el consumo per cápita de leguminosas se situó en 5.2 kg anuales. En esta subregión, los frijoles fueron la leguminosa más consumida, con un promedio de 8.78 kg por persona al año.

Un estudio llevado a cabo en Santander, Colombia (Prada et al., 2003), utilizó tres encuestas transversales para analizar los hábitos de consumo de leguminosas y los patrones alimentarios en diferentes grupos de edad. Los hallazgos revelaron diferencias en el consumo de leguminosas entre las áreas urbanas y rurales. Se encontró que el 36.4% de los participantes consumen leguminosas secas, siendo la arveja (guisante) y el frijol las más populares. Más de la mitad de quienes consumen leguminosas optan por la arveja verde, mientras que uno de cada diez consume frijol. Además, el estudio observó que los escolares y las mujeres en zonas urbanas consumen más leguminosas secas que las madres en áreas rurales. En cuanto al gasto, las familias destinan menos del 2% de su presupuesto total en alimentos a la compra de leguminosas, y esta adquisición es mayor en hogares con menores ingresos.

Un estudio realizado por (Garcia et al., 2009) sobre las leguminosas en Venezuela, reveló que el consumo de estos alimentos en el país ha mostrado fluctuaciones significativas en las últimas décadas. Por ejemplo, en 2004, la disponibilidad para el consumo fue de 14.6 gramos por persona al día. Las leguminosas más consumidas en Venezuela fueron la caraota negra, el frijol, la arveja (guisante) y el quinchoncho. Además, el estudio encontró que el consumo de leguminosas está vinculado a factores como la edad, el nivel de ingresos y el tipo de comunidad (urbana o rural).

Preferencias y Consumo de Frijol en México (Rodriguez- Licea et al., 2010). Un análisis de las preferencias del consumidor de frijol en México, realizado en varias regiones, reveló un consumo variado de esta leguminosa. Este estudio destacó que la demanda per cápita ha disminuido significativamente, pasando de 18.45 kg por persona al año en los años sesenta a 11.0 kg anuales a partir del año 2000. En cuanto a las variedades preferidas, los frijoles negros dominan con un 35.8% del consumo, siendo el Jamapa, Veracruz y los arrayanes los más populares. Un 26.6% de los consumidores opta por variedades claras, entre las que destacan el peruano y las flores de mayo y junio. Finalmente, el 14.8% prefiere los frijoles pintos, tanto nacionales como importados.

Un estudio del Ministerio de Salud de Costa Rica, referenciado por (Rodríguez- Catillo & Fernández- Rojas, 2003), destaca que promover el consumo de frijoles podría aumentar significativamente el aporte de nutrientes en la dieta. No obstante, se ha observado una tendencia a la baja en la cantidad y frecuencia de consumo de leguminosas, especialmente en las zonas urbanas.

Un estudio realizado en Ecuador (INIAP, 2013) encontró que tanto la comercialización como el consumo de leguminosas de grano son bastante diversos y heterogéneos. Los ecuatorianos consumen una amplia variedad de leguminosas, mostrando una clara preferencia por el estado tierno. Entre estas se incluyen el haba pallar, la habichuela, el caupí, la arveja, el frijol de palo, el haba y el frijol común.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2009), cada peruano consume un promedio de 2.5 kg de leguminosas al año. Dentro de esta categoría, la arveja (fresca y seca) es la más popular, con un consumo de 3.8 kg por persona al año.

Específicamente en el departamento de Cajamarca, el consumo per cápita de leguminosas es ligeramente superior, alcanzando los 3.9 kg por persona al año (INEI, 2009). Este estudio aporta información sobre el consumo de legumbres en la Región Cajamarca a la presente investigación.

**Tabla 1: Especies y variedades más consumidas de leguminosas en América.**

<b>Especie</b>	<b>Variedad</b>	<b>Región y/o País</b>
<b>Frijol</b> (Phaseolus vulgaris)	Alubia	Argentina
	Laran, canario centinela	Perú
	Bayos, pinto, Jamapa, mayocoba	México
	Carioca, chumbinho, rosinha	Brasil
	Cargamanto, radical, argentino	Colombia
	Canario	Ecuador
	Zamorano	Honduras
	Rojo Oriente	Bolivia
	ICTA ligero	Guatemala
	Tacarigua	Venezuela
Red Kidney	USA	
<b>Lenteja</b> (Lens Culinaris)	Crimson	USA y Canadá
	Crimson pelada	USA y Canadá
	Verdina	USA y Canadá
	Pardina	USA
	Richlea	USA y Canadá
Lenteja grande	USA y Latinoamérica	
<b>Alverja</b> (Pisum Sativum)	Amarillo	América
	Verde	América
<b>Haba</b> (Vicia Faba)	Minor, equina, major	Sudamérica
<b>Garbanzo</b> (Cicer arietinum)	Kulabi	Centroamérica y Sudamérica
	Desi	América

**Fuente: Tomado de (FAO, 2016)**

**Tabla 2: Variedades de leguminosas en el Perú**

<b>Especie</b>	<b>Variedad</b>
<p style="text-align: center;"><b>Frijol</b> (Phaseolus vulgaris)</p>	<p>Frijol Amarillo Peruano (amarillo canario), Canario Camanejo, Amarillo Dorado, Amarillo Regional, Alubia, Blanco Larán, Blanco Arriñonado, Blanco Caballero, Blanco Mediano, Panamito, Panamito Redondo, Bayo, Bayo Andino, Gloriabamba, Pinto Redondo, Cranberry, Cranberry Alargado, Rosado Pequeño, Rojo Arriñonado, Rojo Moteado, Caraota, Ñuña Pava, Ñuña Soya, Checche Poroto, Vaquita Poroto, Ñuña Jabona, Ñuña Blanca, Ñuña Negra, sonoc Poroto.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Lenteja</b> (Lens Culinaris)</p>	<p>Lenteja grande, mediana, lentejita serrana.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Alverja</b> (Pisum Sativum)</p>	<p>Blanca Criolla, Usui, Azul, Crema Rugosa.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Haba</b> (Vicia Faba)</p>	<p>Blanca Gigante, Verde Pacae, Chiqui, Moroquito, Cusqueñita, Chacha, Quelcao, Haba Roja.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Garbanzo</b> (Cicer Arietinum)</p>	<p>Garbanzo Blanco, Garbanzo Mediano o Criollo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Pallar</b> (Pisum Lunatus)</p>	<p>Pallar Iqueño, Pallar Mediano, Pallar Bebe, Pallar Bebe Verde, Pallar Papa</p>

**Fuente:** Tomado de (MINAGRI, 2016)

## **Procedencia de leguminosas en Perú**

A pesar del bajo consumo de legumbres en Perú, estas son el tercer cultivo más importante a nivel nacional para la alimentación humana, solo superadas por el arroz y la papa. Más de 140 mil familias de agricultores peruanos dependen de las leguminosas para sus ingresos, (MIDAGRI, 2018).

En 2015, se cosecharon 230 mil hectáreas de legumbres en el país, produciendo un total de 280 mil toneladas. Perú cultiva hasta doce de las quince especies de legumbres que se producen en toda América Latina. El frijol es la legumbre más producida, con 110 mil toneladas, seguido por el haba, la arveja, la lenteja y el garbanzo, (MINAGRI, 2016).

En Perú, la arveja (tanto fresca como seca) es la leguminosa más consumida, con un promedio de 3.8 kg por persona al año. Le siguen las habas (frescas y secas) con 3.5 kg por persona al año, el frijol con 2.6 kg por persona al año, y la lenteja con 1.8 kg por persona al año, (INEI, 2009).

La mayoría de las leguminosas consumidas en Cajamarca provienen de la producción rural local. En 2014, la producción departamental incluyó: 54 toneladas de frijol castilla, 72 toneladas de frijol palo, 1,503 toneladas de lenteja, 19,154 toneladas de arveja de grano verde, 15,179 toneladas de arveja de grano seco, 16,665 toneladas de frijol de grano seco, 3,704 toneladas de haba de grano seco y 3,123 toneladas de haba de grano verde. Sin embargo, debido a la alta demanda en la región, una parte significativa de las leguminosas también se importa de otras zonas, (INEI, 2014).

## **Valor nutricional de Leguminosas**

**Macronutrientes:** Las legumbres son cruciales en la dieta por su alto contenido de proteínas, que es el doble o incluso el triple que el de la mayoría de los cereales. En naciones con ingresos muy bajos, las legumbres contribuyen con aproximadamente el 10% de las proteínas diarias y el 5% de la energía en la alimentación de la población, fibra entre 12g y 28.9g por cada 100 gramos de consumo de legumbres, (FAO, 2021).

Según (Prada et al., 2003), un factor clave que contribuye al bajo consumo de leguminosas es la falta de conocimiento sobre su valor nutricional. De hecho, estudios locales indican que las leguminosas suelen ser vistas como alimentos de "escaso valor nutricional" o con un valor similar al de los cereales, lo cual no es preciso dada su riqueza en proteínas y otros nutrientes esenciales.

**Micronutrientes:** Las legumbres tiene vitaminas, compuestos orgánicos necesarios para el metabolismo, tales como Vitamina B9/folato. Además, también tiene elementos inorgánicos clave para los huesos y funciones (hierro, calcio, magnesio, zinc, potasio), (FAO, 2016).

### **Leguminosas que analizaremos y compararemos en esta investigación:**

#### **2.2.2. Frijol: (*Phaseolus vulgaris*)**

El frijol común es una de las leguminosas de semilla comestible más relevantes a nivel global, presente hoy en los cinco continentes. Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao, (Cordova, 2025).

Según (Villanueva & Aroldo, 2010), el frijol es la leguminosa más estudiada en América Latina. Esto se debe a que es una fuente principal de proteína y un componente esencial en la dieta de la población. Su importancia radica en el bajo costo de su proteína en comparación con la de origen animal.

Según (Morales & Lamz, 2020), el género de plantas *Phaseolus* es originario del continente americano, con una gran concentración de sus especies en la región de Mesoamérica.

Según (Hernandez et al., 2013), la especie domesticada de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) representa más del 90% del cultivo sembrado a nivel mundial y es la leguminosa más consumida en todo el mundo.

### **Producción y cultivo de frijol en Perú (2017)**

Según un informe del (MIDAGRI, 2018), en el año 2017 se cultivaron 65,930 hectáreas de frijol común en Perú, lo que resultó en una producción total de 75,706 toneladas. Las principales regiones productoras fueron Cajamarca, Amazonas y Piura. Este cultivo es importante para los pequeños agricultores, ya que les proporciona una fuente de proteína económica. Además, el frijol tiene la capacidad natural de enriquecer el suelo al fijar nitrógeno de la atmósfera, un proceso que realiza en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. En promedio, el rendimiento a nivel nacional fue de 1,358 kilogramos por hectárea.

### **Distribución del cultivo de frijol en Perú (2017)**

Según un informe de (MIDAGRI, 2018), el cultivo de frijol en Perú se extiende por casi todos los departamentos, a excepción de Tacna, lo que permite su producción durante todo el año.

Las principales regiones productoras se distribuyen por las tres regiones geográficas del país:

- En la costa: destacan Piura, Arequipa, La Libertad y Huacho (en Lima).
- En la sierra: sobresalen Huancavelica, Cajamarca, Junín, Huánuco, Ayacucho y Apurímac.
- En la selva: los centros de producción más importantes se ubican en Loreto, San Martín y Amazonas.

### **Variedad para evaluar: Rojo moteado**

Este tipo de frijol corresponde a variedades introducidas que se produce en zonas sub tropicales, bajo riego. Su producción es de buena aceptación en el mercado local y para la exportación, (MINAGRI, 2016).

### Características del grano

- Color de grano: Rojo oscuro moteado de color crema, semibrillante.
- Forma: Arriñonada alargada.
- Tamaño: Mediano a grande, 100 semillas pesan 40 a 50 gramos
- Calibre: 200 a 250 semillas en 100 gramos.

**Zona de producción:** Cajabamba- Cachachi

**Épocas de Siembra y Cosecha:** Marzo - Mayo; Junio – Setiembre.



### Propiedades Nutricionales

Las propiedades nutritivas que posee el frijol están relacionadas con su alto contenido proteico y en menor medida a su aportación de carbohidratos, vitaminas y minerales. Dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteínas varía del 14 al 33%, siendo rico en aminoácidos como la lisina (6.4 a 7.6 g/100 g de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g/100 g de proteína), pero con deficiencias en los aminoácidos azufrados de metionina y cisteína. Sin embargo, de acuerdo con evaluaciones de tipo biológico, la calidad de la proteína del frijol cocido puede llegar a ser de hasta el 70% comparada con una proteína testigo de origen animal a la que se le asigna el 100%.

**Tabla 3: Composiciones nutricionales del frijol en 100 g de porción comestible.**

<b>Nutritivo</b>	<b>Unid.</b>	<b>Frijoles Blancos Laran</b>	<b>Frijoles Negros</b>	<b>Frijoles Rojos</b>	<b>Frijoles Pintos</b>
Energía	Kcal	315	288	314	316
Proteína	Gr	22.3	21.3	22.5	21.4
Lípidos	Gr	1.5	1.2	1.06	1.23
Carbohidrato	Gr	45.5	37	63.89	47.1
Fibra	Gr	4.6	5.4	46.1	14.3

**Fuente:** (FAO, 2016)

### **Minerales**

Hierro	Mg	5.49	6.05	6.69	5.07
Potasio	Mg	1185	1416	1359	1393
Magnesio	Mg	175	188	138	176
Zinc	Mg	3.65	2.9	2.79	2.28

**Fuente:** (FAO, 2016)

### **2.2.3. Lentejas: (*Lens culinaris*)**

Las lentejas (*Lens culinaris*) son una leguminosa muy nutritiva, ya que contienen un 28% de proteínas y son bajas en grasas (Morales A. S., 2004).

Según (Muirragui, 2017), las lentejas, parte de la familia Papilionáceas, son legumbres con pocas calorías, pero un alto valor nutricional. Esto se debe a su significativo contenido de hierro, folatos, vitaminas y minerales. Las lentejas son un alimento con múltiples propiedades beneficiosas para el organismo, aportando componentes energéticos que son muy útiles en el tratamiento de diversas enfermedades, particularmente la anemia.

#### **Morfología**

La lenteja es una planta herbácea anual que alcanza entre 30 y 40 cm de altura. Sus tallos son débiles, ramificados y estriados. Tiene hojas lanceoladas, ligeramente oblongas, con estípulas y zarcillos que se enroscan. Las flores suelen ser blancas con algunas venas moradas. Su fruto es una pequeña vaina que contiene dos o tres semillas en forma de disco, cada una de aproximadamente medio centímetro de diámetro (Maldonado, 2015).

#### **Factores que influye en el crecimiento y desarrollo del cultivo de lenteja**

Debido a su amplia diversidad genética, esta especie puede adaptarse a una variedad de climas. Se desarrolla bien con precipitaciones entre 200 y 250 mm, lo que indica su tolerancia a la escasez de agua, según (Alonso, 1980).

Además, puede crecer en diferentes tipos de suelos, desde los más ligeros hasta los más pesados, con un pH entre 5.5 y 9.0, y requiere temperaturas de 5 a 28°C (Franco & Ramos, 1996)

**Taxonomía:** (Sonnante, 2009), nos muestra la presente clasificación taxonómica para el cultivo de lenteja.

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Faboideae
- Tribu: Fabeae
- Género: Lens
- Especie: Lens culinaris L.

**Variedad para evaluar:** Lenteja serrana

Este tipo de lenteja también llamada Lentejita Criolla, corresponde a la clase comercial conocido internacionalmente como Eston lentils, (MINAGRI, 2016).

#### **Características del grano**

- Color de grano: Verde claro o marrón claro, con ligeras jaspas de color verde oscuro.
- Forma: Lente biconvexo aplanado.
- Tamaño: Pequeño, 100 semillas pesan 4 a 4.5 gramos.



- Calibre: 4.5 a 5.0 mm de diámetro; 2200 a 2500 semillas por 100 gramos.

**Zona de producción:** San Marcos – San Isidro

**Épocas de Siembra y Cosecha:** Enero- Marzo; Mayo- Junio

**Propiedades Nutricionales**

Las lentejas tienen grandes beneficios para el organismo debido a sus múltiples propiedades. Su consumo ayuda a reducir los niveles de glucosa en la sangre, a eliminar sustancias perjudiciales como el colesterol y las sustancias biliares, y a disminuir los ácidos grasos. Además, actúan como un potente agente contra las células cancerígenas, según (Lombardi, 2015).

Las lentejas son un alimento excepcionalmente nutritivo, esencial para el buen funcionamiento del organismo. (FEN, 2017) destaca que son ricas en hierro y fibra, y contienen una amplia gama de vitaminas como A, B (B1, B2, B3, B6), C y E. Además, aportan numerosos minerales cruciales, incluyendo zinc, potasio, calcio, fósforo, cobre, selenio, sodio, manganeso y magnesio, junto con otros nutrientes importantes como los antioxidantes.

**Tabla 4: Composiciones nutricionales de Lenteja en 100 g de porción comestible.**

<b>Minerales</b>	<b>Cantidad</b>
Hierro (mg)	7
Potasio (mg)	855
Magnesio (mg)	103
Zinc (mg)	3.9

**Fuente:** (FAO, 2016)

## **Digestibilidad de la Proteína de Lenteja**

El contenido total de proteína en la lenteja es del 26.71%. De este total, el 15.0% corresponde a proteína verdadera. Además, la lenteja contiene un 1.72% de nitrógeno no proteico. La digestibilidad de la proteína de la lenteja (DIVP) es notablemente alta, alcanzando el 82.92% (Pilatuña, 2016).

### **2.2.4. Arvejas: (*Pisum sativum*)**

#### **Origen:**

Gran cantidad de expertos coinciden que el origen de la alverja estaría entre la zona comprendida desde la región Mediterránea, desde Medio Oriente, hasta el suroeste asiático; lugar del que se habría difundido a diversos países del mundo, (Casseres, 2007).

La edad de esta leguminosa es de aproximadamente 8.000 años; esto se evidencia en los restos de arveja encontrados en excavaciones en Turquía, que se remontan al 5000 A. C. (Aykrob & Dugthly, 1977).

Al continente americano fue introducida mediante la conquista de los españoles. La arveja se cultiva en países de la India, Birmania, Etiopía, los países cercanos al lago Victoria en el este de África, Congo y Marruecos.

Al sur de América; son más importantes los países de Colombia, Ecuador, Chile y Perú, siendo considerados como los cuatro mejores países dedicados a la producción de arveja (Montorroy, 1995).

(Tello, 2024) Menciona que, los granos de arvejas fueron traídos al Perú por los españoles en el periodo de la conquista; ahora, esta leguminosa se cultiva en regiones de costa y sierra. Las mejores superficies agrícolas de este cultivo en el Perú se encuentran en la parte sierra, desde los 1600 a 3000 msnm; al norte del Perú, se cultivan en los departamentos de Ancash, La Libertad y Cajamarca; en la parte céntrica del país, en los departamentos de Huancayo, Huánuco, Huancavelica y Ayacucho; y, en la parte sur, en los departamentos de Cusco y Arequipa.

**Definición:**

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una legumbre de gran importancia para la región de Cajamarca. En nuestra región, la cosecha de arveja en grano verde (fresco) se extiende de agosto a abril, abarcando 2,236 hectáreas. Esto representa el 16.2% de las 13,808 hectáreas totales cosechadas a nivel nacional en Perú, según datos del (MIDAGRI, 2022).

La ciencia ha comprobado que la arveja es uno de los alimentos que mayor cantidad de carbohidratos y proteínas posee por unidad de peso, destacándose como una importante fuente de sacarosa y aminoácidos, incluyendo lisina. Además, contiene una buena cantidad de vitaminas y nutrientes muy útiles para la salud.

De acuerdo con (Suasnabar y otros, 2021) la arveja en su estado natural, es uno de los vegetales más ricos en tiamina (vitamina B1), la cual es esencial para la producción de energía, además de poseer una importante cantidad de proteínas y carbohidratos, siendo baja en porcentaje de grasas, y además se ser una destacada fuente de fibra y vitaminas A, B y C. Por otra parte, su fibra promueve el buen funcionamiento intestinal y ayuda a eliminar grasas saturadas, además de prevenir el cáncer de colon. Proporciona energía que hace permanecer más tiempo la glucosa en la sangre. Tiene un gran poder antioxidante, protegiendo la retina y enfermedades vinculadas a la vista. Es muy útil en los procesos de coagulación de la sangre y en el fortalecimiento de los huesos.

**El cultivo de Arveja**

Durante este proceso, emerge primero la plúmula y luego el primer par de hojas verdaderas. Debajo de estas hojas, se desarrolla una estructura llamada epicotilo, que lleva dos pequeñas hojas rudimentarias conocidas como brácteas trífidas.

A medida que la planta brota del suelo, la radícula ya ha desarrollado algunas raíces secundarias que crecen considerablemente antes de que se extienda la tercera hoja. Posteriormente, la radícula sigue creciendo hasta convertirse en una raíz pivotante que puede alcanzar hasta 1 metro de profundidad, aunque lo común es que no supere los 50 cm.

Las raíces secundarias pueden extenderse tan profundo como la raíz principal, formando una densa red de raíces terciarias. Los tallos de la arveja son trepadores y angulosos, y existen variedades con crecimiento definido (determinado) y otras con crecimiento continuo (indeterminado). Sus hojas se componen de pares de folíolos y terminan en zarcillos, los cuales les permiten sujetarse a soportes a medida que crecen. El pecíolo de cada hoja se une al tallo mediante un par de estípulas con bordes enteros, que son del mismo tamaño o más grandes que los folíolos, a menudo superpuestas, y que contribuyen significativamente a la fotosíntesis, (Alvarado, 2018).

**Taxonomía:**

(Anchivilca, 2018) nos muestra la presente clasificación taxonómica para el cultivo de arveja.

- División: Magnoliophyta.
- Clase: Magnoliopsida
- Sub – clase: Rosidae.
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Sub familia: Faboideae.
- Tribu: Vicia
- Género: Pisum.
- Especie: Pisum sativum L.

**Variedad para evaluar:** Blanca Criolla

Es el principal tipo de arveja de grano crema claro, cultivada en Cajamarca y en otras zonas productoras. Está conformada por variedades introducidas sin identificación, variedades mejoradas de INIA y variedades de proveedores privados como HORTUS y FARMEX, (MINAGRI, 2016).

**Características del grano**

- Color de grano: Crema claro, opaco.
- Forma: Esférica de textura lisa.
- Tamaño: Grande, 100 semillas pesan 30 a 35 gr.
- Calibre: 285 a 333 semillas en 100 gramos.



**Zona de producción:** Cajamarca - Matara

**Épocas de Siembra y Cosecha:** Setiembre - Diciembre; Abril – Junio

**Tabla 5: Valor Nutricional de la Arveja**

<b>Valor Nutritivo</b>	<b>100 gr</b>
Energía	308 kcal
Grasas Totales	1.4 gr
Proteínas	18.44 gr
Carbohidratos	42.4 gr
Fibra	26 gr
Folato	138 mcg

Magnesio	116 mg
Potasio	1010 mg
Hierro	3.5 mg
Calcio	56 mg
Zinc	2.39 mg

**Fuente:** (FAO, 2016)

### **2.2.5. Habas: (*Vicia faba L.*)**

#### **Origen y distribución:**

Aunque el origen exacto de las habas (*Vicia faba L.*), uno de los cultivos más antiguos, es incierto; algunos estudios sugieren que la especie podría ser nativa del suroeste de Asia o del noreste de África. Sin embargo, el autor (Kay, 1979) afirman que el centro de origen y dispersión de las habas se encuentra en la región del Cercano Oriente-Mediterráneo.

Según (Aldana, 2010), el haba (*Vicia faba L.*) es de origen asiático. Afganistán y Etiopia se consideran como los principales centros de origen, aunque algunos autores mencionan que posiblemente el haba es de origen africano, cultivándose desde hace unos cuatro mil años.

El cultivo de haba fue introducido a América y Guatemala por los conquistadores españoles y se ha desarrollado únicamente en pocos países de América que poseen altiplano con zonas frías como México, República Dominicana, Brasil, Perú, Paraguay, Colombia, y Bolivia, (Aldana, 2010).

(Horque, 2004) señala que “hay evidencias de su existencia en la edad del neolítico temprano (5000 A.C.), en el cercano oriente, no estando completamente demostrado. Existen autores que consideran ser originarias del Continente Asiático, Cuenca del Mediterráneo o Norte del África (Egipto)”. Por su parte (Aldana, 2010) acota que “fue introducido a América y Guatemala por los conquistadores españoles y desarrollándose únicamente en pocos países de América que poseen altiplano con zonas frías como México, República Dominicana, Brasil, Perú, Paraguay, Colombia, y Bolivia”.

**Definición:**

(Rojas C. L., 2020), el haba (*Vicia faba* L.) es la leguminosa más antigua conocida y es popular en América del Sur, especialmente en Perú, por su alto contenido de proteína, que oscila entre el 20 y 25% en el grano seco. Por su resistencia a las bajas temperaturas, es ideal para el cultivo en los páramos andinos. Además de su valor nutricional, el haba es beneficiosa para la agricultura: el follaje puede usarse como forraje para el ganado o como abono verde para enriquecer el suelo con materia orgánica. La planta también mejora la calidad del suelo al incorporar nitrógeno del aire a través de las raíces, lo que la convierte en una excelente opción para la rotación de cultivos.

Además de su alto valor nutricional, (Horque, 2004) menciona que el cultivo de haba enriquece el suelo con nitrógeno (N<sub>2</sub>) gracias a su simbiosis con bacterias nitrificantes, lo que la convierte en una excelente opción para la rotación de cultivos.

En Perú, se cultivan aproximadamente 30,000 hectáreas de habas, de las cuales el 90% se encuentra en la sierra (entre 2,500 y 3,800 m.s.n.m.), según un informe del INIA de 2013, citado por (Rojas C. L., 2020).

**Según (Aldana, 2010) la clasificación Taxonómica es la siguiente:**

- Sub reino: Fanerógamas
- División: Magnoliophyta (Angiospermas)
- Clase: Magnoliopsida (Dicotiledonias)
- Subclase: Rosidae
- Orden: Fabales;
- Familia: Fabaceae (Leguminosae)
- Sub-familia: Faboideae
- Tribu: Viciae
- Género: *Vicia*

- Especie: Faba L.
- Nombre común: Haba

**Variedad a Evaluar:** Chiqui

Es un tipo de haba de grano pequeño que se produce en la sierra norte, centro y sur del Perú, (MINAGRI, 2016).

**Características del grano**

- Color de grano: Verde oscuro lustroso, con hilum negro muy largo.
- Forma: Ovalada aplanada.
- Tamaño: Mediano, 100 semillas pesan 125 a 138 gramos.
- Calibre: 72 a 80 semillas por 100 gramos, o 36 a 40 semillas/onza (28.5 g).



**Zonas de producción:** Cajamarca – La Encañada, Caserío Chamcas

**Épocas de Siembra y Cosecha:** Setiembre- Noviembre; Marzo - Junio

**Valor nutricional del Haba**

Según (Niño, 2005), el cultivo de habas tiene una gran importancia económica, ya sea en grano verde (vaina) o grano seco. Ocupa el cuarto lugar a nivel mundial entre las leguminosas, siendo muy valorada por sus cualidades alimenticias y nutricionales, como su 25% de proteínas, 25% de grasas y 3,500 calorías por kilo. Esto la convierte en un alimento fundamental en la dieta humana.

**Tabla 6: Valor Nutricional de Haba en 100g de producto comestible.**

<b>Composición</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Composición</b>	<b>Cantidad</b>
Agua (0%)	77.1	Fosforo (mg)	217.0
proteínas (g)	9.0	Hierro (mg)	1.7
Grasas (g)	0.70	Carotenos (mg)	0.15
Carbohidratos (g)	11.7	Vitamina B1 (mg)	0.33
Fibra cruda (g)	0.30	Vitamina B2 (mg)	0.18
Cenizas (g)	1.20	Vitamina C (mg)	12.0
Calcio (mg)	15.0		

Fuente: tomado de (Valderrama, 2008).

#### **2.2.6. Garbanzo: (*Cicer arietinum* L.)**

Los garbanzos (*Cicer arietinum* L.) son una legumbre de amplio consumo global. Su cultivo requiere poca cantidad de agua y se adaptan con facilidad a diferentes tipos de clima, asimismo las propiedades fijadoras de nitrógeno que poseen mejoran la fertilidad de las tierras de cultivo, sin necesidad de usar fertilizantes que dañan al medio ambiente a largo plazo al liberar gases de efecto invernadero, (Rodríguez, 2021).

El garbanzo es un grano de alto poder nutricional, el contenido de proteína para los garbanzos es de 16.7 a 30.6% (Wood & Grusak, 2007). Lo mencionado indica que el cultivo de garbanzo es parte integral de la estabilización productiva de granos ricos en proteínas, así como en otros sistemas agrícolas en general

Los carbohidratos que presenta son carbohidratos complejos, siendo de lenta digestión y prolongando la sensación de saciedad durante un periodo de tiempo mayor. Asimismo, su contenido de fibras solubles (betaglucanos) contribuyen a aliviar el estreñimiento e impiden la absorción del colesterol durante la digestión. u contenido de hierro triplica al presente en la carne. El garbanzo que se cultiva en el Perú es el denominado “Garbanzo Mediano”, de gran tamaño y de color cremoso, (Rodríguez, 2021).

**Variedad para evaluar:** Corresponde al grano mediano y de color claro, de la variedad criollo producida en varias zonas del Perú. (MINAGRI, 2016)

### Características del grano

- Color de grano: Claro o Crema; hilum en ápice puntiagudo, tegumento opaco y rugoso.
- Forma: Globosa, ligeramente aplastada y lobulada.
- Tamaño: Mediano, 100 semillas pesan 40 a 50 gramos.
- Calibre: 200 a 250 semillas por 100 gramos.



**Zonas de producción:** Cajamarca – Hualgayoc, Bambamarca

**Épocas de Siembra y Cosecha:** Marzo – Abril; Agosto- setiembre

**Tabla 7: Información Nutricional del Garbanzo**

Información Nutricional Garbanzo	100g
Agua	8.1
Proteínas	22.1
Glúcidos	57.8
Grasa	5.0
Fibra	4.0
Ceniza	3.0

**Fuente:** Recuperado de CEDEP (Cabrera, 2009)

### **Macronutrientes:**

Proteínas: Es una gran fuente de proteínas, con una concentración que oscila entre el 15% y el 30%.

Carbohidratos: Contiene una cantidad importante de carbohidratos, que representan entre el 60% y el 65% de su composición.

Fibra: Es rico en fibra soluble e insoluble, lo cual favorece una buena digestión.

Grasas: Aunque tiene grasas, estas se encuentran en cantidades moderadas y son principalmente grasas saludables como el ácido oleico y linoleico.

### **Micronutrientes:**

Vitaminas y Minerales: Aporta vitaminas del grupo B (como tiamina y ácido fólico) y minerales esenciales como calcio, hierro, magnesio 160mg y potasio 800mg, (Carreño et al., 2017).

### **Autores y sus aportes**

(Fernandez, 2022), Encontraron que el garbanzo contiene en promedio 62.95% de carbohidratos, 6.04% de ácidos grasos, 12.2% de fibra y 20.47% de proteína. En cuanto a la cantidad de proteína, constituye el 22% de su composición. Ello significa que 100 gramos de garbanzos sin cocer, crudos, aportan unos 22g de proteína, aunque esta cantidad puede variar ligeramente dependiendo del tipo de garbanzo.

(Wood & Grusak, 2007), Destacó que el garbanzo es una fuente de proteína altamente nutritiva y económica, con un estimado del 24% y que varía del 15% al 30% dependiendo de la variedad y las condiciones.

### **Beneficios para la salud según (Fernandez, 2022)**

- Control del colesterol: La fibra del garbanzo ayuda a reducir los niveles de colesterol LDL (colesterol "malo").
- Salud digestiva: La fibra promueve una digestión saludable y previene problemas como el estreñimiento.

- Control de la glucosa en sangre: Ayuda a mantener niveles estables de azúcar en la sangre.
- Fortalecimiento óseo: Los minerales presentes en el garbanzo, como el calcio y el fósforo, contribuyen a la salud de los huesos.
- Prevención de la anemia: El hierro presente en el garbanzo ayuda a prevenir la anemia.
- Aporte de energía: Los carbohidratos y proteínas del garbanzo proveen energía al organismo.

### **2.2.7. Pallar: (*Phaseolus lunatus L.*)**

Según (INIA, 1997), el pallar (*Phaseolus lunatus L.*) es una leguminosa de grano importante en la alimentación humana porque tiene un alto valor nutritivo, con un elevado contenido de proteínas y un sabor muy agradable.

El sabor del pallar se debe en parte a la linamarina, un glucósido que puede ser tóxico. Cuando la linamarina se descompone, produce ácido cianhídrico, una sustancia peligrosa. Por esta razón, en países como Estados Unidos, existen regulaciones estrictas para la importación de pallar. Es importante destacar que las variedades de pallar cultivadas en Asia contienen más linamarina que las peruanas, por lo que el consumo de pallar peruano es seguro para las personas, (INIA, 1997).

Además de su valor nutricional, el pallar es un cultivo mejorador del suelo con un alto valor agronómico. Esto se debe a su capacidad para enriquecer la tierra con nitrógeno. Las bacterias del género *Rhizobium* forman una relación simbiótica con la planta, creando nódulos en las raíces que fijan el nitrógeno del aire, mejorando así la fertilidad del suelo, (INIA, 1997).

**Taxonomía: Según** (Rojas & Vibrans, 2010)

- Reino: Plantae
- Subreino: Traqueobionta
- Superdivisión: Spermatophyta
- División: Magnoliophyta

- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Fabales.

### **El Cultivo de Pallar según (INIA, 1997):**

Las condiciones agroclimáticas favorables y la menor incidencia de fitopestes determinan que la época óptima para la siembra del pallar abarca de febrero a mayo. Así por ejemplo el 84 % de las siembras se efectúan en esta época. Siembras posteriores requieren mayores cuidados en el manejo del cultivo, y los rendimientos son algo menores. Las épocas críticas para la siembra son julio y agosto, por las temperaturas bajas; y, diciembre - enero, por las altas temperaturas en la época de floración.

### **Situación de la Producción del pallar en el Perú**

El análisis de la producción nacional de pallar entre 1980 y 1991 muestra una caída importante en 1983, después de un notable crecimiento el año anterior. Esta disminución fue causada por el Fenómeno del Niño. Aunque la producción se recuperó después, volvió a caer en 1989, probablemente por el mismo fenómeno climático, para luego aumentar de manera significativa en los años siguientes, (INIA, 1997).

### **Distribución geográfica de la producción de pallar en Perú**

La producción de pallar en Perú se concentra principalmente en la costa central, que es la zona más importante del país para este cultivo, contribuyendo con el 97% de la producción nacional, (INIA, 1997).

- Sierra (Cajamarca, Junín, Ayacucho, Huancavelica, Apurímac y Puno): Representa solo el 2.7% de la producción nacional.
- Costa central (Ica, Áncash y Lima): Aporta el 97% de la producción total. Ica es el departamento líder, con el 91% de la producción nacional, seguido por Áncash con el 5%.
- Costa norte (Piura): Su contribución es mínima, con apenas el 0.3%. Se cree que los departamentos de Lambayeque y La Libertad han dejado de producir pallar.

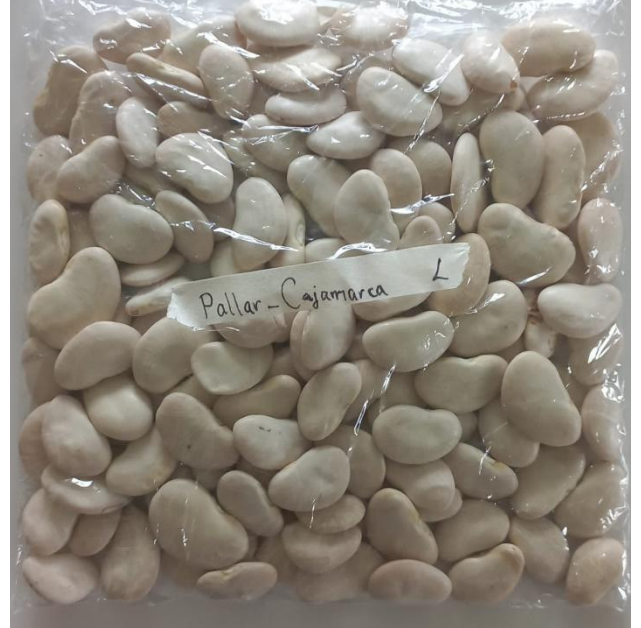
**Variedad para evaluar:** Pallar mediano

Corresponde a variedades arbustivas de menor período vegetativo y menor tamaño de grano que la clase “Pallar iqueño”. Fueron obtenidas por introducción de germoplasma de Estados Unidos, (MINAGRI, 2016).

**Características del grano**

- Color de grano: Blanco cremoso.
- Forma: Arriñonada aplanada.
- Tamaño: Grande, 100 semillas pesan 138 a 162 gramos.
- Calibre: 62 a 72 semillas por 100 gramos.

**Zonas de producción:** Cajamarca – Hualgayoc, Bambamarca



**Épocas de Siembra y Cosecha:** Febrero- Mayo; Mayo- Agosto

**El pallar es un alimento nutritivo que ofrece varios beneficios para la salud. Su valor nutricional incluye:** (GRC, 2021)

- Carbohidratos: Fuente principal de energía, con carbohidratos de absorción lenta.
- Proteínas: Aporta una cantidad significativa de proteína vegetal.
- Minerales: Rico en hierro (6.70 mg por cada 100 g), potasio, y calcio.
- Vitaminas: Contiene vitaminas como la B3 (niacina) y la C.
- Fibra: Excelente fuente de fibra dietética, beneficiosa para la digestión.

### 2.2.8. Minerales

Los minerales son componentes inorgánicos, es decir, aquellos que se encuentran en la naturaleza sin formar parte de los seres vivos. Juegan un papel importante en la formación de tejidos, síntesis de hormonas y en la mayoría de las reacciones químicas, (UCN, 2025).

Los minerales, según su requerimiento, se pueden clasificar en tres grandes grupos: macroelementos, microelementos y oligoelementos. Los macroelementos son aquellos que el organismo necesita en mayor cantidad como el azufre, calcio, magnesio, fósforo, potasio o sodio. Son necesarios en cantidades mayores de 0.1 gr./día. Se miden en gramos, (UCN, 2025).

Los microelementos, sin embargo, son necesarios en cantidades muy pequeñas. Se miden en miligramos y son el hierro, zinc, manganeso, yodo, flúor, cobre, cobalto. Por último, los oligoelementos hacen referencia a aquellos que se necesitan en cantidades pequeñísimas, que se miden en microgramos, como el silicio, níquel, cromo, litio, molibdeno o selenio, (UCN, 2025).

#### **Macroelementos, según (UCN, 2025):**

**Calcio:** forma parte de los huesos, del tejido conjuntivo y de los músculos. Junto con el potasio y el magnesio, es esencial para una buena circulación de la sangre. También participa en la absorción y secreción intestinal y en la liberación de hormonas.

- ❖ Fuentes: productos lácteos, frutos secos, semillas de sésamo, verduras, etc.
- ❖ Aporte mínimo recomendado: 800 - 1200 mg./día.
- ❖ Funciones en el organismo: formación de huesos y dientes. Coagulación. Transmisión nerviosa.
- ❖ Exceso: no registrado en el hombre.
- ❖ Defecto: crecimiento detenido, raquitismo, osteoporosis, convulsiones.

**Magnesio:** es esencial para la asimilación del calcio y de la vitamina C. Es importante para la transmisión de los impulsos nerviosos, equilibra el sistema nervioso central y aumenta la secreción de bilis.

- ❖ Fuentes: cacao, soja, frutos secos, avena, maíz y algunas verduras.
- ❖ Aporte mínimo recomendado: 300-400 mg./día.
- ❖ Funciones en el organismo: activa las enzimas y las vitaminas del grupo B. Interviene en la síntesis proteica.
- ❖ Exceso: diarrea.
- ❖ Defecto: fallos en el crecimiento, debilidad, espasmos, alteraciones del comportamiento.

**Potasio:** regula el balance de agua en el organismo y participa en la contracción del músculo cardiaco.

- ❖ Fuentes: la fruta y verdura fresca, las legumbres y los frutos secos.
- ❖ Aporte mínimo recomendado: 500 mg./día.
- ❖ Funciones en el organismo: equilibrio ácido-base, equilibrio hídrico, función nerviosa, contracción del musculo cardiaco.
- ❖ Exceso: debilidad muscular. Muerte.
- ❖ Defecto: debilidad muscular. Nauseas, vómitos, irritabilidad, irregularidad cardiaca, parálisis.

**Microelementos, según (UCN, 2025):**

**Hierro:** necesario para la producción de hemoglobina. Se absorbe mejor el hierro de los alimentos de origen animal que de origen vegetal. La vitamina C mejora la absorción del hierro.

- ❖ Fuentes: carnes, hígado, yema de huevo, verdura verde, cereales integrales, frutos secos, levaduras y jamón serrano.
- ❖ Aporte mínimo recomendado: 10-15 mg./día.
- ❖ Funciones en el organismo: constituyente de la hemoglobina y de enzimas que intervienen en el metabolismo energético.
- ❖ Exceso: siderosis, cirrosis hepática.

❖ Defecto: anemia ferropénica.

**Zinc:** interviene en procesos metabólicos.

❖ Fuentes: Crustáceos, levadura de cerveza, germen de trigo, huevos, leche y jamón serrano.

❖ Aporte mínimo recomendado: 12-15 mg./día.

❖ Funciones en el organismo: constituyente de las enzimas implicadas en la digestión. Implicado en la cicatrización de heridas.

❖ Exceso: fiebre, náuseas, vómitos y diarreas.

❖ Defecto: fallos en el crecimiento, fallo en órganos sexuales (hipogonadismo en varones), retraso en la cicatrización de heridas.

### **2.2.9. Ionización de Minerales**

La ionización en minerales es el proceso físico o químico mediante el cual los átomos o moléculas de un mineral ganan o pierden electrones, transformándose en iones cargados (cationes positivos o aniones negativos). Este fenómeno, crucial para la disolución y reactividad, se da por cambios de energía, electronegatividad o electrólisis, aumentando la biodisponibilidad y solubilidad del mineral, (Holisstree, 2024).

**Proceso de Ionización:** Los minerales, al disolverse o reaccionar, se separan en cationes (carga positiva, metales) y aniones (carga negativa, no metales), (Holisstree, 2024).

#### **Formas de Producción:**

- ❖ Química: Transferencia de electrones por diferencia de electronegatividad.
- ❖ Física: Aporte de energía (calor, radiación o electricidad) que desprende electrones.
- ❖ Electrólisis: Uso de corriente eléctrica para liberar iones metálicos.

**Características de Minerales Ionizados:** Presentan alta biodisponibilidad y absorción rápida en el organismo, (Holisstree, 2024).

### **2.2.10. Absorción de Minerales**

La absorción de minerales es el proceso biológico mediante el cual los organismos (plantas, animales y humanos) incorporan nutrientes inorgánicos esenciales desde el medio ambiente o la dieta hacia sus células y tejidos. En plantas, ocurre principalmente en las raíces para nutrición, mientras que en humanos se realiza en el intestino delgado para funciones metabólicas, (Hell y Hillebrand, 2001).

**Aspectos clave de la absorción de minerales, según (Hell y Hillebrand, 2001):**

**En Plantas:** Los minerales (nitrato, fosfato, potasio) son absorbidos del suelo por los pelos radiculares mediante transporte activo o pasivo, siguiendo a menudo la vía del agua.

**En Humanos y Animales:** Se realiza tras la digestión, pasando los minerales (hierro, calcio, magnesio) desde el intestino delgado hacia la sangre. Factores como la vitamina D son cruciales para optimizar la absorción, por ejemplo, del calcio.

**Importancia:** Es vital para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento metabólico, permitiendo a las plantas sintetizar compuestos y a los humanos mantener la salud ósea e inmune.

Las leguminosas absorben minerales y nutrientes esenciales mediante un sistema radicular eficiente, destacando su simbiosis con bacterias *Rhizobium* que fijan el nitrógeno atmosférico. Absorben macronutrientes (P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Zn) del suelo, influyendo factores como temperatura, oxígeno y pH. Su capacidad de fijación de nitrógeno mejora la fertilidad del suelo, (Sela, 2025).

**Aspectos clave de la absorción de minerales en leguminosas según (Sela, 2025):**

**Fijación de Nitrógeno:** Gracias a la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, convierten el nitrógeno atmosférico en amonio una forma asimilable, lo que reduce la necesidad de fertilizantes químicos.

**Mecanismos de absorción:** La planta utiliza transportadores de membrana especializados en las raíces para absorber iones como fosfatos, sulfatos y nitratos desde la solución del suelo.

**Factores influyentes:** La absorción de nutrientes, como hierro y zinc, está influenciada por la temperatura, luz, el pH del suelo (concentración de iones) y el desarrollo de la planta.

Importancia del agua: El agua del suelo funciona como solvente y medio de transporte para que los nutrientes lleguen a las raíces.

Nutrientes esenciales: Requieren macro y micronutrientes para un desarrollo óptimo, ajustando la absorción según el tipo de suelo y el rendimiento esperado.

### **2.2.11. Espectroscopia LIBS**

La espectroscopia de emisión óptica de plasma inducido por láser (LIBS) es una técnica analítica novedosa para analizar la composición de materiales sólidos.

Funciona de la siguiente manera:

- Se dispara un potente pulso de láser contra la superficie de la muestra.
- Este pulso vaporiza una pequeña porción del material, creando un microplasma muy caliente y energizado.
- El plasma emite luz, y al analizar las longitudes de onda de esa luz, se puede determinar qué elementos se encuentran en la muestra.

En resumen, LIBS utiliza un láser para crear un plasma y luego analiza la luz que este emite para identificar los elementos químicos presentes en el material, (Alvira, 2010).

- Análisis rápido y sin reactivos: La LIBS es una técnica que ofrece resultados al instante, lo cual la hace muy eficiente. Además, es más ecológica que otros métodos tradicionales porque no necesita reactivos químicos ni procesos de preparación complejos, (Pontes et al., 2010).
- Capacidad para analizar matrices complejas: Dada la complejidad y heterogeneidad de las menestras (minerales, vitaminas, proteínas), LIBS resulta especialmente útil. Puede analizar elementos como hierro (Fe), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), Zinc (Zn), (Alvira, 2010).
- Técnica no destructiva: La técnica LIBS es ideal para su uso en entornos industriales y para el control de calidad en tiempo real, ya que apenas altera la muestra. Esto significa que no hay pérdida de producto durante el análisis, (Pontes et al., 2010).

Estudios recientes han revelado que, al combinar la técnica LIBS con análisis multivariado (quimiometría), es posible diferenciar muestras de menestras de manera precisa. Esta metodología permite conocer el contenido de minerales que poseen. Esto abre nuevas y prometedoras posibilidades en la industria alimentaria. (Alvira, 2010).

### **La espectroscopia Raman según (Alvira, 2010):**

Es una técnica que utiliza la dispersión inelástica de la luz para analizar la composición de una pintura. Se usa un láser para iluminar la muestra, y la luz se dispersa cuando los fotones interactúan con las moléculas.

Esta dispersión es un proceso que comienza con la absorción de un fotón por una molécula, lo que la eleva a un estado de energía "virtual". Luego, la molécula regresa a un estado de energía más bajo, emitiendo un fotón.

La naturaleza de esta dispersión depende de si el fotón emitido tiene la misma energía que el incidente.

- **Dispersión elástica (Rayleigh):** En la dispersión elástica, la molécula regresa al mismo nivel de energía inicial. El fotón que se emite tiene la misma frecuencia y, por lo tanto, la misma energía que el fotón incidente del láser.
- **Dispersión inelástica (Raman):** En la dispersión inelástica, la molécula no regresa a su estado energético original. En este caso, la energía del fotón emitido es diferente a la del fotón incidente. Existen dos tipos:
- **Dispersión Stokes:** El fotón emitido tiene una frecuencia más baja (menor energía) que el fotón incidente, ya que la molécula queda en un estado energético superior a la inicial.
- **Dispersión anti-Stokes:** El fotón emitido tiene una frecuencia más alta (mayor energía) que el fotón incidente, porque la molécula regresa a un estado energético inferior a la inicial.

En resumen, la espectroscopia Raman se centra en estas diferencias de energía para obtener información sobre las vibraciones moleculares, lo que permite identificar los compuestos presentes en la pintura.

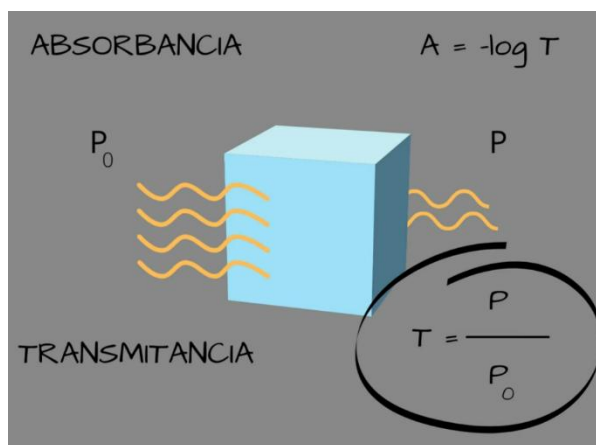
### 2.2.12. Absorbancia

La absorbancia ( $A$ ), también conocida como densidad óptica (DO), es la cantidad de luz absorbida por una solución. La transmitancia es la cantidad de luz que pasa a través de una solución. La absorbancia y el porcentaje de transmitancia se utilizan frecuentemente en espectrofotometría, (Devices, 2026).

### Absorbancia en LIBS

Menciona (Aldavert, 2022) en su investigación, que cuando una molécula absorbe luz pasa a un estado excitado de mayor energía. Al transcurrir del tiempo la molécula vuelve a su estado basal, convirtiendo la energía absorbida en calor, esto lo consigue cambiando su estado vibracional; en algunos casos la molécula es capaz de emitir un fotón, a lo cual se le denomina Fluorescencia.

Por otro lado, la Absorbancia es una magnitud Adimensional, la cual se mide cuando una muestra absorbe luz, la potencia radiante del átomo luminoso que interacciona con la muestra disminuye. La transmitancia se define como la fracción de la luz incidente que sale de la muestra y esta varía de 0 a 1, (Aldavert, 2022).



Absorbancia =  $-\text{Log}$  (Transmitancia)

### 2.2.13. Aplicaciones de LIBS en la Industria Alimentaria

La espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS) se está consolidando como una herramienta muy útil en la industria alimentaria. Esto se debe a sus avanzadas capacidades de análisis, a que es un método rápido y a su capacidad para adaptarse a los entornos de producción.

- **Análisis en tiempo real:** Una de las principales ventajas de LIBS es su capacidad para ofrecer resultados instantáneos. Esto permite cuantificar de forma inmediata la cantidad de minerales presentes en las diferentes muestras de menestras a analizar, lo cual a su vez permite conocer el valor nutricional de cada una de ellas. (Pontes et al., 2010).
- **No requiere preparación extensa de la muestra:** A diferencia de técnicas tradicionales como la espectrometría de absorción atómica o la cromatografía iónica, LIBS no requiere tratamiento químico previo, disolución ni destrucción de la muestra. Esto reduce los tiempos de análisis y los costos operativos, siendo ideal para aplicaciones industriales, (Kurniawan et al., 2020).
- **Análisis multielemental simultáneo:** LIBS puede detectar de forma simultánea una variedad de elementos inorgánicos como hierro (Fe), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg) y zinc (Zn), proporcionando un panorama integral de la composición mineral de las menestras. Esto resulta útil no solo para evaluar el contenido de minerales, sino también para comparar cuál de las muestras obtuvo un mayor valor nutricional con respecto al análisis, (Alvira, 2010).
- Estudios indican que la técnica LIBS, cuando se combina con el análisis multivariado, puede detectar patrones de elementos químicos que revelan información importante sobre los alimentos.

En particular, esta combinación de tecnologías puede:

- Determinar la etapa de maduración de los alimentos.
- Evaluar la homogeneidad de un producto.
- Identificar diferencias en el procesamiento, como distinguir si un alimento ha sido cocido o prensado.

Además, el texto señala que esta tecnología es capaz de crear mapas espectrales de alta resolución. Estos mapas son muy útiles porque muestran cómo se distribuyen los minerales dentro de un alimento, como el queso. Esto tiene aplicaciones importantes tanto para la investigación científica como para el control de calidad industrial, (Pontes et al., 2010).

### 2.3. Definición de Términos

- **Espectroscopia**

La espectroscopia es la técnica que mide cómo un objeto interactúa con la luz, ya sea absorbiéndola, reflejándola o emitiéndola. En esencia, descompone la luz para analizar y medir sus diferentes longitudes de onda, tanto las visibles como las no visibles (TECNILAB, 2025).

- **Espectrometría**

La espectrometría es una disciplina de la ciencia analítica que se enfoca en el estudio y la medición de los espectros, fenómenos que surgen de la interacción entre la materia y la energía (Tecnylab, 2025).

- **Espectrofotometría**

La espectrofotometría utiliza la interacción de la radiación electromagnética (como la luz UV, visible e infrarroja) con la materia para medir la cantidad de una sustancia o para identificarla (Tecnylab, 2025).

- **LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)**

Esta técnica espectroscópica utiliza pulsos láser de alta energía para crear un plasma en la superficie de una muestra. Luego, se analiza la luz que emite ese plasma para identificar y medir la cantidad de elementos químicos presentes (Alvira, 2010).

- **Espectroscopia atómica**

La espectroscopia atómica es una técnica de análisis que se basa en la interacción entre la radiación electromagnética y los átomos de una muestra. El proceso implica que los átomos absorben o emiten luz de una longitud de onda específica y única para cada elemento, lo que permite identificarlos y cuantificarlos. Esto ocurre cuando la energía de los fotones de luz que inciden en la muestra coincide con la diferencia de energía entre los niveles energéticos del átomo, (Huang et al., 2025).

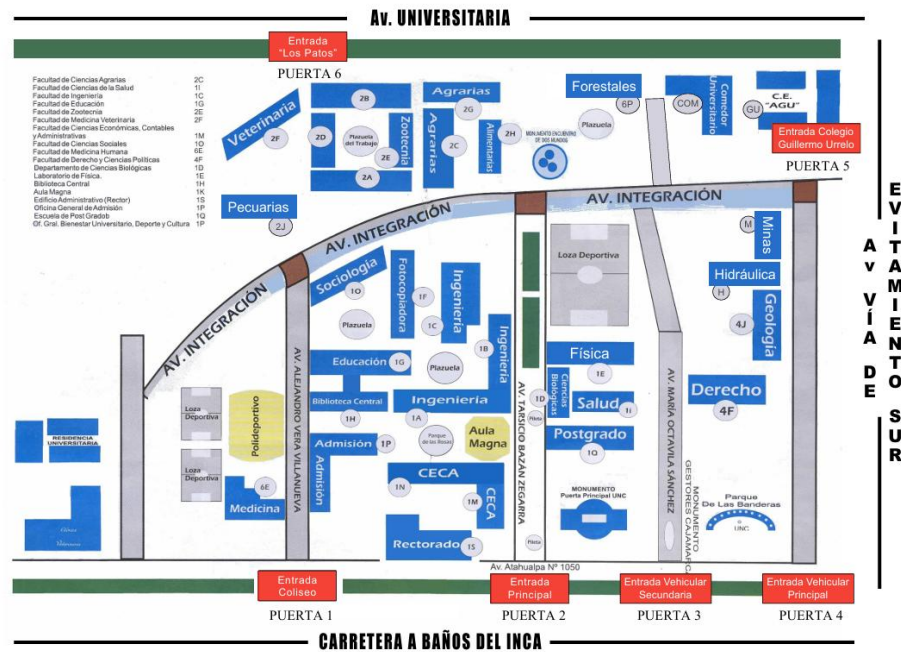
- **Unidad Arbitraria:** es una medida relativa utilizada en el eje vertical (intensidad, absorbancia o emisión) de un gráfico, cuando los valores absolutos no son medidos.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

Esta investigación se realizó en el 3er piso del Laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

**Figura 1: Mapa Universidad Nacional de Cajamarca – Infraestructura de E.A.P. Ingeniería en Industrias Alimentarias.**



Fuente: (UNC, 2025)

En la figura 1, se muestra el Croquis General de la U.N.C, en el cual se encuentra la Facultad de Ciencias Agrarias, y dentro de esta la E.A.P. de Ingeniería en Industrias Alimentarias, ubicada en el Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas 7° 10' 06'' S Latitud Sur y 78° 29' 43'' W Longitud Oeste, a una Altitud de 2683msnm. La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos ubicado en el 3er piso de la E.A.P mencionada anteriormente.

#### 3.2. Materiales

##### 3.2.1. Materia Prima

**Frijol (*Phaseolus Vulgaris*):** Cultivo de la Provincia Cajabamba, Departamento Cajamarca.

**Figura 2: Distrito de Cachachi - Provincia de Cajabamba.**



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 2, se muestra fotografías del Distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y Departamento de Cajamarca; donde se cultivan diferentes variedades de Frijol, entre ellos la Variedad Rojo Moteado.

**Lenteja (Lens Culinaris):** Cultivo de la Provincia San Marcos, Departamento Cajamarca.

**Figura 3: Centro Poblado de San Isidro - Provincia de San Marcos.**



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 3, se muestra fotografías del Centro Poblado San Isidro, provincia de San Marcos y Departamento de Cajamarca; donde se cultiva Lenteja variedad Lenteja Serrana.

**Arveja (*Pisum Sativum*):** Cultivo de la Provincia y Departamento de Cajamarca.

*Figura 4: Distrito de Matara - Provincia de Cajamarca.*



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 4, se muestra fotografías del Distrito de Matara, provincia y Departamento de Cajamarca; donde se cultiva Arveja variedad Arveja Blanca.

**Haba (*Vicia Faba*):** Provincia Cajamarca y Departamento Cajamarca.

*Figura 5: Caserío Chamcas, Distrito de la Encañada- Provincia de Cajamarca.*



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 5, se muestra fotografías del Caserío Chamcas, Distrito de la Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca; donde se cultiva Haba, variedad Haba Chiqui.

**Garbanzo (*Cicer Arietinum*):** Cultivo de Distrito de Bambamarca, Provincia Hualgayoc, Departamento Cajamarca.

*Figura 6: Distrito Bambamarca, Provincia Hualgayoc y Departamento de Cajamarca.*



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 6, se muestra fotografías del Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc y Departamento de Cajamarca; donde se cultiva Garbanzo, variedad Garbanzo Mediano.

**Pallar (*Phaseolus Lunatus*):** Cultivo de la Provincia Cajamarca, Departamento Cajamarca.

*Figura 7: Distrito de Bambamarca, Prov. de Hualgayoc - Dpto de Cajamarca.*



**Fuente:** (GRC, 2025)

En la figura 7, se muestra fotografías del Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc y Departamento de Cajamarca; donde se cultiva Pallar, variedad Pallar Mediano.

### **3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio**

a) Equipos para análisis experimental:

- Laser-induced breakdown spectroscopy, o espectroscopia de ruptura inducida por láser. Sistema LIBS-8.
  - ❖ Marca Applied Photonics
  - ❖ Modelo XYZ-750
  - ❖ Serie 0393-001
  - ❖ Procedencia Inglaterra
- Solución de calibración sistema LIBS (Acompañamiento al Sistema LIBS-8).
- Equipo de molienda. Molino Pulverizador.
  - ❖ Marca POWTEQ
  - ❖ Modelo HM100
  - ❖ Serie 024.877.0096
  - ❖ Procedencia EE. UU
- Tamizador Eléctrico.
  - ❖ Marca W.S. TYLER
  - ❖ Modelo RX-29-16
  - ❖ Serie 21501
  - ❖ Procedencia EE. UU
- Maquina Prensadora.

b) Materiales de laboratorio:

- Mascarilla.
- Malla cubre pelo.
- Mandil.
- Guantes quirúrgicos.

c) Otros materiales:

- Laptop
- Memoria USB de 4 GB
- Cámara fotográfica digital
- Útiles de escritorio

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1. Tipo y diseño de investigación

- **Tipo de investigación:**

- ❖ Investigación Aplicada: Porque se utilizó una técnica científica innovadora (LIBS) para obtener información útil sobre la concentración de minerales encontrados en cada muestra de las diferentes menestras de Cajamarca, (Hernández & Mendoza, 2018).

- **Enfoque:**

- ❖ Cuantitativa: Porque se basó en la recolección y análisis de datos numéricos sobre el contenido de minerales de las diferentes menestras de Cajamarca, usando el método LIBS, (Hernández & Mendoza, 2018).

- **Diseño de investigación:**

- ❖ Experimental: Porque se trabajó con un grupo de 6 muestras (menestras del departamento de Cajamarca), las mismas que posteriormente son molidas, prensadas en forma de pastillas; para luego tomar mediciones con el método LIBS, de las cuales descubrí la longitud de onda correcta para lograr la mayor intensidad de cada mineral en cada una de las muestras, (Hernandez y otros, 2014).
- ❖ Comparativo: Dado que busca comparar la composición mineral de las diferentes muestras de menestras del departamento de Cajamarca.
- ❖ Transversal: Por qué a diferencia de otro tipo de investigaciones, se realiza el estudio sin alterar o manipular ninguna de las variables del fenómeno, limitándose únicamente a la medición y descripción de las muestras.

### **3.3.2. Población y Muestra**

- **Población:** Todas las variedades de menestras producidas en el departamento de Cajamarca.
- **Muestra:** Selección intencional de 6 tipos de menestras representativas (frijol, lenteja, arveja, haba, garbanzo y pallar), adquiridas en distintas provincias del Departamento de Cajamarca.

Las menestras se recolectaron en tres zonas geográficas distintas (Provincia de Cajamarca, Cajabamba y San Marcos), tomando 500 g de cada menestra. Cada muestra se identificó, codificó y almacenó en condiciones controladas.

### **3.3.3. Diseño experimental**

Las distintas muestras de menestras pasaron por un proceso de molienda, posteriormente prensado en forma de pastillas. Luego al pasar a un estado sólido dichas muestras se colocaron en el equipo de análisis LIBS, lo que permitió comparar la composición mineral de cada una de ellas, cuyo diseño experimental se cita a continuación en la Tabla 8.

**Tabla 8: Diseño experimental de diferentes muestras de menestras, usando LIBS**

Menestras			Intensidad de Minerales				
Muestra	TIPO	ZONA	[Fe]	[Ca]	[Zn]	[Mg]	[K]
M1	Frijol	Cajabamba					
M2	Lenteja	San Marcos					
M3	Arveja	Cajamarca					
M4	Haba	Cajamarca					
M5	Garbanzo	Hualgayoc					
M6	Pallar	Hualgayoc					

En la Tabla 8 se describe el diseño experimental en donde:

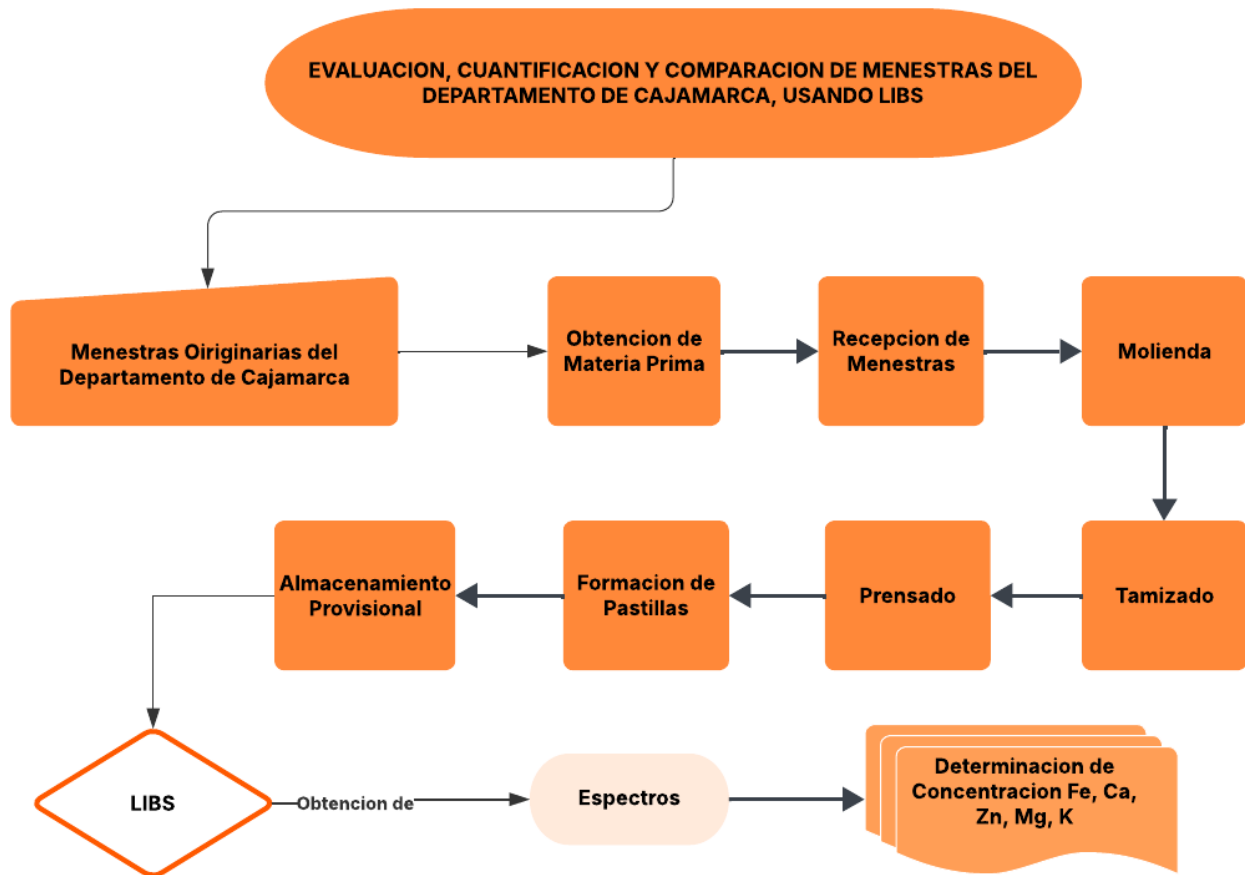
- M1, M2, M3, M4, M5, M6: Muestras sometidas a método LIBS.
- Tipo : Descripción de cada muestra.
- Zona : Lugar de Procedencia de cada muestra.
- [Fe] : Intensidad de hierro encontrado en cada muestra.
- [Ca] : Intensidad de calcio encontrado en cada muestra.
- [Zn] : Intensidad de zinc encontrado en cada muestra.
- [Mg] : Intensidad de magnesio encontrado en cada muestra.
- [K] : Intensidad de potasio encontrado en cada muestra.

El tamaño de la unidad experimental que se empleo fue una pastilla de cada menestra.

### 3.3.4. Croquis del experimento

Se preparó una pastilla de cada muestra de las diferentes menestras de Cajamarca, cada una con un peso de 5g, de acuerdo con el diagrama de flujo que corresponde al proceso de elaboración. En dicho proceso de elaboración la materia prima (menestras crudas enteras), pasaron por molienda, y posteriormente por prensado. Una vez completado este tratamiento, las muestras fueron evaluadas mediante espectroscopia de ruptura inducido por láser (LIBS).

**Figura 8: Esquema Experimental.**



En la Figura 8 se presenta el esquema experimental en donde se detallan todas las actividades realizadas en esta investigación.

### **Descripción de evaluación realizada**

El contenido de minerales en las diferentes menestras de Cajamarca, hasta el momento es muy incierto, si bien existen estudios que indican de manera general los valores nutricionales de cada menestra; no hay un estudio realizado aun en las menestras del departamento de Cajamarca que indiquen la concentración exacta de minerales en cada una de ellas. Y este desconocimiento impacta directamente en las familias que no saben que menestras consumir de acuerdo con los requerimientos de cada organismo.

La metodología de espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS) ofrece una opción moderna, ágil y no invasiva para el análisis elemental de muestras sólidas. LIBS permite identificar y medir la concentración de sólidos y otros elementos importantes sin requerir una preparación extensa de las muestras, lo cual la convierte en una opción perfecta para su uso en el sector alimentario.

Por ello, este estudio tuvo como finalidad realizar una evaluación multielemental en menestras de Cajamarca, mediante la implementación de LIBS, determinando así la concentración de Fe, Ca, Zn, Mg, K cada muestra. Con este análisis, se logró cuantificar la concentración mineral de cada muestra y con esto comparar cuál de ellas tiene un mayor valor nutricional.

### **3.3.5. Procedimiento (describir paso a paso el proceso de manera cronológica):**

Descripción de operaciones para la obtención de pastillas a partir la materia prima (menestras de Cajamarca). Se llevó a cabo un procedimiento regulado que abarca varias fases, comenzando desde la recepción de las menestras, hasta el ingreso de pastillas de las muestras al LIBS.

#### **1. Materia prima:**

Obtención de la materia prima como pilar fundamental de la investigación, menestras crudas (Frijol variedad Rojo Moteado, Lenteja Serrana, Arveja Blanca, Haba Chiqui, Garbanzo Mediano y Pallar Mediano), comprados en provincias de la Región de Cajamarca.

#### **2. Recepción:**

La recepción de 1Kg de cada una de las menestras, en esta etapa se llevó a cabo un control inicial de calidad. Se examinaron aspectos organolépticos como tamaño, estado de madurez, textura; así mismo, se escogieron las menestras de posibles contaminantes como tierra, piedras (que se encuentran junto a las menestras al después de la cosecha).

#### **3. Molienda:**

En esta etapa, se separó 500g de cada menestra cruda escogida, para pasar posteriormente por un equipo de molienda (molino industrial), aquí la muestra no se encuentra homogénea, puesto que el tamaño de partícula es diferente y va desde 100um hasta de 1mm.

#### **4. Tamizado:**

En esta etapa se pasaron las 6 variedades de menestras molidas por varios Tamices, para obtener una muestra homogénea; donde al pasar las muestras por el primer tamiz se obtuvo un tamaño de partícula de 1mm; luego al pasar por un segundo tamiz, se obtuvo el tamaño de partícula de 650um; al pasar por un tercer tamiz se obtuvo el tamaño de partícula de 250um; luego pasar por un cuarto tamiz, y se obtuvo un tamaño de partícula de 150um; y por ultimo pasamos por un quinto tamiz más fino, donde se obtuvo un tamaño de partícula menor a 150um, este tamaño de partícula representa uniformidad ideal para la obtención de la pastilla en el prensado.

#### **5. Prensado:**

Para esta etapa de prensado el tamaño de partícula ideal fue menor de 150um obtenido en el quinto tamiz más fino, es así que se colocó 5gr de cada muestra, una por una, en la máquina de pensado (prensa industrial), durante 1 hora y se formaron pastillas sólidas y compactas.

#### **6. Formación de Pastillas:**

Después del prensado de las menestras molidas y tamizadas hasta el tamaño de partícula más fino menor de 150um, se colocaron las pastillas en placas Petri a 15°C, cada muestra se enfrió en un deshidratador que contiene un material deshidratante para impedir que se absorba la humedad del aire antes de llevar a cabo el análisis. Es así; que, transcurrido el tiempo de 6 horas, las pastillas adquirieron una textura más resistente, y estuvieron listas para ser evaluadas en el equipo LIBS.

#### **7. Almacenamiento provisional:**

Al no efectuarse el análisis de inmediato, las muestras en forma de pastillas se guardaron por 12 horas en envases herméticos, para mantener sus características sólidas, libre de partículas que se encuentren en el ambiente.

**Figura 9: Diagrama de preparación de menestras para la obtención de pastillas a partir de la Materia Prima para pasar a LIBS**



**Fuente:** Adaptada de: Fox et al. (2017)

En la Figura 9 se observa el flujo de operaciones para la obtención de pastillas a partir de las menestras.

### 3.3.6. Descripción de evaluación por método LIBS

El análisis LIBS consistió en evaluar y cuantificar la concentración de Fe, Ca, Zn, Mg, K, presentes en las muestras de menestras colocadas en forma de pastillas solidas; así mismo al culminar la evaluación de cada una de ellas por separado, se las comparó, y se obtuvo el resultado de cuál de las menestras es la que tiene un mayor contenido de minerales, y con esto reflejar su valor nutricional.

### Proceso de evaluación con el método LIBS

#### 8. Preparación de muestras:

Se tomaron las muestras de menestras, se separaron una a una para proceder al análisis multielemental por separado. Las pastillas estuvieron libres de contaminantes y solidas secas; para que el Laser LIBS, emitiera los espectros.

## 9. Ajustes del sistema LIBS:

- Láser pulsador: comúnmente Nd: YAG con conmutación Q. Espectroscopia de ruptura inducida por láser, Sistema LIBS-8.
  - ❖ Marca Applied Photonics
  - ❖ Modelo XYZ-750
  - ❖ Serie 0393-001
  - ❖ Procedencia Inglaterra
- Impulso laser: 40 mJ/pulso de potencia.
- Duración de integración: apropiada para registrar la emisión del plasma.
- Distancias de trabajo (distancia nominal a la muestra): ~100 mm.
- Sensor: espectrómetro con excelente resolución y amplio rango de espectros.
- Longitud de onda: 1064nm (infrarrojo).
- Frecuencia de repetición: 1 a 10 Hz (típico para análisis puntuales).
- Duración del pulso: 5 – 10 ns.
- Limpieza: 2
- Acumulaciones: 5
- Espectros: 5

## 10. Producción de plasma y obtención de espectros:

El láser golpea la muestra en varios lugares. Con cada golpe, se produce un plasma que libera un espectro único. Este espectro se captura y guarda para futuras evaluaciones.

## 11. Detección de Fe, Ca, Zn, Mg, K:

Se estudiaron las líneas espectrales específicas de Fe, Ca, Zn, Mg, K. La fuerza de las líneas facilita la medir la cantidad de minerales en las muestras.

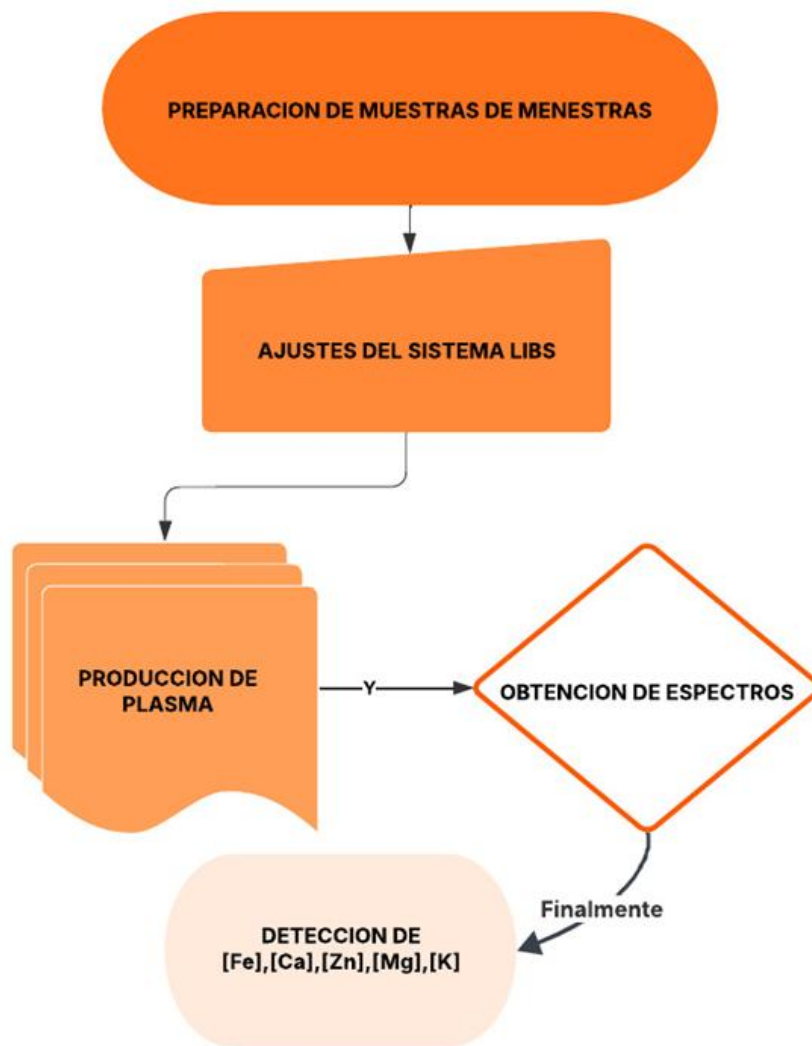
## 12. Comparación de Muestras según su Cantidad de Fe, Ca, Zn, Mg, K:

Se evaluaron los espectros recopilados de cada muestra de menestras. Esto permitió establecer:

- Concentración de Fe, Ca, Zn, Mg, K de cada muestra.
- Obtención de resultado de cuál de las muestras tiene mayor contenido nutricional.

*Figura 10: Diagrama para determinar Fe, Ca, Zn, Mg, K presentes en menestras*

*Originarias del Departamento de Cajamarca por método LIBS.*



Fuente: Adaptada de: Miziolek et al. (2006)

En la Figura 10, se observa el diagrama para determinar minerales tales como Fe, Ca, Mg, Zn y K en menestras originarias del Departamento de Cajamarca por método LIBS.

### **3.3.7. Tratamiento y análisis de datos**

La evaluación de la información recolectada a través de la espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS) se realizó con el propósito de evaluar de forma semi cuantitativa la intensidad de minerales en menestras originarias de la Región de Cajamarca. Se utilizaron técnicas estadísticas apropiadas para asegurar que los hallazgos sean válidos y confiables.

#### **Tipos de análisis:**

El análisis se llevó a cabo en dos etapas: espectral y estadístico.

##### **a) Análisis espectral:**

- Se llevó a cabo la identificación de las líneas de emisión que son propias del Fe, Ca, Zn, Mg, K.
- La intensidad de estas líneas de emisión se determinó integrando el área bajo el pico correspondiente.
- Se implementó técnicas de corrección de fondo y normalización para facilitar la comparación de los espectros obtenidos.

##### **b) Análisis estadísticos:**

- Análisis descriptivo: se realizaron cálculos como la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada muestra.
- Análisis de varianza (ANOVA): Se utilizó para comparar la concentración de Fe, Ca, Zn, Mg, K en las diferentes muestras.
- Prueba TUKEY: también conocida como el método de comparaciones múltiples de Tukey, es una herramienta estadística poderosa que nos permitió identificar diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos. Así mismo, determinar si existe una diferencia real entre las muestras.

## **Herramientas y software estadístico utilizado**

Para el análisis de los espectros y el tratamiento estadístico se utilizaron los siguientes programas.

- IMG – HR: Para la creación de gráficos, el análisis de curvas espectrales y la integración de picos.
- Espectrómetro LIBS – software dedicado: adquisición, procesamiento y registro de datos mediante el software LIBSoft™, de fácil manejo.
- R (lenguaje para análisis estadístico) o Python, para realizar análisis estadísticos complejos, regresiones y la gestión de grandes volúmenes de datos.
- SPSS o Statistica (opciones alternativas): para realizar análisis de varianza y pruebas de hipótesis en un entorno más amigable para el usuario.

## ***IV. RESULTADOS Y DISCUSION***

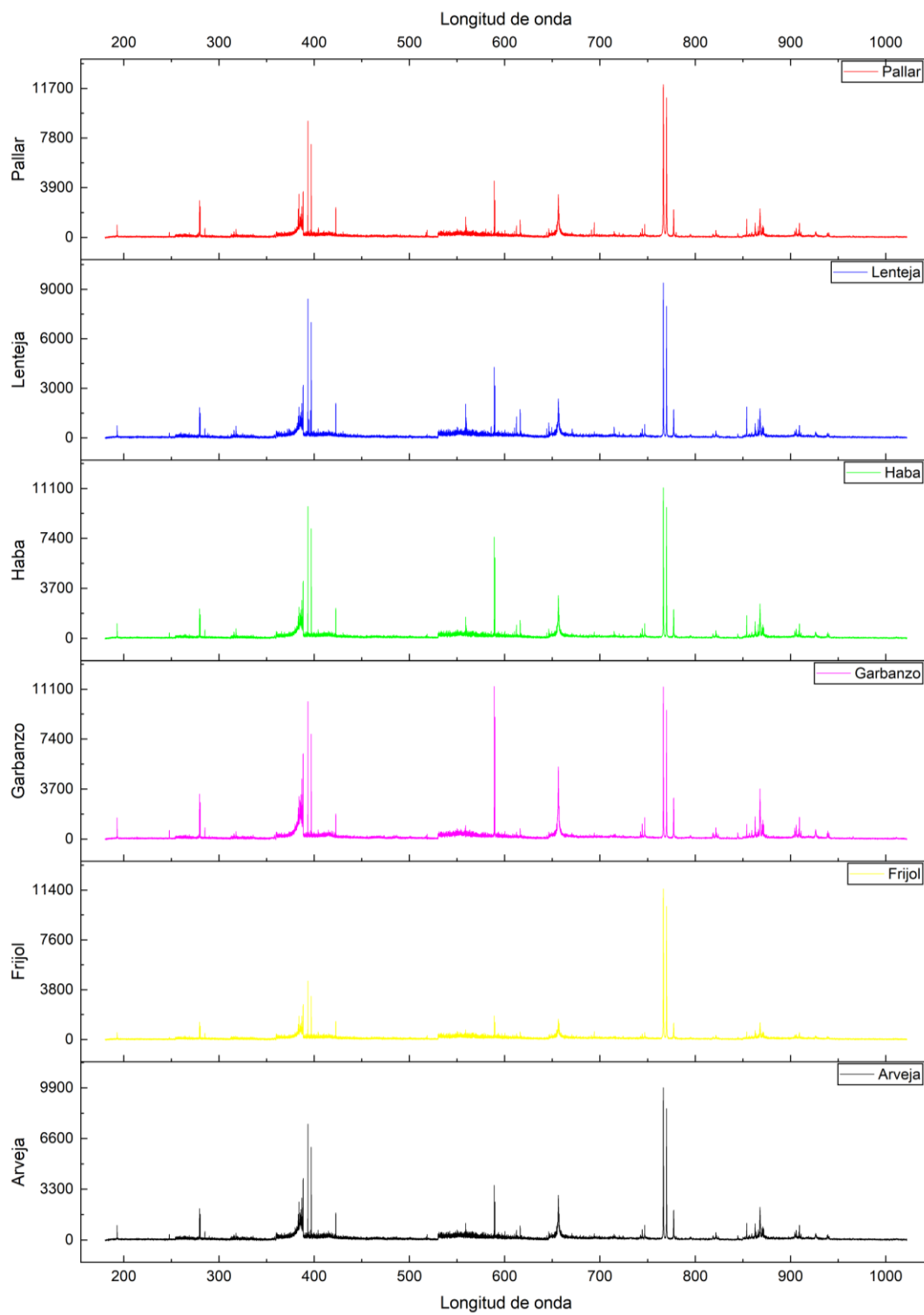
### **4.1. Resultados**

#### **Presentación General de los Resultados**

Se analizaron un total de 6 muestras de menestras: frijol rojo moteado, lenteja serrana, arveja blanca, haba chiqui, garbanzo mediano y pallar mediano. Para cada muestra se registraron los espectros emitidos tras la ablación inducida por láser, identificándose líneas características asociadas principalmente a los elementos: Fe, Ca, Mg, Zn y K.

#### **4.1.1. Identificación de la composición mineral de las 6 muestras de menestras, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).**

**Figura 11: Espectros promedio de las 6 menestras analizadas**



En la Figura 11, se muestra un panorama general de espectros LIBS representativos donde se observan los picos correspondientes a los elementos mayoritarios presentes en las 6 menestras analizadas. La identificación se realizó mediante comparación con bases de datos espectroscópicas (LIBS Database).

Al observar estos espectros, las menestras tienen un parecido significativo en concentración de minerales; puesto que las líneas espectrales entre 700nm y 800nm están presente en las 6 variedades de menestras; así mismo, en la línea espectral que ronda los 400nm está presente en las 6 menestras. Sin embargo, si existe una diferencia significativa en cuanto a las líneas espectrales cercanas a los 600nm y 650nm, puesto que están presentes en 5 muestras y solo están ausentes en la muestra de Frijol.

### **Discusión:**

La identificación de líneas espectrales claras para elementos como Fe, Ca, Mg, Zn y K demuestra la capacidad de la técnica para revelar la composición mineral de menestras sin necesidad de procedimientos complejos de preparación. Así mismo, los espectros obtenidos mostraron intensidades estables y repetibles, respaldando la confiabilidad del método. Esto concuerda con estudios que resaltan la rapidez, sensibilidad y carácter no destructivo de LIBS para análisis de alimentos secos, (Alvira, 2010).

#### 4.1.2. Cuantificación de minerales en cada tipo de menestra

Intensidades promedio encontradas de los minerales en cada tipo de menestra, expresadas en U.A (Unidades Arbitrarias).

**Tabla 9: Intensidad de metales presentes en Frijol**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
387.104	0.176	K
387.159	0.177	K
388.336	0.259	K
393.400	0.398	K
396.870	0.301	K
766.532	1.000	K
769.965	0.875	K
388.336	0.259	Zn
387.104	0.176	Fe
387.159	0.177	Fe
388.336	0.259	Fe
393.400	0.398	Fe
396.870	0.301	Fe
387.104	0.176	Ca
387.159	0.177	Ca
393.400	0.398	Ca
396.870	0.301	Ca

En la tabla 9, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en el Frijol.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 766.532nm y 769.965nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.875 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 388.336nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.259 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.400 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 0.398 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.400nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.398 U.A.

En este resultado se observó que el Frijol no tiene magnesio, tener en cuenta para futuros estudios en la búsqueda de minerales en frijoles.

### Discusión:

El autor (Zahit, 2023) en su estudio menciona que en Frijol turco encontró 0.14mg/kg de Mg, lo cual respalda la presente investigación, puesto que se observa que no se encontró Intensidad para Mg en la variedad de Frijol Rojo Moteado. Sin embargo, los autores (Pighín et al., 2023) mencionan que encontraron 2.13gr/kg en frijol argentino, lo cual se debería a la variedad y tipo de suelo.

En cuanto a los minerales Fe, Ca, Zn y K los autores (Pighín et al., 2023) menciona que están presentes en todas las variedades de Frijoles, y esto se debe a la absorción de minerales del suelo de las leguminosas, por ello en esta investigación se muestra que Frijol variedad Rojo Moteado originario de Cachachi, Cajabamba tiene intensidad de estos minerales, por ello cuenta con presencia de minerales.

**Tabla 10: Intensidad de metales presentes en Lentejas**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
387.131	0.228	K
388.336	0.336	K
393.400	0.972	K
396.870	0.789	K
422.687	0.221	K
766.585	1.000	K
769.965	0.819	K
388.336	0.336	Zn
589.648	0.357	Zn
279.538	0.218	Fe
387.131	0.228	Fe
388.336	0.336	Fe
393.400	0.972	Fe
396.870	0.789	Fe
422.687	0.221	Fe
656.625	0.258	Fe
279.538	0.218	Mg
387.131	0.228	Ca
393.400	0.972	Ca
396.870	0.789	Ca
422.687	0.221	Ca

En la tabla 10, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en la Lenteja.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 766.585nm y 769.965nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.819 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 589.648nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.357 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.400 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 0.972 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Mg de 279.538nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.218 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.400nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.972 U.A.

### **Discusión:**

Autores como (Mauer et al., 2024) y (Baljinder et al., 2023) han encontrado que la Lenteja tiene 63.6 y 67.45mg/kg respectivamente del mineral Fe; sin embargo, el autor (Pighín et al., 2023) encontró 89.9mg/kg en Lenteja Argentina, lo cual se relacionaría con la presente investigación, puesto que se encontró una Intensidad de 0.972 U.A. lo cual muestra que la Lenteja estaría por encima de otras menestras, lo que se debe en parte a la absorción de la leguminosa de micronutrientes del suelo San Marquino rico en minerales, lo cual haría aumentar en cantidad con respecto a Lentejas de otros lugares.

Los autores (Canada y NSERC, 2025) y (Pighín et al., 2023) presentaron en sus investigaciones 8.95g/kg y 8.69g/kg respectivamente del mineral K, lo cual está acorde con la presente investigación puesto que se identificó una Intensidad presente de 1.000 U.A. mostrando presencia fuerte en todas las menestras, lo cual se debe a su composición por parte de la variedad Lenteja Serrana.

**Tabla 11: Intensidad de metales presentes en Arvejas**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
387.131	0.307	K
388.336	0.437	K
393.400	0.839	K
396.870	0.679	K
766.585	1.000	K
769.965	0.866	K
383.851	0.264	Zn
388.336	0.437	Zn
383.851	0.264	Fe
387.131	0.307	Fe
388.336	0.437	Fe
393.400	0.839	Fe
396.870	0.679	Fe
656.625	0.297	Fe
383.851	0.264	Mg
387.131	0.307	Ca
393.400	0.839	Ca
396.870	0.679	Ca

En la tabla 11, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en la Arveja.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 766.585nm y 769.965nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.866 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 388.336nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.437 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.400 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 0.839 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Mg de 383.851nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.264 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.400nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.839 U.A.

### Discusión:

El autor (Millar et al., 2019) y (Pighín et al., 2023) concuerdan en que las Arvejas tienen aproximadamente 10g/kg del mineral K, lo cual respalda a la presente a la investigación; puesto que se encontró Intensidad 1.000 U.A. en la variedad Arveja Blanca; así mismo, se encontró 0.437 U.A. del elemento Zn, lo cual va de la mano con el estudio de estos autores que mencionan que han encontrado 37.8 y 38.1mg/kg, por lo que refiere un punto medio de este mineral.

**Tabla 12: Intensidad de metales presentes en Habas**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
386.170	0.222	K
387.131	0.294	K
388.336	0.418	K
393.373	1.000	K
396.870	0.834	K
766.585	0.931	K
769.965	0.801	K
383.851	0.228	Zn
388.336	0.418	Zn
589.648	0.486	Zn
279.538	0.263	Fe
383.851	0.228	Fe
386.170	0.222	Fe
387.131	0.294	Fe
388.336	0.418	Fe
393.373	1.000	Fe
396.870	0.834	Fe
279.538	0.263	Mg
383.851	0.228	Mg
386.170	0.222	Mg
387.131	0.294	Ca
393.373	1.000	Ca
396.870	0.834	Ca

En la tabla 12, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en el Haba.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 393.373nm y 766.585nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.931 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 589.648nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.486 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.373 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Mg de 279.538nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.263 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.373nm y donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 U.A.

Por ello, para un estudio futuro, se recomienda utilizar las longitudes de onda descritas anteriormente, para obtener la mayor intensidad en cada mineral que se quiere encontrar.

#### **Discusión:**

Autores como (Xiao et al., 2025) y (Millar et al., 2019) mencionan que el Haba tiene 41.8 y 51mg/kg del mineral Zn, lo cual concuerda con la presente investigación donde se encontró una Intensidad de 0.486 U.A. destacando de las demás menestras, solo por debajo del Garbanzo. Así mismo, en Fe se encontró una Intensidad de 1.000 U.A, lo cual destaca de las demás menestras, tal y como indica el autor (Youssef et al., 1987) quien en su estudio encontró que las habas tienen 77mg/kg de Fe.

**Tabla 13: Intensidad de metales presentes en Garbanzo**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
386.170	0.288	K
387.131	0.380	K
388.336	0.536	K
393.373	0.848	K
396.870	0.621	K
766.585	1.000	K
769.965	0.816	K
280.263	0.264	Zn
383.851	0.261	Zn
388.336	0.536	Zn
589.648	0.733	Zn
279.538	0.340	Fe
280.263	0.264	Fe
383.851	0.261	Fe
385.040	0.251	Fe
385.454	0.233	Fe
386.170	0.288	Fe
387.131	0.380	Fe
388.336	0.536	Fe
393.373	0.848	Fe
396.870	0.621	Fe
656.992	0.252	Fe
657.114	0.245	Fe
279.538	0.340	Mg
280.263	0.264	Mg
383.851	0.261	Mg
385.040	0.251	Mg
385.454	0.233	Mg
386.170	0.288	Mg
387.131	0.380	Ca
393.373	0.848	Ca
396.870	0.621	Ca
656.992	0.252	Ca
657.114	0.245	Ca

En la tabla 13, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en el Garbanzo.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 766.585nm y 393.373nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.848 U.A.

- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 589.648nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.733 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.373 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 0.848 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Mg de 279.538nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.340 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.373nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.848 U.A.

**Discusión:**

El autor (Pighín et al., 2023) en su estudio encontró en Garbanzo 1.38g/kg de Mg, el cual teóricamente representa lo encontrado en esta investigación, puesto que se encontró una Intensidad de 0.340 U.A. lo cual es más alto con respecto a demás menestras. Así mismo, minerales como Ca, Zn y K, también destacaron en cantidad, esto puede deberse al origen de este Garbanzo perteneciente a Hualgayoc, Bambamarca; donde el suelo es rico en minerales como Zinc, Fe, Mg, Ca, K; (Ericksen et al., 1996).

**Tabla 14: Intensidad de metales presentes en Pallar**

Longitud de onda	Intensidad (U.A.)	Elemento
387.131	0.257	K
388.336	0.380	K
393.373	0.856	K
396.870	0.663	K
766.585	1.000	K
769.965	0.876	K
280.263	0.233	Zn
383.851	0.269	Zn
388.336	0.380	Zn
589.648	0.219	Zn
279.538	0.288	Fe
280.263	0.233	Fe
383.851	0.269	Fe
387.131	0.257	Fe
388.336	0.380	Fe
393.373	0.856	Fe
396.870	0.663	Fe

656.992	0.232	Fe
657.114	0.224	Fe
279.538	0.288	Mg
280.263	0.233	Mg
383.851	0.269	Mg
387.131	0.257	Ca
393.373	0.856	Ca
396.870	0.663	Ca
656.992	0.232	Ca
657.114	0.224	Ca

En la tabla 14, se muestra las longitudes de onda relevantes y las intensidades para los minerales Fe, Ca, Mg, Zn y K evaluados en el Pallar.

- Siendo las longitudes de onda más representativas para K de 766.585nm y 769.965nm, donde se obtuvo la Intensidad de 1.000 y 0.876 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Zn de 388.336nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.380 Unidades Arbitrarias.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Fe de 393.373 nanómetros y donde se obtuvo la Intensidad de 0.856 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Mg de 279.538nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.288 U.A.
- Siendo la longitud de onda más representativa para Ca de 393.373nm y donde se obtuvo la Intensidad de 0.856 U.A.

### **Discusión:**

Autores como (Titilope et al., 2015) y (Pighín et al., 2023) han encontrado 0.95 y 1.94g/kg respectivamente, lo cual coincide con esta investigación, puesto que se ha establecido una Intensidad de 0.288U.A. lo cual representa alta concentración con respecto a otras menestras evaluadas, solo por debajo del Garbanzo variedad mediano, en cuanto a este mineral.

### Tabla de diferenciación:

A continuación, en la tabla 14 donde se detalla la intensidad de minerales en las 6 muestras de menestras usando LIBS.

*Tabla 15: Tabla de presencia de Fe, Ca, Zn, Mg, K en diferentes muestras de menestras originarias de la Región de Cajamarca.*

Menestras		Intensidad de Minerales en U.A.				
Muestra	Lugar	[Fe]	[Ca]	[Zn]	[Mg]	[K]
Frijol	Cajabamba	0.398	0.398	0.259	-	1.000
Lenteja	San Marcos	0.972	0.972	0.357	0.218	1.000
Arveja	Cajamarca	0.839	0.839	0.437	0.264	1.000
Haba	Cajamarca	1.000	1.000	0.486	0.263	1.000
Garbanzo	Hualgayoc	0.848	0.848	0.733	0.340	1.000
Pallar	Hualgayoc	0.856	0.856	0.380	0.288	1.000

En la Tabla 15, se describe la presencia de minerales en las diferentes muestras de menestras del diseño experimental.

### Descripción general de los resultados:

- El mineral con mayor intensidad en todas las menestras fue Potasio (K).
- La intensidad de calcio (Ca) fue particularmente alto en Lenteja 0.972 U. A y Haba 1.000 U. A; medianamente alto en Arveja 0.839 U. A, Garbanzo 0.848 U. A y Pallar 0.856 U. A, mientras que en Frijol fue bajo 0.398 U. A.
- Haba y Lenteja mostraron la mayor concentración de hierro (Fe).
- El Garbanzo exhibió los mayores niveles combinados de minerales esenciales Fe, Ca, Zn, Mg, K.

## Discusión:

Los datos muestran que todas las menestras evaluadas poseen minerales esenciales, aunque en proporciones significativamente diferentes. El elemento mayoritario en las 6 menestras fue el Potasio (K), hallazgo consistente con estudios nutricionales que indican que las leguminosas suelen ser ricas en potasio debido a su rol en procesos celulares y metabólicos, (Pighín et al., 2023).

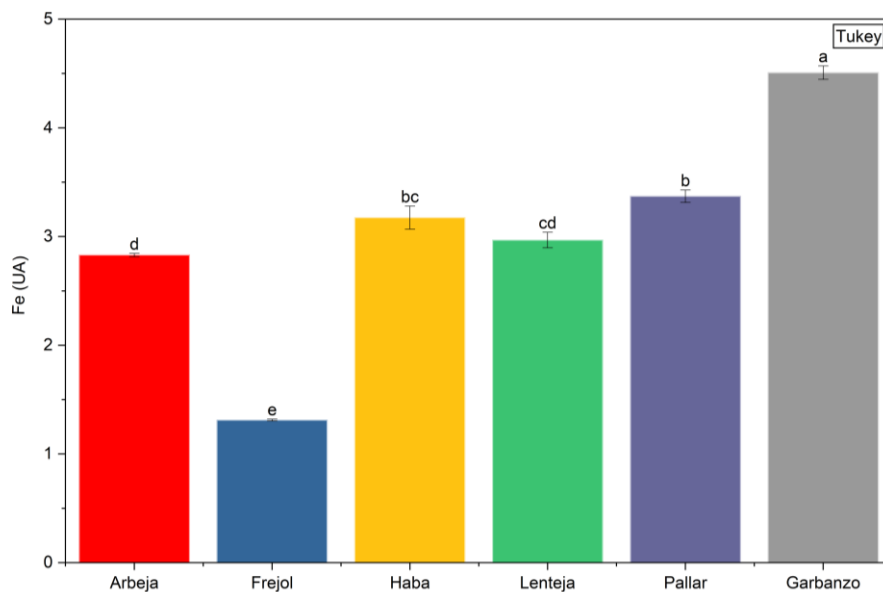
### 4.1.3. Comparación de los resultados de la composición de minerales de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca.

Para evaluar si las diferencias entre las concentraciones de minerales eran significativas, se realizó un análisis estadístico mediante ANOVA por cada mineral, seguido de una prueba post hoc de Tukey.

### Resultados del ANOVA

Para hierro se ha comparado las diferentes intensidades de Fe en Unidades Arbitrarias para mostrar la diferencia entre las 6 muestras de menestras.

*Figura 12: Comparación de intensidad total para Hierro*



### **Interpretación:**

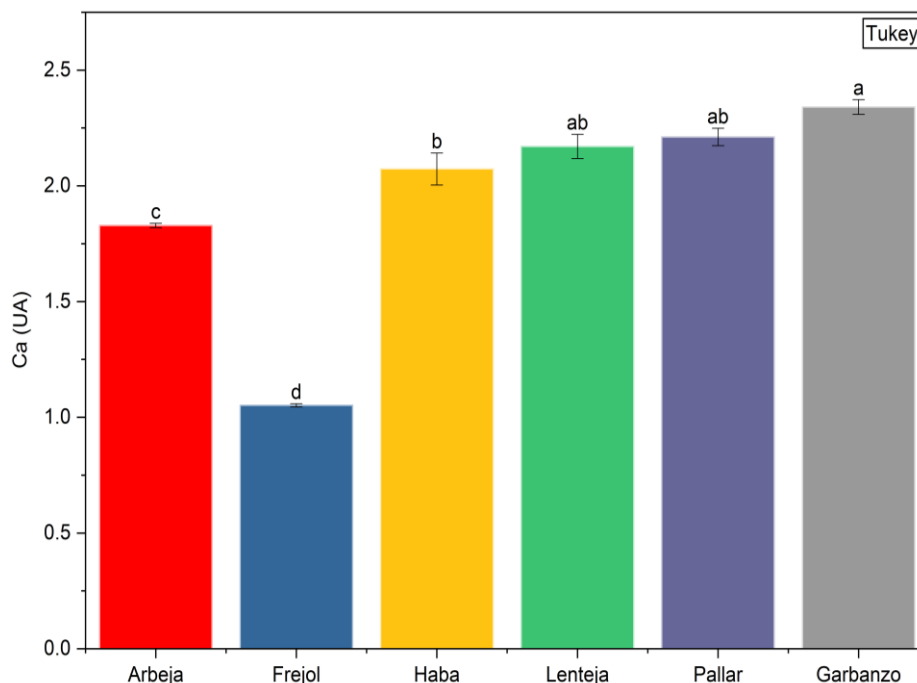
De acuerdo con la figura 12, existen diferencias estadísticamente significativas entre las menestras para Fe, Garbanzo tiene mayor Intensidad (cantidad) de Fe que las demás menestras.

- El haba y Lenteja tienen cantidades de hierro similares.
- Asimismo, el Haba y Pallar tienen parecida cantidad de hierro.
- Lenteja y Arveja muestran similar cantidad de Fe.
- Frijol muestra menor intensidad de Hierro.

### **Discusión:**

Contenido de Hierro (Fe): La Haba mostró el contenido más alto de hierro entre todas las menestras. Este resultado concuerda con reportes nutricionales, (Youssef et al., 1987) quienes indican que las habas suelen tener mayor contenido de hierro que otras leguminosas. En este estudio la variedad Chiqui (serrana) comprobó su alto contenido mineral. Su capacidad de fijación de nitrógeno y su sensibilidad a micronutrientes del suelo puede explicar esta particularidad.

**Figura 13: Comparación de intensidad total para Calcio**



**Interpretación:**

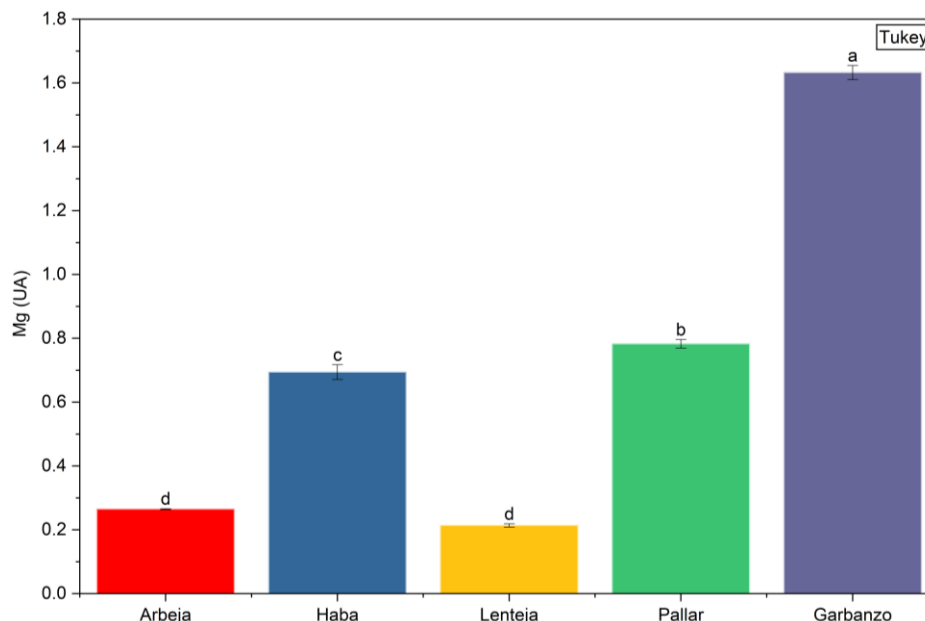
De acuerdo con la figura 13, para Calcio la diferencia entre Garbanzo, Pallar y Lenteja es mínima.

- Así también, Lenteja, Pallar y Haba tienen cantidades de Calcio similares.
- Arveja muestra menor cantidad de Ca en comparación con Haba, Lenteja, Garbanzo y Pallar.
- Frijol muestra menor intensidad de Calcio en comparación con la Arveja.

**Discusión:**

Contenido de Calcio (Ca): el Haba y la Lenteja presentaron las intensidades más fuertes de calcio. Esta tendencia es coherente con la literatura, puesto que en el Haba (Xiao et al., 2025), indican alto contenido de Ca y estudios realizados en Lenteja también indican alta concentración de Ca, (Canada y NSERC, 2025), es así que, las variedades de Lenteja y Haba Serrana en este estudio demostraron destacar por su aporte en Ca. La variabilidad puede estar asociada a factores edáficos, cultivares y condiciones de cultivo en Cajamarca.

**Figura 14: Comparación de intensidad total para Magnesio**



**Interpretación:**

De acuerdo con la figura 14, para Magnesio la diferencia entre menestras si es muy notoria; puesto que la Intensidad de Mg en el Garbanzo supera al doble al Pallar, Lenteja, Haba y Arveja.

- En cuanto a Lenteja y Arveja tienen cantidades bajas de Magnesio similares.
- Por su parte el Haba se encuentra casi en un punto medio de intensidad de Magnesio con respecto al Garbanzo.
- Pallar cuenta con una intensidad de Magnesio ligeramente mayor al Haba.
- Por último, el Frijol no está presente en esta comparación, puesto que no tiene presencia de Magnesio.

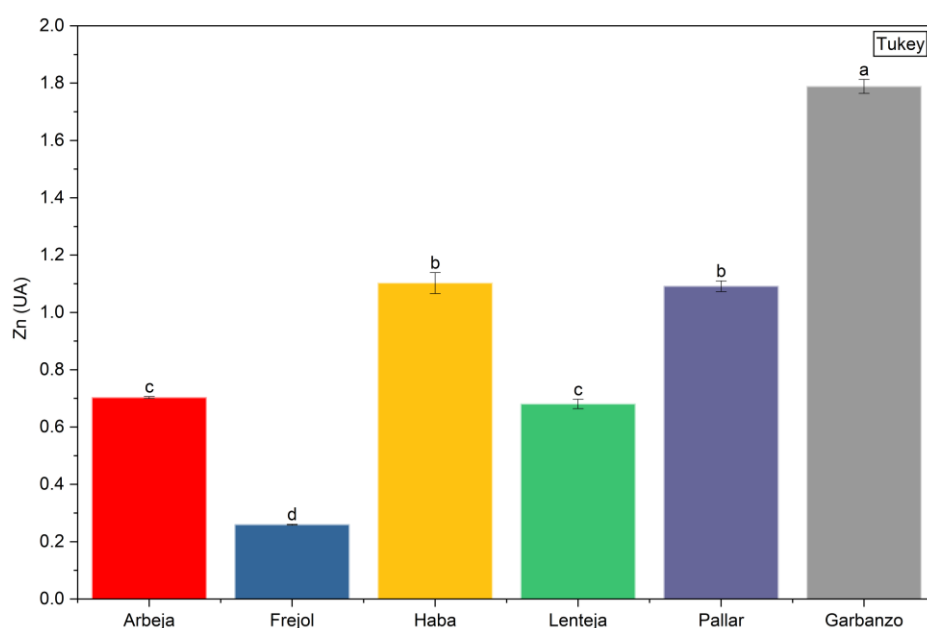
**Discusión:**

Contenido de Magnesio (Mg): el Garbanzo y el Pallar presentaron las intensidades ligeramente más altas de Mg. Este elemento está altamente relacionado con la síntesis de clorofila y procesos metabólicos de la planta, por lo que su abundancia en estas menestras puede deberse a la composición mineral del suelo Cajamarquino; lo cual

concuera con autores como (Pighín y otros, 2023), quienes al estudiar ampliamente al Garbanzo y Pallar destacaron su contenido mineral.

Contenido de Magnesio (Mg): El Frijol variedad rojo moteado, en este estudio obtuvo menor concentración de minerales y Mg ausente, lo cual no está acorde a estudios previos realizados por (Zahit, 2023) quien menciona que el frijol presenta Mg en su composición mineral; esto puede deberse a la variedad del frijol o al suelo en el que se ha cultivado.

**Figura 15: Comparación de intensidad total para Zinc**



### **Interpretación:**

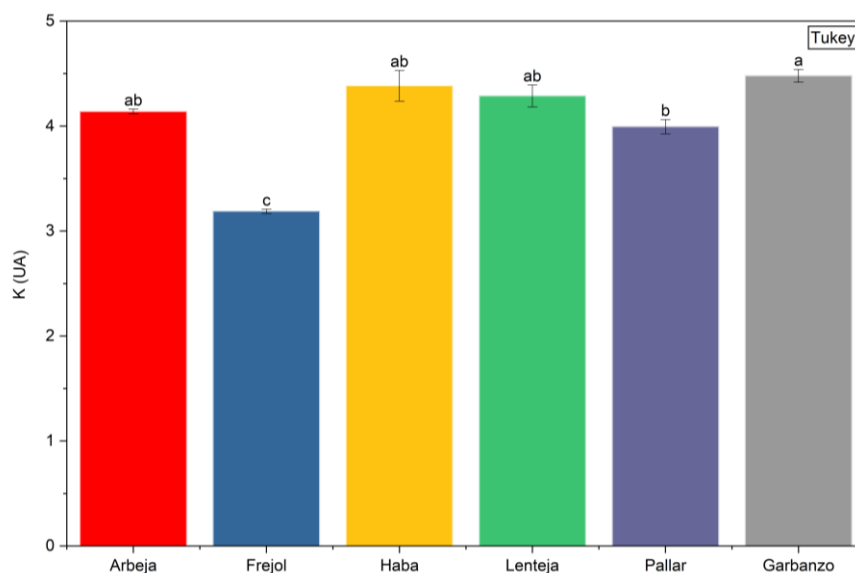
De acuerdo con la figura 15, para Zinc la diferencia entre menestras es notable; puesto que la Intensidad de Zn en el Garbanzo supera al Pallar, Lenteja, Haba y Arveja y Frijol.

- En cuanto a Haba y Pallar tienen Intensidades de Zn similares.
- Por su parte la Lenteja y Arveja se encuentra casi en un punto medio de intensidad de Zinc con respecto al Garbanzo.
- Por último, el Frijol tiene intensidad de Zn baja en comparación con las demás menestras.

### Discusión:

Contenido de Zinc (Zn): El Garbanzo mostró la Intensidad más alta de Zinc entre las 6 menestras, lo cual también coincide con estudios previos (Oghbaei y Prakash, 2020) que indican que el Zn está presente en leguminosas (garbanzos), cultivados en suelos ricos en Zinc.

*Figura 16: Comparación de intensidad total para Potasio*



### Interpretación:

De acuerdo con la figura 16, para Potasio la diferencia entre menestras no es tan notable; puesto que la Intensidad de K en el Garbanzo, Lenteja, Haba y Arveja son muy similares.

- En cuanto al Pallar se asemeja a la intensidad de K que tiene Lenteja, Haba y Arveja, por debajo del Garbanzo.
- Por su parte el Frijol está por debajo de la Intensidad de K de las demás menestras, pero no es tan notorio como en otros minerales.

## **Identificación de la Menestra con Mayor Intensidad de Concentración Mineral:**

De acuerdo con los resultados semi cuantitativos y comparativos:

- Haba y Lenteja destacan por su alto contenido de Hierro, útil para combatir la anemia.
- Garbanzo destaca en su nivel elevado de Zn, útil para el crecimiento en niños.
- Habla y Lenteja muestra niveles elevados de Calcio, útil para fortalecer los huesos.
- Frijol presenta concentraciones menores en casi todos los minerales analizados.

## **Discusión:**

El análisis ANOVA reveló diferencias significativas en Fe, Ca, Mg y Zn entre las menestras, (Kenton, 2025). Este hallazgo es fundamental porque demuestra que la composición mineral depende del tipo de menestra, lo que justifica trabajos de caracterización específicos para cada variedad de la Región de Cajamarca. La falta de significancia en K sugiere que este mineral se distribuye de manera más uniforme entre las menestras de la región, además que su concentración es menos sensible a características locales del suelo.

### **4.2.2. Comparación con investigaciones previas**

Los resultados coinciden con reportes de composición mineral de menestras en Perú y otros países, donde se destaca la alta presencia de Potasio, Magnesio, Zinc, Calcio, Hierro. Sin embargo, esta investigación aporta dos elementos novedosos:

Especificidad Regional: La caracterización se realizó exclusivamente en menestras del Departamento de Cajamarca, región donde hasta ahora no se contaba con información sobre composición mineral usando LIBS.

Uso de LIBS como herramienta principal: Aunque algunos estudios han empleado otras técnicas para determinar metales en alimentos, pocos han utilizado LIBS para semi cuantificar minerales en menestras peruanas y/o cajamarquinas. Este estudio demuestra que LIBS puede ser una alternativa viable, rápida y eficiente.

### **4.2.3. Limitaciones del estudio**

Aunque los resultados son sólidos, se reconocen ciertas limitaciones:

- La cuantificación LIBS depende fuertemente de la calibración y de la homogeneización de las muestras (en forma de pastillas, solidas, comprimidas).
- No todas las líneas espectrales tienen la misma intensidad dependiendo de la matriz, lo que puede generar errores relativos en elementos traza (oligoelementos).
- El tamaño de muestra puede ampliarse en futuras investigaciones para tener mayor representatividad regional.

Estas limitaciones abren oportunidades para estudios complementarios que combinen LIBS con otras técnicas confirmatorias, donde ya se pueda convertir a mg/kg.

### **4.2.7. Aportes del estudio**

La presente investigación aporta:

- Un perfil mineral de Menestras Cajamarquinas.
- Evidencia intensidades diferenciales de minerales entre variedades.
- Validación del uso de LIBS como técnica analítica en Estudios Alimentarios.
- Información crucial para estrategias de Nutrición y Agricultura Regional.

## V. *CONCLUSIONES*

Las variedades de menestras analizadas Frijol Rojo Moteado, Lenteja Serrana, Arveja Blanca, Haba Chiqui, Garbanzo Mediano y Pallar Mediano; presentaron minerales esenciales en diferentes proporciones. El potasio (K) fue el mineral mayoritario en todas las muestras, seguido generalmente por Calcio (Ca). La variedad Haba Chiqui destacó como la menestra con mayor concentración de hierro (Fe), seguido por la Lenteja Serrana, lo cual las convierte en alimentos potencialmente beneficiosos para nuestro Departamento de Cajamarca que tiene alto porcentaje de niños con riesgo de Anemia. El Garbanzo variedad Mediano, presentó los niveles más elevados de Magnesio, Zinc y Potasio, posicionándose como la menestra con mayor aporte global de minerales esenciales. Y, por último, el Frijol variedad Rojo Moteado presentó las concentraciones más bajas en la mayoría de minerales, evidenciando un menor aporte nutricional comparado con las demás menestras estudiadas del Departamento de Cajamarca.

La cuantificación de la composición mineral de menestras permitió conocer para Frijol Rojo Moteado la longitud de onda de 766.532nm alcanzo una Intensidad de 1.000 U.A. en el elemento K, la cual resulta ser la más viable; para Lenteja Serrana, Arveja Blanca, Haba Chiqui, Garbanzo mediano y Pallar mediano la Longitud de onda de 766.585nm alcanzo una Intensidad de 1.000 U.A. en el elemento K. Por otro lado, para Lenteja, Haba, Garbanzo y Pallar la Longitud de onda de 279.538nm obtuvo una mayor Intensidad del Mineral Mg en las cuatro variedades, y solo para la variedad Arveja Blanca la longitud de onda de 383.851nm alcanzo la mayor intensidad en Mg. Para el elemento Zn, presente en Frijol, Arveja y Pallar la longitud de onda 388.336 logro la mayor intensidad; en Lenteja, Haba y Garbanzo la longitud de onda 589.648 obtuvo la mayor intensidad. Para los elementos Fe y Ca presentes en Frijol, Lenteja y Arveja la longitud de onda 393.400 obtuvo la mayor intensidad de estos dos elementos; y en Haba, Garbanzo y Pallar la longitud de onda 393.373 obtuvo mayor intensidad de los elementos Fe y Ca.

La espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS) permitió cuantificar eficazmente la composición mineral de las 6 muestras de menestras del Departamento de Cajamarca, demostrando ser una técnica adecuada, confiable y viable para la identificación y evaluación de minerales en alimentos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

### **Para instituciones de salud y programas nutricionales**

- Promover el consumo de Garbanzo variedad Mediano y Pallar variedad Mediano en programas de alimentación escolar, comunitaria y hospitalaria debido a su alto contenido de minerales esenciales como Zn, Mg y K.
- Incorporar el Haba variedad Chiqui y la Lenteja Serrana en dietas destinadas a poblaciones vulnerables, especialmente en zonas con alta prevalencia de Anemia, considerando su elevado contenido de Hierro.
- Difundir información nutricional basada en evidencia científica sobre las menestras del Departamento de Cajamarca, para fomentar hábitos alimentarios saludables en la población.

### **Para agricultores y productores de Cajamarca**

- Impulsar el cultivo de Garbanzo, Haba y Lenteja, ya que además de su valor económico, presentan un perfil mineral ampliamente beneficioso para el consumo humano.
- Desarrollar estrategias de mejora de suelos y manejo agronómico que potencien la absorción de minerales esenciales, especialmente Mg, Ca y Fe.

### **Para investigadores y laboratorios académicos**

- Ampliar la investigación con otros equipos cuantificadores, capaces de convertir los Resultados de esta investigación en U.A. a mg/Kg para así obtener una Base de Datos Regional de Composición Mineral.
- Implementar estudios de cocción de menestras para evaluar los minerales presentes, y así entender mejor el aporte real de estos alimentos al organismo humano.
- Realizar investigaciones que evalúen el efecto de condiciones de cultivo, altitud, tipo de suelo y manejo agrícola sobre la composición mineral de las menestras de Cajamarca.

### **Para tomadores de decisiones y autoridades locales**

- Considerar los resultados del presente estudio para la formulación de políticas alimentarias y agrícolas que promuevan cultivos de alto valor nutricional.
- Integrar la información generada en campañas regionales orientadas a reducir la Desnutrición Infantil y la Anemia mediante el consumo de Menestras con alto Contenido Mineral.
- Incentivar proyectos de Investigación Regional que utilicen técnicas avanzadas como LIBS para fortalecer la Ciencia Aplicada y la Seguridad Alimentaria.

### **Para los consumidores**

- Fomentar el consumo frecuente de Garbanzo Mediano, Haba Chiqui, Lenteja Serrana, Pallar Mediano, aprovechando su contenido elevado de minerales esenciales beneficiosos para la salud.
- Mantener una dieta variada que incluya distintos tipos de menestras para obtener un aporte equilibrado de minerales.

**Cuadro 1: Matriz de Consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Formulación del problema:</b></p> <p>¿Será posible la Evaluación, Cuantificación y Comparación de Composición Mineral existente en diferentes Menestras originarias del Departamento de Cajamarca, usando Espectroscopia de Ruptura Inducida por Láser (LIBS)?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Evaluar, Cuantificar y Comparar la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificar los minerales presentes en variedades de menestras originarias del departamento de Cajamarca; frijol rojo moteado, lenteja serrana, arveja blanca criolla, garbanzo mediano, haba chiqui y pallar mediano.</li> <li>○ Cuantificar la composición mineral de cada una de las muestras de las diferentes menestras, usando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).</li> <li>○ Comparar los resultados de la composición de minerales de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, para lograr identificar cuál de ellas brinda mayores beneficios a la población.</li> <li>○ Evaluar la viabilidad de la técnica LIBS como método analítico para el análisis de alimentos de la Región de Cajamarca.</li> </ul>	<p><b>Alternativa:</b></p> <p>Será posible la evaluación, cuantificación y comparación de la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, utilizando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).</p> <p><b>Nula:</b></p> <p>No será posible la evaluación, cuantificación y comparación de la composición mineral de las diferentes menestras originarias del departamento de Cajamarca, utilizando espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS).</p>	<p><b>Independiente:</b></p> <p>Muestras de menestras (Frijol, Lenteja, Arveja, Haba, Garbanzo y Pallar) de la Región de Cajamarca.</p> <p><b>Dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- [ ] (Fe) evaluado mediante LIBS.</li> <li>- [ ] (Ca) evaluado mediante LIBS.</li> <li>- [ ] (Zn) evaluado mediante LIBS.</li> <li>- [ ] (Mg) evaluado mediante LIBS.</li> <li>- [ ] (K) evaluado mediante LIBS.</li> <li>- Comparación de Composición mineral de las distintas muestras de menestras de Cajamarca.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuantitativa:</b></li> </ul> <p>Porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos sobre el contenido de minerales de las diferentes menestras de Cajamarca, usando el método LIBS.</p> <p><b>Diseño:</b></p> <p><b>Diseño descriptivo:</b> Es decir, se trabaja con un grupo de 6 muestras (menestras de la Región de Cajamarca), las mismas que posteriormente son molidas, prensadas en forma de pastillas; para luego tomar mediciones con el método LIBS.</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>Muestras de 6 menestras de la Región de Cajamarca, molidas, prensadas y en forma de pastillas.</p>

En el Cuadro 1 se observa la matriz de consistencia en donde se detallan: el problema de investigación; los objetivos; la hipótesis; las variables de estudio y la metodología que se utilizó en esta investigación.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- AAN. (2016). *Agencia Agraria de Noticias*. Producción peruana de menestra. Agraria.pe: <https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-menestra-se-duplico-en-los-ultimos-13833>
- Aldana, F. (2010). *Produccion Comercial y de Semilla de Haba (Vicia Faba L.)*. Manual Tecnico Agrícola: <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Haba/Produccion%20comercial%20y%20de%20semilla%20de%20haba.%202010.pdf>
- Aldavert, M. (2022). *Absorbancia y Transmitancia*. Ayudando a Integrar la Calidad en los Procesos: [https://www.google.com/search?q=ABSORBANCIA+EN+LIBS&sca\\_esv=9041d924e50586b2&sxsrf=ANbL-n6xSX8pgCqPU0Os\\_a\\_1LNmahpQgZw%3A1774456238806&ei=rg3Eaa3xMJ6PwbkPwJ-3iAk&biw=1536&bih=747&ved=0](https://www.google.com/search?q=ABSORBANCIA+EN+LIBS&sca_esv=9041d924e50586b2&sxsrf=ANbL-n6xSX8pgCqPU0Os_a_1LNmahpQgZw%3A1774456238806&ei=rg3Eaa3xMJ6PwbkPwJ-3iAk&biw=1536&bih=747&ved=0)
- Alonso, P. F. (1980). *Cultivo de Lenteja, Publicaciones de Extensión Agraria*. Ministerio de Agricultura. Ed. Bravo Murillo. Madrid, España. 20 p. : <https://es.scribd.com/document/175930143/hd-1980-10>
- Alvarado, H. E. (2018). *Ensayo de Adaptacion y Rendimineto de Nueve Variedades de Leguminosas de Grano*. Universidad Nacional Pedro Ruíz: [file:///C:/Users/USER/Downloads/BC-TES-TMP-1707%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/BC-TES-TMP-1707%20(1).pdf)
- Alvira, F. C. (05 de 2010). *Espectroscopia de plasmas inducidos por láser (LIBS) aplicada a la caracterización de piezas únicas y productos de interés industrial*. Universidad Nacional de La Plata: [https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2641/Documento\\_completo\\_original.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2641/Documento_completo_original.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Anchivilca, R. G. (2018). *Abonamiento Orgánico y Fertilización NPK en Arveja Verde (Pisum sativum L.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://core.ac.uk/download/162862565.pdf>
- Aykrob, W., & Dugthty, J. (1977). *Las leguminosas en la Nutrición Humana*. Roma, Italia: Informe N°19. 52p.
- Baljinder, S., Sangeeta, S., Ajay, K. M., Duro, K. D., Kuldeep, T., & Sabhyata, B. (10 de 2023). *Delineación de nuevos loci genómicos y genes candidatos putativos asociados con el contenido de hierro y zinc en lentejas (Lens culinaris Medik.)*. Ciencia de las plantas: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945223002042>



- Casseres, E. (2007). *Produccion de Hortalizas*. IICA Biblioteca Venezuela:  
[https://books.google.com.pe/books?id=FBuU\\_aL27mMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=FBuU_aL27mMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Chiape V, L. (1994). *Cultivos Alimenticios Leguminosas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Biblioteca ESAG Virtual:  
[https://pmb.unjbg.edu.pe/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=43320](https://pmb.unjbg.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=43320)
- Cordova, A. N. (20 de 08 de 2025). *Ingenieria de Industrias Alimentarias, Carrera Profesional De Ingeniería*. Universidad Nacional de Jaen:  
[https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/686/4/T\\_Serrano%20Alvarado%20y%20Cordova%20Acaro\\_IIA\\_2024.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/686/4/T_Serrano%20Alvarado%20y%20Cordova%20Acaro_IIA_2024.pdf)
- Daroch, S. E. (2002). *Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba -vicia faba- var. minor Harz beck en la formulación de alimento para salmónidos*. Sistema de Biblioteca de Pontificia Universidad Católica de Valparaíso:  
<http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/76781>
- Devices, M. (2026). *Revista Molecular Devices*. Laboratorio Estadounidense. Sistemas de Medicion Bioanalitica:  
<https://es.moleculardevices.com/technology/absorbance>
- Ericksen, G., Iberico, M., & Petersen, U. (1996). *Geologia del Distrito Minero de Hulgayoc, Departamento de Cajamarca*. Boletin N°16. Preparado por la Comision de colaboracion con el United States Geological Survey.:  
<file:///C:/Users/ASUS%20I5/Downloads/BOLETIN-INIFM-16-1956.pdf>
- Faiguenbaum, H. (1993). *Producción de leguminosas hortícolas y maíz dulce*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile. 216 pp. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Vegetales, Santiago, Chile.
- FAO. (2016). *Organizacion de la Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. Semillas Nutritivas para un Futuro Sostenible*:  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c0125315-854e-40f5-8a25-8c52af036a13/content>
- FAO. (2021). *Agencia Agraria de Noticias*. Agraria.pe:  
<https://agraria.pe/noticias/consumo-de-legumbres-en-peru-alcanza-los-7-5-kilos-por-perso-24851>
- FEN. (2017). *Informe Sobre Legumbres, Nutricion y Salud*. Fundacion Española de Nutricion:  
<https://1library.co/article/te%C3%B3ricas-te%C3%B3rico-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias.y96xx3rl>

- Fernandez, J. M. (24 de 08 de 2022). *Garbanzos: propiedades, valor nutricional y beneficios*. CONASI Blog:  
<https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/garbanzos-propiedades/>
- Flores, F. M. (2010). *Respuesta del cultivo de arveja (Pisum sativum L.) a la aplicación complementaria de tres fertilizantes foliares a tres dosis*. Universidad Politecnica Salesiana Ecuador:  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4588>
- Franco, J. F., & Ramos, M. A. (1996). Consejería de Agricultura y Ganadería España:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=894644>
- García, O., Infante, R., & Rivera, C. (2009). *Las leguminosas, una fuente importante de fibra alimentaria: Una visión en Venezuela*. Universidad Central de Venezuela:  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-04772009000100008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772009000100008)
- GRC. (17 de 06 de 2021). *Ica: Qali Warma incluye el ancestral y nutritivo pallar en su dotación de alimentos para miles de estudiantes*. Gobierno Regional de Cajamarca. Programa Wasi Mikuna:  
<https://www.gob.pe/institucion/wasimikuna/noticias/500829-ica-qali-warma-incluye-el-ancestral-y-nutritivo-pallar-en-su-dotacion-de-alimentos-para-miles-de-estudiantes>
- GRC. (2025). *Gobierno Regional de Cajamarca*. <https://www.regioncajamarca.gob.pe/>
- Hell, R., & Hillebrand, H. (01 de 04 de 2001). *Conceptos de planta para la adquisición y asignación de minerales*. Sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166900001932>
- Hernández, L. V., Vasquez, V. L., Martínez, M. J., Delgado, S., & Pérez, M. (19 de 03 de 2013). *Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Avances y perspectivas*. Revista Fitotecnia Mexicana:  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802013000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000200002)
- Hernández, S. R., & Mendoza, T. C. (2018). *Metodología de Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. Universidad de Celaya. Universidad Tecnológica Laja Bajío:  
[http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales\\_de\\_consulta/drogas\\_de\\_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf)
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación. Sexta Edición*. Universidad de Celaya. Instituto Politécnico Nacional:  
[https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

- Holisstree. (06 de 09 de 2024). *Minerales Ionizados*. Organic Skincare. Compañia Mexicana: <https://holisstree.com/blogs/news/minerales-ionizados-conoce-sus-beneficios?srsltid=AfmBOoofHM2E8b5VeWWkGA2ctaIwqnwhc3q0YVI9gIZYsVGS3dUgiuzu>
- Horque, F. R. (2004). *Cultivo del Haba (Vicia Faba L.)*. Instituto Nacional de Investigacion y Extension: <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/715ee52d-6df5-4fdb-886f-f334bf6a8f99/content>
- Huang, X., Wang, Y., Zhao, J., & Wu, S. (31 de 07 de 2025). *Nuevas técnicas en espectroscopía atómica*. Simple Science: <https://scisimple.com/es/articulos/2025-07-31-nuevas-tecnicas-en-espectroscopia-atmica--a9mx8qp>
- INACAL. (2022). *Cadena productiva de legumbres y sus derivados*. Instituto Nacional de Calidad: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/601509-inacal-aprueba-guia-que-establece-buenas-practicas-en-la-cadena-productiva-de-legumbres-y-sus-derivados>
- INEI. (2009). *Inventario de la Produccion Estadistica*. Plan Estadistico Nacional: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2153562/Plan%20Estad%20C3%ADst%20Nacional%202009.pdf.pdf?v=1630890175>
- INEI. (2014). *Inventario de Produccion Estadistica*. Plan Estadistico Nacional: <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/indicadores-economicos-y-sociales/2014/1/>
- INIA. (1997). *El Cultivo del Pallar*. Instituto Nacional de Investigación Agraria: [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/588/1/Cultivo\\_del\\_pallar.pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/588/1/Cultivo_del_pallar.pdf)
- INIAP. (2013). *Manual agrícola de frejol y otras leguminosas: Cultivos, variedades, costos de producción*. Repositorio Digital INIAP: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2705/>
- Kay, D. (1979). *Legumbres Alimenticias*. Zaragoza, España: Edit. Acribia. S.D. 12p.
- Kenton, W. (18 de 12 de 2025). *¿Qué es el análisis de varianza (ANOVA)?* Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/a/anova.asp>
- Kurniawan, H., Kurniawan, D. A., & Erni, N. (2020). *Beneficios del micromuestreo y la microextracción para los estudios metabólicos*. Applications of LIBS in food analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 127, 115899: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016599362030128X?via%3Dihub>

- Lainez, A. (06 de 05 de 2024). *Descifrando la Composición de los Alimentos con LIBS. Trends in Food Science & Technology*: <https://metodosanaliticosderespuestarapida.blogspot.com/2024/05/descifrando-la-composicion-de-los.html>
- Lombardi. (2015). *Propiedades Nutricionales de la Lenteja (Lens Culinaris)*. Universidad Agraria de Ecuador. Library: <https://1library.co/article/te%C3%B3ricas-te%C3%B3rico-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias.y96xx3rl>
- Maldonado. (2015). *Morfología de la Lenteja (Lens Culinaris)*. Universidad Agraria del Ecuador. Library: <https://1library.co/article/te%C3%B3ricas-te%C3%B3rico-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias.y96xx3rl>
- Maroto, B. J. (1990). *Horticultura General Especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea*. Universidad Politécnica de Valencia: <https://pdfcoffee.com/elementos-de-horticultura-general-j-maroto-pdf-free.html>
- Mauer, V., Smalley, A., & Menon, M. (08 de 2024). *Elementos nutritivos minerales y su bioaccesibilidad en lentejas orgánicas y convencionales (Lens culinaris) descascarilladas vendidas en el Reino Unido*. *Revista de Composición y Análisis de Alimentos*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088915752400406X>
- Mayorga, C. F. (02 de 12 de 2016). *Evaluación de rasgos morfoagronómicos y del contenido nutricional del grano de arveja (Pisum sativum L.), en ambientes de clima frío del departamento de Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/items/fbfda881-e278-4c7b-8259-5b7e0d02bb11>
- MIDAGRI. (2018). *Anuario Estadístico de Producción Agrícola*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/anuarios/agricola/agricola\\_2018.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf)
- MIDAGRI. (06 de 2022). *Valor Bruto de la Producción Agropecuaria*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/mensual/VBP/2022/VBP\\_06\\_2022.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/VBP/2022/VBP_06_2022.pdf)
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry, R. C. (09 de 2019). *Composición próxima y factores antinutricionales de la harina de habas (Vicia faba), guisantes verdes y guisantes amarillos (Pisum sativum)*. *Revista de Composición y Análisis de Alimentos*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157518304988>

- MINAG. (2010). *Memoria Anual*. Ministerio de Agricultura: [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/plan\\_operativo/memoria\\_anual2010.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/plan_operativo/memoria_anual2010.pdf)
- MINAGRI. (2016). *Leguminosas de Grano: Cultivares y Clases Comerciales en Peru*. Ministerio de Agricultura y Riego: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/legumbres/catalogo-leguminosas.pdf>
- Moncayo, M. S. (2017). *Desarrollo y aplicación de métodos quimiométricos para el estudio de muestras mediante Espectroscopia de Ablación Láser (LIBS)*. Universidad Complutense de Madrid: [file:///C:/Users/Lab.%20Alimentos/Downloads/T38776%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Lab.%20Alimentos/Downloads/T38776%20(1).pdf)
- Montorroy, C. (1995). *Proyectos de Cultivos Diversos. Informe Anual*. Huancayo - Peru: Zona Agraria Nro. 10.
- Morales, A. S. (2004). *Facultad de Ciencias Biologicas*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon: <https://es.scribd.com/document/461269507/LEGUMINOSAS-SILVESTRES-USADAS-COMO-ALIMENTOS-Y-BEBIDAS-pdf>
- Morales, S. A., & Lamz, P. A. (01 de 12 de 2020). *Métodos de mejora genética en el cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) frente al Virus del Mosaico Dorado Amarillo del Frijol (BGYMV)*. Cultivos Tropicales: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362020000400010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000400010)
- Muirragui. (2017). *Informacion sobre Lentejas (Lens Culinaris)*. Universidad Agraria del Ecuador. Library: <https://1library.co/article/te%C3%B3ricas-te%C3%B3rico-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias.y96xx3rl>
- Niño, M. V. (2005). *Guía Agronómica cultivo de haba. Recomendaciones técnicas para siembra en la sierra peruana*. Churín, Perú: 1-24p.
- Oghbaei, M., & Prakash, J. (12 de 2020). *Efecto del descascarillado y la cocción sobre la calidad nutricional del garbanzo (Cicer arietinum L.) germinado en agua de remojo fortificada con minerales*. Revista de Composición y Análisis de Alimentos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157520313247>
- Perea, T. F., Castilla, B. A., Basallote, S. E., Canseco, M. E., Delgado, C. M., & Pasadas, G. R. (2015). *Guía del Cultivo de Habas*. Instituto de Investigacion y Formacion Agraria y Pesquera: <file:///C:/Users/USER/Downloads/Guia%20Cultivo%20Habas.pdf>
- Pighín, A., Camilli, E., Chirillano, A., Villanueva, M. E., & De Landeta, C. (04 de 2023). *Contenido mineral en legumbres crudas, hervidas y enlatadas en Argentina*.

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523000133:](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523000133)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523000133>

- Pilatuña. (2016). *Digestibilidad de la proteína de lenteja*. Universidad Agraria de Ecuador:  
<https://1library.co/article/te%C3%B3ricas-te%C3%B3rico-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias.y96xx3rl>
- Pontes, M. J., Cortes, J., Kawakami, R., Pasquini, C., Araujo, c., & Marquez, R. (2010). *Classification of Brazilian soils by using LIBS and variable selection in the wavelet domain*. Analytica Chimica Acta:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267009003493>
- Prada, G., Soto, A., & Herran, O. (2003). *Consumo de leguminosas en el departamento de Santander. Colombia*. Universidad Industrial de Santander:  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222005000100009&lng=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000100009&lng=es)
- Prieto, G. F., Callejas, H. J., & Roman, G. A. (2007). *ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN EL CULTIVO DE HABAS (Vicia faba)*. Universidad de Costa Rica:  
<https://www.redalyc.org/pdf/436/43631215.pdf>
- RAE. (2025). *Real Academia Española*. Significados: <https://dle.rae.es/menestra>
- Rodriguez- Catillo, L., & Fernandez- Rojas, X. (2003). *Los frijoles (Phaseolus Vulgaris): su aporte a la dieta Costarricense*. Acta Medica Costarricense:  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-60022003000300007](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022003000300007)
- Rodriguez- Licea, G., Garcia- Salazar, J. A., Rebollar- Rebollar, S., & Andres, C. C. (2010). *Preferencias del consumidor de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad*. Dialnet:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5961682>
- Rodriguez, G. B. (04 de 2021). *Estudio de Prefactibilidad para la Produccion de Snacks a Base de Garbanzos*. Universidad de Lima:  
[https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/13733/Rodriguez\\_Garcia\\_Blasquez\\_Natalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/13733/Rodriguez_Garcia_Blasquez_Natalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rojas, C. L. (2020). *Componentes de rendimiento de genotipos promisorios de haba (Vicia faba L.) procedentes de Icarda-Siria en condiciones de el Mantaro - Jauja*. Universidad Nacional del Centro del Peru:  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5946>
- Rojas, C. L. (2020). *Componentes de Rendimientos de Genotipos Promisorios de Haba (Vicia Faba L.)*. Universidad Nacional del Centro del Peru:

[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5946/T010\\_4694374\\_5\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5946/T010_4694374_5_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rojas, C. S., & Vibrans, H. (2010). *Phaseolus lunatus L.* Ficha Técnica, Malezas de México: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/phaseolus-lunatus/fichas/ficha.htm>

Romero, B. H. (09 de 09 de 2022). *Espectroscopía LIBS y Raman aplicada a la seguridad alimentaria*. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/26605>

ScienceDirect. (30 de 01 de 2019). *Química de los alimentos. Food Chemistry*. Determinación de alta sensibilidad de cadmio y plomo en arroz mediante espectroscopia de descomposición inducida por láser: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618313761>

Sela, G. (2025). *Los Nutrientes de las Plantas*. Cropaia. Libro fertilizacion y riego. Teoria y Mejores Practicas:

<https://cropaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/#:~:text=Las%20plantas%20de%20la%20familia,que%20una%20deficiencia%20de%20macronutrientes.&text=Tome%20en%20cuenta%20que%20los,de%20agua%20y%20otros%20par%C3%A1metros.>

Sonnante, G. (06 de 05 de 2009). *Desde la cuna de la agricultura un puñado de lentejas: Historia de la domesticación*. Springer Nature: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12210-009-0002-7>

Suasnabar, A. C., Marmolejo, G. D., Torres, S. G., Munive, C. R., Valverde, C. A., & Gamarra, S. G. (2021). *Cultivo de Arveja*. Universidad Nacional del Centro del Perú: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7485/Cultivo%20de%20arveja-Web.pdf>

Tecnicoagricola. (2013). *Estados Fenologicos del Haba Comun*. Centro Federal de Investigaciones Biologicas para Agricultura:

<https://www.tecnicoagricola.es/estados-fenologicos-del-haba-comun/>

TECNILAB. (2025). *Espectroscopia: Avances en análisis molecular*. Laboratorio químico: Tecnología innovadora para investigación eficiente: <https://www.tecnilab.es/laboratorio-quimico-tecnologia-innovadora-para-investigacion-eficiente/>

Tecnylab. (2025). *Espectrometría: Qué es y cómo funciona*. Tecnylab.es: <https://tecnylab.es/tecnylab/espectrometria-que-es-mecanismo-tipos-y-usos/>

Tello, C. A. (2024). *Efecto en el Rendimiento de Arveja (Pisum sativum L.), de tres Cereales de Grano Pequeño usados como tutores en Cajamarca*. Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca:

[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6916/TESIS ANA%20MARIA%20TELLO%20CUEVA%20%281%29.pdf?sequence=1](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6916/TESIS_ANA%20MARIA%20TELLO%20CUEVA%20%281%29.pdf?sequence=1)

- Tenorio, M. E. (2018). *Guia Tecnica de Produccion de Frijol en la Sierra del Peru*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga: <https://es.scribd.com/document/665241325/Guia-Tecnica-de-Frijol-2018>
- Titilope, S. K., Faramade, O. O., Tolulope, O. M., & Babatunde, O. I. (2015). *Composición de aminoácidos, contenido mineral y solubilidad proteica de algunas semillas de haba (Phaseolus lunatus l. Walp)*. Investigación Alimentaria Internacional: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996915001398>
- Trevizan, L., Santos, D., Samad, R., Dias, N., & Cassiana, N. (10 de 2008). *Evaluation of laser induced breakdown spectroscopy for the determination of macronutrients in plant materials*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0584854708002450>
- UCN. (2025). *Minerales en la dieta*. Clinica Universidad de Navarra. Madrid: <https://www.cun.es/chequeos-salud/vida-sana/nutricion/minerales>
- Ugas, R., Siura, S., Delgado, F., Casas, A., & Toledo, J. (2000). *Datos Basicos de Hortalizas*. Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://es.scribd.com/document/317944869/datos-basicos-de-hortalizas>
- UNC. (2025). *Universidad Nacional de Cajamarca*. Mapa Actualizado: <https://www.unc.edu.pe/wp-content/uploads/2021/09/MAPA-CEPUNC-2021.pdf>
- Valderrama, M. (2008). *Rendimiento agronómico de haba verde (Vicia faba) por efecto de abonamiento potásico y aplicación foliar de calcibor en condiciones edafoclimáticas de Sabandía*. Arequipa: Agronomía – UNSA. 77p.
- Vilcapoma, G. (1991). *Manual de Botánica Sistemática*. Lima, Peru: 22p.
- Villanueva, E., & Aroldo, D. (2010). *Universidad de San Carlos Guatemala*. Evaluacion de seis variedades de frijol: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7138/>
- Wood, J., & Grusak, M. (2007). *Nutritional value of chickpea*. Scientific Research: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1043838>
- Xiao, T., Pontoppidan, W. M., Yilmaz, G. K., Sirinayake, L. G., Loft, E. K., Kankaanpää, S., . . . Aagaard, P. N. (09 de 2025). *Efectos de cultivares y fracción seca sobre compuestos nutricionales y fitoquímicos de habas (Vicia faba L.)*. Revista de Composición y Análisis de Alimentos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157525012566>
- Youssef, M. M., Abd, E.-A. M., Shekib, L. A., & Ziena, H. (1987). *Efectos del descascarillado, remojo y germinación sobre la composición química, los elementos*

*minerales y los patrones proteicos de las habas (Vicia faba L.).* Química de los alimentos:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814687900069>

Zahit, Y. M. (12 de 2023). *Investigación del genotipo x interacciones ambientales para la composición mineral de la semilla en Phaseolus vulgaris L.* Revista de Composición y Análisis de Alimentos:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523005318>

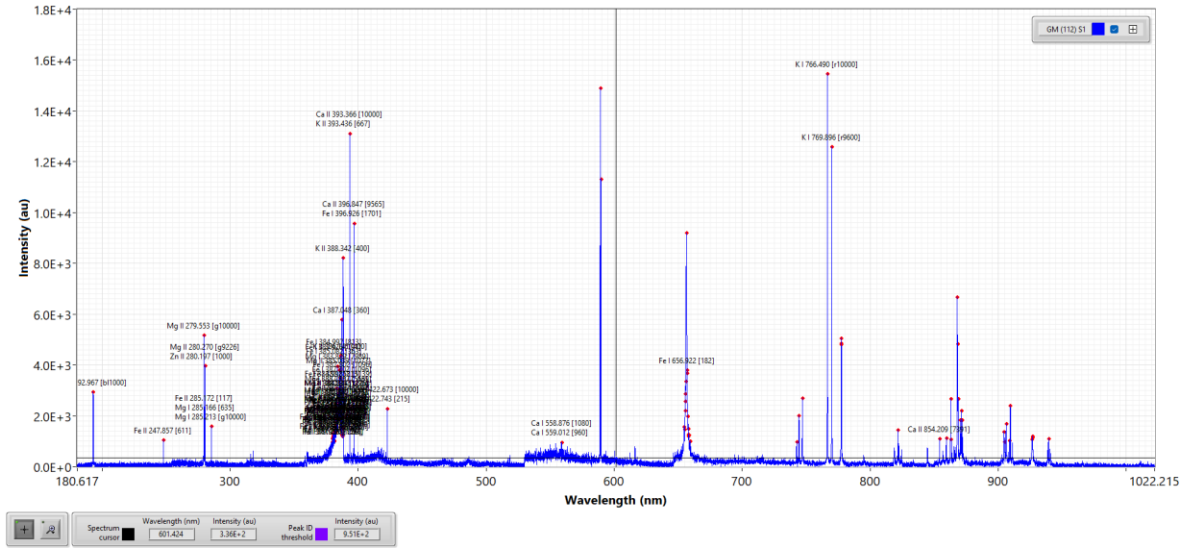
Zuñiga, H. A. (2021). *MONITOREO DE LOS EFECTOS DE LAS PLAGAS EN CULTIVO ASOCIADO DE HABA (Vicia faba L.) Y ARVEJA (Pisum sativum L.) EN LA PROVINCIA DE ACOBAMBA* . UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA:

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7f1b950b-ff9e-4ca5-8180-29db87e0b80b/content>

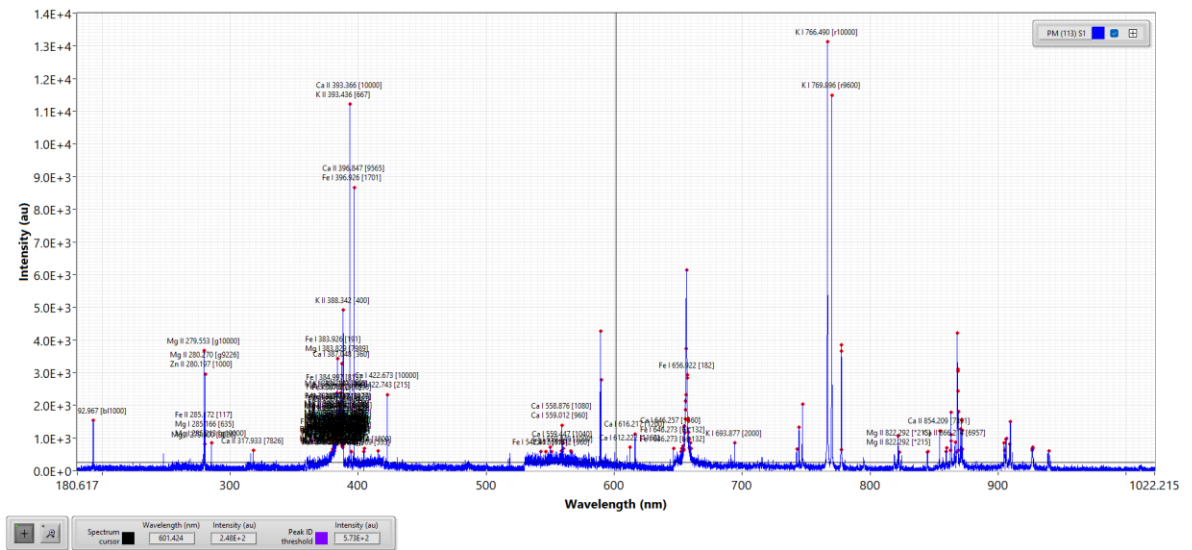




**Anexo 5: Espectro Promedio de Garbanzo Variedad Mediano**



**Anexo 6: Espectro Promedio de Pallar Variedad Mediano**



## Evaluación, Cuantificación y Comparación de Composición Mineral en Muestras de Menstras del Departamento de Cajamarca.

### *Anexo 7: Detalle del Proceso de Preparación de Muestras para utilizar Técnica LIBS.*





