



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL PERFIL BROMATOLÓGICO,  
PROTEICO Y BIOACTIVO DE VARIEDADES CRIOLLAS Y  
MEJORADAS DE FRIJOL.**

**Para obtener el grado de  
Maestra en Ciencia de los Alimentos**

**P R E S E N T A**

I.A. Janet Gómez Aguilar

**Directora**

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

**Co-Director:**

Dr. Emmanuel Pérez Escalante

**Comité tutorial**

Dr. Cesar Uriel López Palestina  
Dr. José Manuel Pinedo Espinoza  
Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, Octubre 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos**

*Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering*

Asunto: Autorización de impresión de tesis

El Comité Tutorial de la **Tesis** titulada **"Evaluación del perfil bromatológico, proteico y bioactivo de variedades criollas y mejoradas de frijol"**, realizada por la sustentante **Janet Gómez Aguilar** con **número de cuenta 338547** perteneciente al programa de **Maestría en Ciencia de los Alimentos**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional, y de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

### AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos establecidos en el Reglamento de Estudios de Posgrado para la defensa oral en el examen de grado correspondiente.

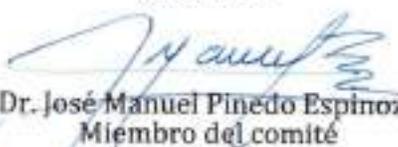
**Atentamente**  
**"Amor, Orden y Progreso"**  
**Tulancingo de Bravo, Hidalgo, a 2 de Octubre de 2025**  
El Comité Tutorial



  
Dra. Alma Delia Hernández Fuentes  
Directora

  
Dr. Emmanuel Pérez Escalante  
Codirector

  
Dr. Cesar Uriel López Palestina  
Miembro del comité

  
Dr. José Manuel Pinedo Espinoza  
Miembro del comité

  
Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz  
Miembro del comité

"Amor, Orden y Progreso"



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,  
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,  
México, C.P. 43775

Teléfono 7717172000 Ext.42021

[maestria\\_alimentos@uah.edu.mx](mailto:maestria_alimentos@uah.edu.mx)

[uah.edu.mx](http://uah.edu.mx)

## ***AGRADECIMIENTOS***

A mi directora de tesis, Dra. Alma Delia Hernández Fuentes, por su invaluable apoyo, por haberme recibido en este gran equipo de trabajo del cual hoy me enorgullece decir que formo parte, por su guía constante, paciencia y, sobre todo, por sus consejos que fueron fundamentales no solo para la culminación de este trabajo, sino también para mi formación. Su acompañamiento me ayudó a crecer tanto en lo académico como en lo personal, impulsándome a superar mis propios límites y a tener mayor confianza en mis capacidades. Gracias a sus enseñanzas, adquiriré herramientas que van más allá de esta investigación y que marcarán mi vida profesional y personal.

Agradezco de manera especial a mi co-director, el Dr. Emmanuel Pérez Escalante, por ser un pilar fundamental en la realización de esta investigación. Su apoyo constante, el tiempo que me dedicó y la paciencia con la que me acompañó en cada etapa fueron determinantes para culminar este trabajo. Su compromiso con la investigación y, sobre todo, su calidad humana, han sido un ejemplo que me inspira a continuar en este camino de investigación con responsabilidad y entusiasmo. Su orientación y confianza no solo fortalecieron mi formación académica, sino que también contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento personal, enseñándome a enfrentar los retos con perseverancia y a confiar en mis capacidades. A él debo gran parte de este logro, por lo que le expreso mi más profundo agradecimiento y aprecio.

Al Dr. César Uriel López Palestina, por compartir generosamente su conocimiento y experiencia, así como el tiempo que dedicó para enriquecer este proyecto con sus valiosas aportaciones y sugerencias. Su orientación fue clave para dar solidez a este trabajo, y sus

consejos, paciencia y tolerancia a lo largo de este camino representaron un apoyo fundamental.

Al Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz, por el tiempo que me brindó y por los comentarios y observaciones que aportó a lo largo de este proceso, los cuales contribuyeron de manera significativa al desarrollo y fortalecimiento de este proyecto.

A mis compañeros de laboratorio, Mariana, Lupita, Ricardo, Fer y Cesarin, este camino no habría sido posible sin su acompañamiento. Gracias por el apoyo en las técnicas, por las risas y por hacer que este tiempo fuera inolvidable. Su amistad no solo contribuyó en el éxito de este proyecto, sino también en mi experiencia personal, ya que han sido un gran pilar en mi vida.

En especial a Mariana, con quien compartí innumerables momentos dentro y fuera del laboratorio. Tu compañía constante fue fundamental en este proceso. Más allá de ser una gran compañera, encontré en ella una amiga incondicional, con la que aprendí, reí y enfrenté los retos de este camino, lo que hizo que esta etapa se volviera aún más valiosa y significativa.

Por último, quiero agradecer a Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada, por otra parte, a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y el Instituto de Ciencias Agropecuarias por proporcionar las instalación e infraestructura para llevar a cabo esta investigación.

## *DEDICATORIAS*

A dios, a la virgen de Guadalupe, a san judas Tadeo por brindarme la hermosa familia que me ha apoyado incondicionalmente, esta investigación me ha dejado no solo un gran aprendizaje también grandes amigos al concluir esta maravillosa etapa quiero agradecer profundamente a quienes me brindaron su apoyo incondicional en cada paso del camino.

Con gran emoción y gratitud dedico estas palabras a quienes han sido parte fundamental de mi formación y de mi vida.

A mi mamá, por ser mi guía, mi luz y mi inspiración en cada paso de mi camino. No existen palabras que puedan describir todo el amor y gratitud que siento por ti. Gracias por estar siempre a mi lado, por tus desvelos, tus preocupaciones, y por tu apoyo incondicional en cada momento de mi vida. Gracias por estudiar conmigo para cada examen, por acompañarme en los desvelos y por animarme a seguir adelante cuando yo misma dudaba. Tu confianza en mí, tu paciencia y tus consejos han sido un refugio constante que me ha permitido crecer y superar los retos más difíciles. Gracias por enseñarme, con tu ejemplo, a enfrentar la vida con valentía, dedicación y amor. Por cada abrazo, cada palabra de aliento y cada sacrificio silencioso que hiciste para que yo pudiera avanzar, te estaré eternamente agradecida. Todo lo que soy y todo lo que he logrado se lo debo a ti, a tu amor incondicional y a la fuerza que me transmites día a día.

A mi papá, gracias por ser mi inspiración día a día, por tu apoyo constante, tu confianza y tu tolerancia a lo largo de este gran camino. Gracias por creer en mí en todo momento, incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades, y por motivarme siempre a alcanzar mis metas. Cada vez que sentía que no podía seguir, en mi mente resonaban tus palabras: “ella es

mi hija, es ingeniera, tiene maestría, estoy orgulloso”, y eso me daba fuerzas para levantarme y seguir adelante, diciéndome a mí misma que no podía fallarte. Gracias, papá, por el amor incondicional que me das todos los días, por tu paciencia, tus consejos y por ser siempre un ejemplo de perseverancia y honestidad. Tu orgullo y tu confianza han sido el motor que me impulsa a dar lo mejor de mí. Es un privilegio enorme ser tu hija, y todo lo que he logrado y todo lo que aún espero alcanzar, lleva siempre tu ejemplo y tu amor como guía fundamental en mi vida.

A la pieza fundamental de mi vida, mi hermano Giovanni, no hay palabras suficientes para agradecerte por la enorme conexión que compartimos. Aunque a veces no lo notes, has sido y sigues siendo mi gran inspiración día a día. Gracias por ser un ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia, por guiarme en cada paso de mi vida y enseñarme a creer en mí misma cuando más lo necesitaba. Gracias por tus consejos, tu apoyo incondicional y por estar siempre ahí, incluso en los momentos difíciles. Sobre todo, gracias por ser el mejor hermano que podría desear; tu presencia hace que mis logros sean más valiosos y que cada desafío sea más llevadero. Te llevo en mi corazón y siempre serás una parte esencial de mi camino y de mi vida.

De igual manera, le dedico este logro a mi sobrina Miranda, por ser una fuente constante de alegría y luz en mi vida. Gracias por recordarme, con tu sonrisa y tu inocencia, la importancia de disfrutar cada momento, de valorar las pequeñas cosas y de mantener siempre la ilusión y la esperanza. Tu presencia me inspira a seguir adelante y a celebrar cada logro con gratitud y felicidad

*Unas palabras no son suficientes para expresar todo mi agradecimiento a cada persona fundamental, pero espero al menos refleje una pequeña parte de lo que han aportado en mi vida*

## INDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES Y MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>10</b>
<i>2.1 Frijol: Producción y beneficios por parte de su consumo .....</i>	<i>10</i>
<i>2.2 Morfología del frijol .....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.1 Morfología vegetal de la planta y grano del frijol.....</i>	<i>12</i>
<i>2.3 Frijol un alimento Funcional.....</i>	<i>14</i>
<i>2.4 Variedades de frijol.....</i>	<i>15</i>
<i>2.5 Obtención de variedades mejoradas a partir de tecnología de hibridación .....</i>	<i>18</i>
<i>2.6 Identificación de porcentaje Genético de Nuevas Variedades .....</i>	<i>21</i>
<i>2.7 Importancia de Antioxidantes .....</i>	<i>21</i>
<i>2.7.1 Actividad Antioxidante en frijol .....</i>	<i>22</i>
<i>2.8 Hipertensión como una problemática mundial: Incorporación del frijol para su control ..</i>	<i>23</i>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Objetivo General .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Sitio experimental, material vegetal y tratamientos. ....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Establecimiento del experimento .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 Diseño de Tratamientos.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Preparación de la muestra. ....</b>	<b>27</b>
<b>4.5 Variables de estudio .....</b>	<b>28</b>
<b>4.5.1 Análisis Proximal.....</b>	<b>28</b>
<i>4.5.1.1 Determinación de Humedad.....</i>	<i>28</i>

4.5.1.2	Determinación de contenido de cenizas.....	28
4.5.1.3	Determinación de proteína total.....	29
4.5.1.4	Determinación de extracto etéreo.....	31
4.5.1.5	Determinación de contenido de fibra .....	32
<b>4.5.2</b>	<b>Compuestos Bioactivos.....</b>	<b>33</b>
4.5.2.1	Fenoles totales.....	33
4.5.2.2	Flavonoides .....	33
4.5.2.3	Ácido ascórbico .....	34
<b>4.5.3</b>	<b>Determinación de Actividad Antioxidante <i>in vitro</i> .....</b>	<b>34</b>
4.5.3.1	ABTS <sup>+</sup> .....	34
4.5.3.2	DPPH <sup>•</sup> .....	35
4.5.3.3	FRAP.....	35
<b>4.5.4</b>	<b>Determinación de Actividad Antioxidante enzimática .....</b>	<b>36</b>
4.5.4.1	Super Oxido Dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1).....	36
4.5.4.2	Catalasa (CAT, EC 1.11.1.6).....	36
4.5.4.3	Ascorbato peroxidasa (APX, EC 1.11.1.11) .....	37
4.5.4.4	Guayacol Peroxidasa (POD, EC 1.11.1.7).....	37
4.5.4.5	Actividad de la polifenoloxidasas (PPO; E.C. 1.14.18.1 y E.C. 1.10.3.1).....	38
4.5.4.6	Peróxido de hidrógeno .....	38
4.5.4.7	Peroxidación lipídica .....	38
<b>4.5.5</b>	<b>Determinación de proteína soluble.....</b>	<b>39</b>
4.5.5.1	Método por reactivo Bradford.....	39
4.5.5.2	Método por reactivo Biuret .....	40
<b>4.5.6</b>	<b>Determinación del perfil proteico.....</b>	<b>40</b>
4.5.6.1	Electroforesis por Gel de poliacrilamida de Tris-Glicina-SDS-PAGE .....	40
4.5.7	Aminos libres (TNBS).....	41

4.5.8 Determinación de actividad antihipertensiva .....	42
5. Análisis Estadístico .....	43
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
5.1 Análisis proximal en grano de frijol. ....	43
5.2 Compuestos Bioactivos .....	45
5.2.1 Fenoles .....	45
5.2.2 Flavonoides .....	47
5.3 Actividad antioxidante in vitro .....	51
5.3.1 ABTS <sup>+</sup> .....	51
5.3.2 DPPH · .....	53
5.3.3 FRAP .....	55
6. Actividad antioxidante enzimática .....	57
6.1.1 Súper Oxido Dismutasa (SOD) .....	57
6.1.3 Enzima antioxidante ascorbato peroxidasa (APX) .....	61
6.1.4 Enzima antioxidante guayacol peroxidasa (POD) .....	63
6.1.5 Actividad de la polifenol-oxidasa (PPO) .....	65
6.1.6 Peróxido de hidrógeno .....	67
6.1.7 Peroxidación lipídica .....	69
6.1.8 Solubilidad Proteína en grano de frijol por método Bradford .....	71
6.2.1 Perfil electroforético en grano de frijol. ....	78
6.2.2 Actividad Antihipertensiva .....	80
7. CONCLUSIONES .....	82
8. REFERENCIAS .....	84
9. ANEXOS .....	103

		Página
Figura 1	Morfología del fruto de frijol. B. Partes externas de la semilla de frijol. C. Partes internas de la semilla de frijol.....	14
Figura 2	Variedades de frijol. A. Frijol variedad 'Comapa'. B. Frijol Variedad 'Flor de Mayo Eugenia'. C. Frijol variedad 'Flor de Junio Dalia'. D. Frijol variedad 'San Blas Nayarit'. E. Frijol variedad 'Huitel 143'.....	17
Figura 3	Figura 3. Funcionamiento a nivel biológico de la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA). .....	23
Figura 4	Mapa de Tula de Allende, Hidalgo.....	24
Figura 5	Contenido de fenoles totales de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05). .	40
Figura 6	Contenido de flavonoides de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05)...	42
Figura 7	Contenido de ácido ascórbico de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en mg por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05). .....	43
Figura 8	Actividad antioxidante por el método ABTS•+ de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en $\mu$ M equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05). .....	45
Figura 9	Actividad antioxidante por el método DPPH • de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en $\mu$ M equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05). .....	46
Figura 10	Actividad antioxidante por el método FRAP de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en mg equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05) .....	48
Figura 11	Actividad de la enzima SOD de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en unidades enzimáticas de SOD por mg de proteína. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (P < 0.05) .....	50
Figura 12	Actividad de la enzima CAT de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar (n=3) en	52

	unidades enzimáticas de CAT por mg de proteína. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ). .....	
Figura 13	Actividad de la enzima ascorbato peroxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ) .....	54
Figura 14	Actividad de la enzima Guayacol Peroxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ). .....	55
Figura 15	Actividad de la enzima polifenol-oxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ). .....	57
Figura 16	Actividad de peróxido de hidrógeno de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).....	59
Figura 17	Peroxidación lipídica encontrada en cada una de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ). .....	61
Figura 18	Porcentaje de proteína soluble determinada por el método Bradford de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ). .....	63
Figura 19	Contenido de proteína por método de Biuret en variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ) .....	64
Figura 20	Contenido de grupos amino libres en variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).....	66
Figura 21	Perfil electroforético de variedades de frijol mejoradas: A) 'Huitel 143', B) 'Primavera 28' y criollas, C) 'Comapa', D) 'Flor de Junio', E) 'Nayarit', F) 'Flor de Mayo' .....	68
Figura 22	Porcentaje de proteínas de frijol de variedades mejoradas: 1) 'Huitel 143', 2) 'Primavera 28' y criollas, 3) 'Comapa', 4) 'Flor de junio', 5) 'Nayarit', 6) 'Flor de mayo' .....	68
Figura 23	Porcentaje de inhibición de la ECA de las variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio $\pm$ la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).....	70

## RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es el segundo alimento más importante en México, con un alto valor nutricional y funcional. Ante los desafíos de producción por factores climáticos y la creciente prevalencia de enfermedades crónicas como la hipertensión, el desarrollo y evaluación de nuevas variedades adquieren relevancia. En este estudio se compararon dos variedades de frijol mejoradas ('Primavera 28' y 'Huitel 143') y cuatro criollas ('Comapa', 'Flor de Junio', 'Flor de Mayo' y 'Nayarit'), con el objetivo de analizar su composición proximal, contenido de proteína, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y actividad antihipertensiva. Las variedades mejoradas destacaron por su mayor contenido proteico, mayor liberación de grupos amino libres y elevada actividad antihipertensiva ('Primavera 28' 89.84 % y 'Huitel 143' 83.83 %), mientras que las variedades criollas, particularmente 'Flor de Junio' y 'Flor de Mayo', presentaron mayores concentraciones de fenoles, flavonoides, ácido ascórbico y capacidad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP). En la actividad antioxidante enzimática, la variedad 'Huitel 143' presentó mayor actividad de SOD, y 'Flor de Mayo' sobresalió en catalasa, ascorbato peroxidasa y guayacol peroxidasa. El frijol 'Comapa' mostró la mayor concentración de peróxido de hidrógeno y peroxidación lipídica. Así también, la variedad 'Comapa' y 'Flor de Junio' presentaron mayor solubilidad proteica (Bradford), mientras que el frijol 'Primavera 28' destacó en contenido proteico total (Biuret) y en grupos amino libres. El análisis electroforético reveló mayor presencia de prolaminas en todas las variedades, y diferencias menores en globulinas y glutelinas según el genotipo. En conjunto, se concluye que las variedades mejoradas poseen un mayor potencial funcional por su contenido proteico y efecto antihipertensivo, mientras que las criollas destacan por su

perfil antioxidante, siendo ambas fuentes valiosas para el desarrollo de alimentos funcionales.

## **ABSTRACT**

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are the second most important food crop in Mexico, with high nutritional and functional value. Given production challenges caused by climatic factors and the increasing prevalence of chronic diseases such as hypertension, the development and evaluation of new varieties is becoming increasingly important. This study compared two improved bean varieties (Primavera 28 and Huitel 143) and four native varieties (Comapa, Flor de Junio, Flor de Mayo, and Nayarit) to analyze their proximate composition, protein content, bioactive compounds, antioxidant capacity, and antihypertensive activity. The improved varieties stood out for their higher protein content, greater release of free amino groups and elevated antihypertensive activity ('Primavera 28' 89.84% and 'Huitel 143' 83.83%), while the native varieties, particularly 'Flor de Junio' and 'Flor de Mayo', presented higher concentrations of phenols, flavonoids, ascorbic acid and antioxidant capacity (ABTS, DPPH and FRAP). In enzymatic antioxidant activity, the variety 'Huitel 143' presented greater SOD activity, and 'Flor de Mayo' excelled in catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase. The 'Comapa' bean showed the highest concentrations of hydrogen peroxide and lipid peroxidation. Likewise, the 'Comapa' and 'Flor de Junio' varieties showed greater protein solubility (Bradford), while the 'Primavera 28' bean stood out in total protein content (Biuret) and free amino groups. Electrophoretic analysis revealed a higher presence of prolamines in all varieties, and smaller differences in globulins and glutelins according to genotype. Overall, it is concluded that the improved varieties have greater functional potential due to their protein content and antihypertensive effect, while the native varieties

stand out for their antioxidant profile, both being valuable sources for the development of functional foods.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El frijol es la segunda semilla más importante para el ser humano, especialmente para la población mexicana, solo por detrás del maíz. El consumo per cápita del frijol es de 9.9 kg, cultivándose en 32 estados de la república mexicana, donde destaca el estado de Zacatecas al ser el principal productor (De los Santos Ramos et al., 2017).

La producción anual en México es de 1.63 millones de toneladas al año, lo que lo convierte en el tercer productor mundial (Morales-Morales et al., 2019; SAGARPA, 2024) por detrás de Estados Unidos y Canadá. A nivel mundial los principales países que producen frijol son Estados Unidos con 89.24%, Canadá 13.47%, México el 5.5% y China 2.05% (SAGARPA, 2024). A pesar de que el frijol es originario de América, su mayor producción se da en países no pertenecientes a este continente como India o China. No obstante, países americanos como Brasil, México y Estados Unidos de América también destacan a nivel productivo (SIAP, 2020).

El frijol es la tercera leguminosa mayor consumida a nivel mundial seguida de la soya y el maní, por lo que su producción ha mostrado un aumento exponencial debido a que en el periodo 2016-2018 tuvo un crecimiento del 16.93%, mientras que en el periodo 2016-2024 se ha registrado un aumento de 43.44% y se espera un aumento del 118.53% para el año 2030 (Ramírez-Jaspeado et al., 2020; SAGARPA, 2024).

En México, existen actualmente al menos 70 especies de frijol, las cuales pueden clasificarse en negros, pintos, bayos, amarillos y rosados, teniendo al frijol común (*Phaseolus vulgaris*

L.), al frijol ayocote (*Phaseolus coccineus L.*) y al frijol comba (*Phaseolus lunatus L.*) como algunos de los representantes más importantes, sin embargo, existen otras clases con distinta forma, tamaño y color que han cobrado gran relevancia en los últimos años.

La producción de este alimento se realiza mediante siembras por temporal, donde la sequía o humedad residual puede afectar su desarrollo, provocando pérdidas parciales o totales (López Guerra C. & Bressani R., 2008). Ante la problemática anterior, se han generado nuevas variedades de frijol, las cuales son capaces de adaptarse a cualquier clima, son resistentes a diferentes tipos de enfermedades agrícolas como roya u hongos como *Trichoderma harzianum*, entre otros, aumentando su nivel de producción.

El frijol es un alimento básico en la dieta debido a que es una excelente fuente de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas (niacina, tiamina y ácido fólico), además de minerales como hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Adicionalmente, mantiene un alto contenido de antioxidantes, por lo que es reconocido como un alimento funcional ya que su presencia en la dieta mejora diversas funciones en el organismo y reduce el riesgo de enfermedades (Martínez O. et al, 2006; Santangelo et al., 2007). Se ha reportado que, las nuevas variedades de frijol tienden a tener un aumento de proteínas y actividad enzimática (Acosta-Gallegos et al., 2014), además de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales otorgan actividad antioxidante, disminuyendo las enfermedades crónicas a partir de la inhibición de mecanismos oxidativos de degeneración celular (Luna-Vital et al., 2015).

En el mismo contexto, el contenido proteico es otro de los macronutrientes del frijol que cobra relevancia por su aporte benéfico a la salud. El frijol está compuesto por albúminas, globulinas, glutelinas y prolinas, las cuales tienen diversas actividades biológicas, donde destaca la actividad antihipertensiva. Esta bioactividad se ha observado principalmente en

proteínas de origen animal como carne de pescado, huevo y leche, pero que son consideradas fuentes de alto costo. No obstante, existen otras fuentes económicas como lo son las leguminosas y cereales que en algunos casos se ha demostrado que tienen mayor poder antihipertensivo que las obtenidas a partir de la leche y derivados lácteos (Megías et al., 2009; Yust et al., 2003).

La hipertensión arterial es considerada una de las enfermedades con mayor impacto en el mundo y es tratada con medicamentos sintéticos, los cuales casi siempre causan efectos secundarios (Gigliola-Ormachea et al., 2023). Un tratamiento alternativo o coadyuvante para la hipertensión es la inclusión de alimentos funcionales o nutraceuticos para el control de algún mecanismo involucrado en la regulación de la presión arterial (H & Rishi, 2008).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios en el perfil bromatológico, proteico y bioactivo en granos de frijol criollo 'Comapa', 'Flor de Junio', Flor de Mayo', 'San Blas Nayarit' y las variedades mejoradas 'Primavera 28 y 'Huitel 143' con la finalidad de determinar si las variedades modificadas podrían generar mejores efectos positivos hacia la salud, además de ofrecer ventajas en la parte productiva.

## **2. ANTECEDENTES Y MARCO REFERENCIAL**

### ***2.1 Frijol: Producción y beneficios por parte de su consumo***

La principal variedad de frijol producida y consumida en México es la criolla, por lo que las variedades mejoradas han sido poco comercializadas. El frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los más consumidos, especialmente en el sureste de México, mientras que el llamado negro 'Comapa' que muestra un mayor rendimiento, es principalmente producido en

los estados de Chiapas, Nayarit, Oaxaca y Veracruz (López Salinas et al., 2012; Sangerman-Jarquín et al., 2010).

La producción de frijol en la República Mexicana para el año 2024 fue de 1,63 millones de toneladas, lo que representó un aumento de 43,44 % con respecto al año anterior. En México, se cosecha 5.5% de toda la leguminosa a nivel mundial, siendo el tercer país productor mundial de frijol por detrás de Estados Unidos que produce el 89.24 % del frijol consumido en el mundo y de Canadá con un 13.47% (SAGARPA, 2024), mientras que al interior de la república mexicana el mayor productor de frijol es Zacatecas (SIAP, 2020). Es importante destacar que el consumo de frijol ha crecido exponencialmente en los últimos años, ya que ha presentado un crecimiento del 16.93 % entre los años 2016 y 2018, además de un crecimiento equivalente al 43.44% entre los años 2016-2024, por lo que se espera un aumento de alrededor del 118.53% para 2030 (Ramírez-Jaspeado et al., 2020; SAGARPA, 2024).

La planta del frijol es curva de aproximadamente 10 a 12 cm de largo, color verde morada o negra, sus semillas son circulares u ovaladas de color café o negro. Dependiendo de la variedad de frijol sembrada, su temperatura apropiada es de 10 a 27°C, se desarrolla preferentemente en suelos ligeros con pH de 6 a 7 debido a que tiene los suficientes nutrientes y microorganismos para el buen desarrollo de la planta.

Así mismo, al ser una planta resistente, el frijol también puede crecer en condiciones de pH de 4.5 a 5.5. La siembra comúnmente se hace a mano con una profundidad de no más de 10 cm y distancia máxima de 0.1 m en filas de 85 cm de largo (Ruiz-Sánchez et al., 2023; SADER, 2017). Para que la planta pueda crecer, necesita de un suministro de agua que oscila entre 1.8 a 4 litros/kg dependiendo el clima, variedad de frijol, tipo de riego y zona de cultivo (Mekonnen & Hoekstra, 2010), la cual es absorbida a partir de la germinación del grano, ya

que la testa es la responsable de realizarlo (López Salinas et al., 2012). La semilla contiene al menos 8 % de testa, que además es rica en compuestos fenólicos (Shiga et al., 2009).

Como se ha destacado previamente, el frijol contiene grandes cantidades de carbohidratos, principalmente como almidón, además de fibra, minerales, vitaminas y proteínas. Estas últimas, representan un 35-36% del contenido total de macronutrientes presentes en el frijol, lo cual es altamente destacable, ya que la fracción proteica de diferentes alimentos ha mostrado diferentes beneficios a la salud humana, manteniendo efectos positivos sobre enfermedades no transmisibles como obesidad, diabetes, cáncer y padecimientos cardiovasculares (Hayat et al., 2014).

Además, las leguminosas establecen una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, lo cual no solo beneficia al cultivo, sino que tiene un impacto ambiental significativo, ya que contribuyen con aproximadamente una cuarta parte del nitrógeno fijado de forma natural cada año (Flores, 2015). Este proceso enriquece el suelo de manera sostenible, reduce la necesidad de fertilizantes químicos y, al fomentar prácticas agrícolas más limpias, favorece la producción de alimentos más saludables y seguros para el consumo humano.

## ***2.2 Morfología del frijol***

### ***2.2.1 Morfología vegetal de la planta y grano del frijol***

El fruto del frijol se encuentra dentro de una vaina con dos valvas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** A), las cuales sirven de protección para las semillas ante condiciones ambientales y enfermedades. La vaina está formada por el pedicelo, el cual transporta nutrientes, agua y azúcares desde el tallo hasta la vaina y a las semillas. Así también, la vaina contiene al ápice, encargado de que la planta alcance la luz solar y pueda desarrollarse, además presenta una sutura placental y ventral, que ayudan a la vaina a abrirse

en el momento adecuado, evitando que caigan las semillas antes de su madurez (Debouck, 1984).

En el caso de la semilla, esta se encuentra compuesta por una parte externa conformada por la testa o cubierta, la cual protege a la semilla de daños físicos, plagas y enfermedades, así también, regula el suministro de agua para que la germinación se lleve a cabo en el momento adecuado. Por otro lado, se tiene el hilum o cicatriz, cuya función es actuar como conexión de nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta. Dentro de la misma zona, se tiene al micropilo, el cual es una pequeña abertura en la cubierta de la semilla donde entra el polen durante la fertilización. Por último, se tiene al rafe, el cual conduce los nutrientes conectando al hilum con el micropilo (Figura 1 B). En la parte interior, la semilla solo contiene al embrión (formado por hojas, hipocótilo, cotiledones y radícula), encargados de desarrollar una nueva planta (Figura 1 C) (Debouck, 1984).

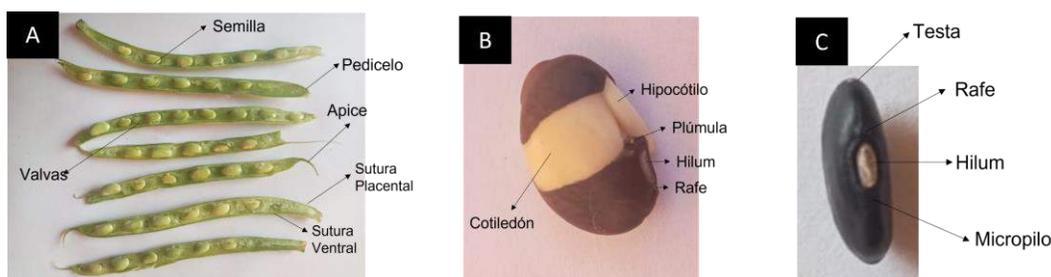


Figura 1. A. Morfología del fruto de frijol. B. Partes externas de la semilla de frijol. C. Partes internas de la semilla de frijol.

Por otro lado, el frijol es una leguminosa con un amplio consumo debido a que tiene un excelente contenido nutrimental de acuerdo a lo reportado por Galindo et al. (2023), muestra una concentración de proteína de entre 20% y 26.4%, la cual se divide en albuminas (solubles en agua) cuyo peso molecular oscila entre 10 y 50 kDa (Ajibola et al., 2016; Mundi & Aluko, 2012), globulinas (solubles en sal) con peso molecular de 150 a 250 kDa (Zhou et al., 2024),

glutelinas (solubles en medios alcalinos) que presentan un peso molecular de 50 a 150 kDa (Espino-Sevilla et al., 2017; Jannasch et al., 2024) y prolaminas (solubles en etanol o isopropanol) con un peso molecular de 10 kDa o menor (Raya Pérez Juan Carlos et al., 2014; Yang et al., 2020). Este tipo de proteínas se encuentran presentes en el frijol en rangos de concentración que oscilan de 14.8-20.8%, 33-45%, 12.8-41.2% y <1%, respectivamente, en relación con la concentración de proteína total (Amagliani et al., 2017; Perazzini et al., 2008).

Además, el frijol presenta 1.6% de lípidos, entre ellos se encuentra un alto contenido de fosfolípidos, los cuales tienen un efecto hipolipemiante, además de tener un porcentaje menor de ácido graso linoleico, el cual ha demostrado tener un efecto antiinflamatorio y cardioprotector. Así también, el frijol contiene 1.1% de cenizas y 70% de carbohidratos, donde estos últimos pueden subdividirse en glicémicos (almidón, di y oligosacáridos) y no glicémicos (almidón resistente, polisacáridos de la fibra dietética y oligosacáridos no digeribles); los primeros proporcionan un bajo índice glucémico, mientras que los segundos han demostrado tener una actividad prebiótica, además de ser eficaces en la reducción del colesterol y modulación glucémica (Serrano & Goñi, 2004). Por otra parte, el frijol contiene polifenoles y carotenoides, los cuales proporcionan su color característico, así como fibra que proporciona su dureza, característica dependiente de cada variedad de frijol (Dahiya et al., 2015).

### ***2.3 Frijol un alimento Funcional***

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen de manera natural componentes bioactivos como compuestos fenólicos, fibra o probióticos, que otorgan beneficios a la salud de los consumidores aunado a sus propiedades nutricionales (Roberfroid, 2000). Un ejemplo es la avena, que por su alto contenido en fibra presenta una mayor concentración de  $\beta$ -

glucanos, los cuales ayudan a disminuir enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, se tiene a la quinoa, considerada un alimento funcional por sus efectos antiinflamatorios, antioxidantes y de protección cardiovascular. En este sentido los alimentos funcionales ayudan a prevenir y disminuir distintas enfermedades como las barras de cereal, las cuales ayudan a personas con falta de calcio a prevenir enfermedades como osteoporosis, osteopenia, raquitismo entre otras (Hasler, 2000).

El frijol es considerado un alimento funcional debido a su alto contenido en fibra dietética, la cual ayuda a reducir el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares y crónicas como el cáncer (Bolet-Astoviza et al., 2010), polifenoles que neutralizan radicales libres y previenen daño celular e inhibidores de proteasas, los cuales previenen el cáncer de colon (Sánchez-Chino et al., 2015).

#### ***2.4 Variedades de frijol***

Como se ha mencionado anteriormente, México es un país con una amplia diversidad en cuanto al número de variedades de frijol. A continuación, se describen algunos aspectos importantes a destacar de las variedades predominantes en el país.

*Variedad 'Comapa' (Figura 2 A):* Esta variedad se cultiva en áreas tropicales del sureste de México, tiene un rendimiento de 1475 kg/ha en condiciones de temporal y 2300 kg/ha en condiciones de riego. La morfología del grano es cúbica, de tamaño pequeño y de color negro opaco. Su contenido proteico es del 18.7% y presenta resistencia a hongos del suelo, especialmente es resistente al hongo *Trichoderma harzianum*, especie que puede enfermar a la planta desde la raíz (Acosta et al., 2021).

*Variedad 'Flor de Mayo Eugenia' (Figura 2 B):* Esta variedad se adapta a climas que se encuentran en climas del Bajío y Altiplano Potosino-Zacatecano, los cuales se caracterizan por ser templados subhúmedos y seco semicálido, respectivamente. Su rendimiento es de 1200 kg/ha en condiciones temporales y 3500 kg/ha en condiciones de riego, y una de las características más importantes es su resistencia a la sequía moderada. Morfológicamente es de forma alargada, color rosa con mancha color crema. Esta variedad contiene un porcentaje de proteína del 21% y presenta resistencia a enfermedades fúngicas como la roya y antracnosis (Acosta et al., 2021).

*Variedad 'Flor de Junio Dalia' (Figura 2 C):* Este frijol es capaz de adaptarse a climas de la región Bajío, generando rendimientos en condiciones temporales de 1400 kg/ha y de 3200 kg/ha en condiciones de riego por goteo de kg/ha. Mantiene una forma ovalada de color rosa con franjas amarillo pálido, puede llegar a contener hasta un 20% de proteína y se ha determinado que su consumo podría estar vinculado en la protección contra obesidad y diabetes (Acosta et al., 2021).

*Variedad 'San Blas (Nayarit) ' (Figura 2 D):* Su región de adaptación es la del Bajío, así como el estado de Nayarit. El rendimiento alcanzado en condiciones temporales con humedad residual es de 800-1500 kg/ha, mientras que en condiciones de riego puede alcanzar un rendimiento de hasta 2800-3200 kg/ha. Esta variedad mantiene una mayor resistencia a la sequía respecto a otras variedades de frijol. Así mismo, su reproducción soporta otras condiciones adversas como la presencia de heladas, además de ser tolerante a enfermedades virales y fúngicas provocadas por el mosaico común o la Roya, respectivamente. Morfológicamente, tiene una forma ovalada pequeña y de color negro opaco. Esta variedad puede contener hasta un 22% de proteína (Acosta Gallegos J.A et al., 2021).

*Variedad 'Huitel 143' (Figura 2 E):* Esta es una variedad de frijol mejorada, la cual es generada a partir de la cruce de las variedades de frijol 'Comapa', 'Flor de Mayo Eugenia' y 'Flor de Junio Dalia'. Su rendimiento bajo condiciones de riego es de 1800 a 2800 kg/ha, mientras que en condiciones de temporal el rendimiento disminuye a 1000-1600 kg/ha. Para su desarrollo físico es necesaria la instalación de una guía que encamine su crecimiento, dando como resultado semillas de 0.25-0.40 gramos, de coloración violeta con negro y de forma elíptica. Una característica importante de esta variedad es que su contenido proteico oscila entre 22.7 y 25%, además de que es resistente a enfermedades virales y bacterianas, como aquellas causadas por el virus mosaico o las bacterias tizón de halo y tizón común (Acosta Gallegos J.A.et al., 2021).

*Variedad 'Primavera 28' (Figura 2 F):* Al igual que la variedad 'Huitel 143', el frijol 'Primavera 28' es una variedad mejorada proveniente de la cruce de otras variedades preexistentes. En este caso, la hibridación es llevada a cabo a través de las variedades 'Comapa' y 'San Blas Nayarit'. El rendimiento alcanzado en condiciones de riego es de 2800 a 4200 kg/ha y en temporal solo se alcanza un rendimiento de 1700 a 2200 kg/ha. Al igual que el frijol 'Huitel 143', la variedad 'Primavera 28' necesita una semiguía para su crecimiento. El producto obtenido tiene un peso de 0.21 a 0.28 gramos, de color negro opaco y forma elíptica. Adicionalmente, esta variedad resiste a enfermedades como la antracnosis, bacteriosis y Roya (Acosta Gallegos J.A et al., 2021).



*Figura 2. Variedades de frijol. A. Frijol variedad 'Comapa'. B. Frijol variedad 'Flor de Mayo Eugenia'. C. Frijol variedad 'Flor de Junio Dalia'. D. Frijol variedad 'San Blas Nayarit'. E. Frijol variedad 'Huitel 143'. F. Frijol variedad 'Primavera 28'.*

### ***2.5 Obtención de variedades mejoradas a partir de tecnología de hibridación***

Las variedades mejoradas son desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por medio de cruzamientos convencionales entre variedades de la misma especie, sin considerarse un híbrido que se produce entre líneas endogámicas (Zhai et al., 2024). Estas variedades son producidas de acuerdo con las necesidades de cada región, llevando a cabo su desarrollo en campos experimentales, específicamente en áreas del Valle del Guadiana, región Bajío, Valle de México, Valle del Fuerte y Cotaxtla.

Como se ha descrito anteriormente, el frijol 'Huitel 143' es una variedad mejorada producida en el Valle Guadiana, ubicado en Durango y que se desarrolla a partir del cruzamiento de las variedades 'Flor de Mayo', 'Flor de Junio' y 'Comapa' (INIFAP, 2022).

Uno de los beneficios principales del cruzamiento de variedades es el incremento de la resistencia de la variedad mejorada ante adversidades climatológicas o enfermedades comunes de la planta. Las variedades 'Flor de Mayo', 'Flor de Junio' y 'Comapa' presentan diversos problemas durante su desarrollo, ya que suelen ser susceptibles a altas temperaturas y a enfermedades como Roya, antracnosis, bacteriosis común producida por *Xanthomonas campestris pv. phaseoli* y de halo generada por *Pseudomonas syringae pv. phaseoli*, mancha angular derivada de infecciones con *Phaeoisariopsis griseola* y pudriciones de raíz.

La variedad mejorada 'Huitel 143' tiene la ventaja de adaptarse a las condiciones erráticas del temporal de lluvias, fecha de siembra y el periodo ambiental conocido como fotoperiodo, el cual influye en el crecimiento y en procesos biológicos relacionados con la floración que, a su vez, son direccionados por los genes *p<sub>pd</sub> p<sub>pd</sub>* de fenotipo sensible de día corto o el alelo *p<sub>pd</sub> p<sub>pd</sub>* de reacción neutral. (Anaya López et al., 2021; Ren et al., 2024)

Este mejoramiento se realiza por el método pedigrí, en donde el primer paso es el entrecruzamiento, en el cual se buscan los progenitores con rasgos de interés complementario genético y con características de grano similar. En el caso específico del frijol 'Huitel 143' se entrecruzó la variedad 'Comapa' que presenta un alto rendimiento, con la variedad 'Flor de Junio Dalia' que mantiene una alta resistencia a enfermedades y el frijol 'Flor de Mayo Eugenia' con capacidad para adaptarse a climas desde -15 hasta 35°C. Posteriormente, se realiza un cruzamiento inicial, produciendo una primera generación mejorada, en donde el polen de la planta variedad 'Comapa' y el polen de la variedad 'Flor de Junio Dalia' se transfieren manualmente a la planta de la variedad 'Flor de Mayo Eugenia'. Una vez realizado este procedimiento, se origina una segunda generación, tomando dos plantas de la primera y cruzándolas entre sí; lo anterior tiene como consecuencia una iniciación en la variación

genética de los rasgos de los progenitores. En esta segunda generación, algunos productos de la planta pueden mostrar una combinación favorable de características, mientras otros aún no exhiben los cambios deseados, por lo que durante el desarrollo de la segunda generación se seleccionan las semillas que han presentado las características de mejoramiento y son utilizadas para el desarrollo de generaciones sucesivas, siguiendo el mismo método de cruzamiento de la segunda generación.

En cada generación subsecuente se seleccionan las mejores semillas, cultivándose hasta que presenten una mayor herencia de las plantas seleccionadas y se obtenga una línea homogénea y estable en términos de los rasgos deseados. Finalmente, al cumplirse los estándares de calidad, la nueva variedad mejorada es liberada para su consumo comercial. El método anteriormente descrito se usa de forma general, en plantas autógamias (autopolinización) como el frijol y el trigo para poder desarrollar líneas más puras y estables genéticamente. (FAO, 2019; B. D. Singh, 2016).

Por otra parte, la nueva variedad 'Primavera 28' deriva del cruzamiento entre las variedades de frijol 'Comapa' y 'San Blas Nayarit', ya que las variedades anteriores presentan problemas en el proceso productivo, limitando su rendimiento. Así también las dos variedades criollas presentan afectaciones a enfermedades como la Roya; no obstante, el cruzamiento permite obtener una nueva variedad resistente a esta enfermedad fúngica y otras enfermedades como antracnosis y bacteriosis. Adicionalmente, el frijol 'Primavera 28' se puede producir en climas con sequía, humedad o heladas sin afectar los rendimientos de producción.

De forma similar a la generación de la variedad 'Huitel 143', la variedad 'Primavera 28' se desarrolla por cruzamiento siguiendo el método pedigrí descrito anteriormente, en donde se

eligen las variedades 'Comapa' y 'San Blas Nayarit' por sus características de alto rendimiento y resistencia a heladas y a hongos, respectivamente.

### ***2.6 Identificación de porcentaje Genético de Nuevas Variedades***

Debido a que la planta de frijol posee compuestos polifenólicos, polisacáridos y taninos, se dificulta la extracción de ADN por métodos comunes. Sin embargo, la identificación del porcentaje genético de las nuevas variedades es posible realizarlo a través de un mapeo físico genómico, el cual permite extraer el ADN y realizar el análisis del nivel de cruzamiento. Este método es normalmente utilizado en plantas híbridas y consiste en la obtención de ADN genómico de alto peso molecular extraído de tejidos de la hoja, la cual debe estar libre de infección por patógenos y enfermedades por hongos. Una vez seleccionado el tejido vegetal, este se tritura, se procede a romper la pared celular para la liberación de núcleos y organelos. Posteriormente, se promueve una ruptura de los gránulos a través de un aislamiento nuclear osmótico para finalmente hacer una lisis de las membranas nucleares (Li et al., 2020).

### ***2.7 Importancia de Antioxidantes***

Los antioxidantes son un grupo de moléculas con la capacidad de controlar la sobreproducción de radicales libres. De forma natural, el cuerpo humano produce algunos radicales libres durante el proceso de respiración para regular la actividad muscular y eliminar algunas bacterias; sin embargo, el exceso de estos radicales libres puede llevar a generar procesos de oxidación a nivel celular, modificando el ADN y generando cambios vinculados al envejecimiento o incluso con enfermedades como el cáncer. Por lo anterior, es importante el consumo adecuado de compuestos antioxidantes, ya que estos ayudan a mantener el equilibrio de los procesos oxidativos a partir de la interrupción de la producción

en cadena de radicales libres. (Castañeda & Chamoli, 2022; Londoño Londoño, 2012; Medina-Rendon et al., 2021).

### ***2.7.1 Actividad Antioxidante en frijol***

La capacidad antioxidante del frijol está relacionada con la presencia de polifenoles contenidos en la semilla, los cuales son capaces de capturar y neutralizar radicales libres, además de presentar propiedades de quelación de metales de transición, previniendo y deteniendo procesos oxidativos (Madhujith et al., 2004). Los antioxidantes de forma general, desactivan a los radicales por medio de la transferencia de electrones o átomos de hidrógeno, sin embargo, factores estructurales y de ionización afectan su eficiencia (Prior et al., 2005).

Dentro de los métodos más comunes para determinar la actividad antioxidante se encuentran aquellos donde se utilizan los radicales ABTS<sup>•+</sup> y DPPH<sup>•</sup>, el primero está fundamentado en la generación del radical mediante la adición de persulfato de potasio, lo cual genera una coloración verdosa, la cual es eliminada una vez que el antioxidante ha estabilizado al radical a partir de su oxidación. En el caso del método donde se utiliza el radical DPPH<sup>•</sup>, éste presenta una coloración violeta, la cual es disminuida o trasladada a una coloración amarilla debida a la donación de hidrógenos por parte del componente antioxidante (Alam et al., 2013; Mishra et al., 2012; Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Además de los polifenoles, los aminoácidos presentes en la semilla del frijol pueden favorecer su actividad antioxidante. Esta actividad es dependiente de sus características estructurales, donde aminoácidos hidrofóbicos, aromáticos, azufrados o aquellos que se encuentran cargados positivamente aumentan su efecto antioxidante (Bozkurt et al., 2021; Lima et al., 2019; Song et al., 2020). Un aspecto estructural a destacar de los componentes antioxidantes en el frijol es que estos se encuentran ligados a la celulosa y lignina de la pared

celular mediante enlaces éster, permitiendo así combatir el efecto negativo producido por radicales hidroxilo y peróxido. Dicho efecto antioxidante promueve efectos positivos en el sistema gastrointestinal, específicamente en el colon (Yang et al., 2020).

### ***2.8 Hipertensión como una problemática mundial: Incorporación del frijol para su control***

La hipertensión arterial es una enfermedad causada por una alta tensión arterial ( $\geq 140/90$  mm de Hg). De acuerdo con la OMS, en el año 2019 se reportaron 650 millones de personas con hipertensión, estadística que se duplicó para el año 2023, alcanzando un número de 1300 millones de personas, lo que llevó a considerar a esta patología como la segunda enfermedad con el mayor número de defunciones. En México, se reportaron 76 millones de casos para el año 2023, lo que llevó a llamar a este padecimiento como la “enfermedad silenciosa”, ya que si no es diagnosticada a tiempo puede llegar a ocasionar infartos de miocardio, insuficiencia cardíaca, daños renales, entre otros.

Algunas de las recomendaciones para la disminución de la presión arterial se encuentran relacionadas con la dieta, donde los alimentos funcionales cobran gran relevancia (Taylor, 2015). De acuerdo con Gigliola-Ormachea et al. (2023) los extractos fenólicos de cañahua y tarwi presentaron una inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) de 56.4% y 54.2%, respectivamente. Por otro lado, los hidrolizados con pancreatina y pepsina de las fuentes anteriores presentaron un grado de hidrólisis del 24.1% y una actividad inhibitoria de 70-75%. Dicho estudio demostró que un mayor tiempo de hidrólisis está relacionado con una mayor actividad antihipertensiva, debido a un incremento en la probabilidad de generación de secuencias peptídicas diferentes. Así también se evidenció que extractos fenólicos ricos en flavonoides y fracciones cromatográficas de hidrolizados proteicos pueden incrementar la actividad inhibitoria de ECA hasta un 80%.

La inhibición de la ECA es un mecanismo importante en el control de la hipertensión; esta enzima es codificada por el gen *ACE* en el ADN, el cual se produce en varios tejidos del cuerpo humano, produciendo así el sistema renina-angiotensina-aldosterona o bien RAAS. Este sistema se encarga de elevar la presión arterial en cuanto la presión renal disminuye; además, actúa como regulador vascular, controla los niveles de sal, así como la presión arterial.

La vida de la angiotensina I es demasiado corta, generalmente de menos de 60 segundos, una vez que se localiza en el torrente sanguíneo, es convertida en angiotensina II por medio de la enzima convertidora de angiotensina (ECA). Este proceso puede regular la presión arterial mediante efectos de vasoconstricción por contracción del músculo liso en las arteriolas, secreción de aldosterona de la corteza suprarrenal, aumento en la reabsorción de sodio a través del aumento de la actividad del anti portador de Na-H en el túbulo contorneado proximal, aumento simpático del sistema nervioso central y liberación de vasopresina del hipotálamo como se muestra en la Figura 3 (Fountain et al., 2023; Melcescu & Koch, 2019).

La incorporación de alimentos funcionales o nutraceuticos y en específico, de leguminosas como el frijol para el control de la hipertensión cobra gran relevancia, una vez que se ha demostrado que durante la digestión o mediante procesos tecnológicos como la germinación y la fermentación, las proteínas de las leguminosas pueden liberar péptidos bioactivos con capacidad para inhibir la ECA (Duranti & Gius, 1997). Esta inhibición contribuye a reducir la vasoconstricción, lo que resulta en una disminución de la presión arterial, convirtiendo a las leguminosas en una excelente herramienta dietética para el control de este padecimiento, derivado de su contenido de péptidos antihipertensivos, fibra, potasio, antioxidantes y bajo

índice glucémico. Incorporarlas regularmente a la dieta puede ayudar en la prevención y control de la hipertensión de forma natural y accesible (Navas-Carretero et al., 2015).

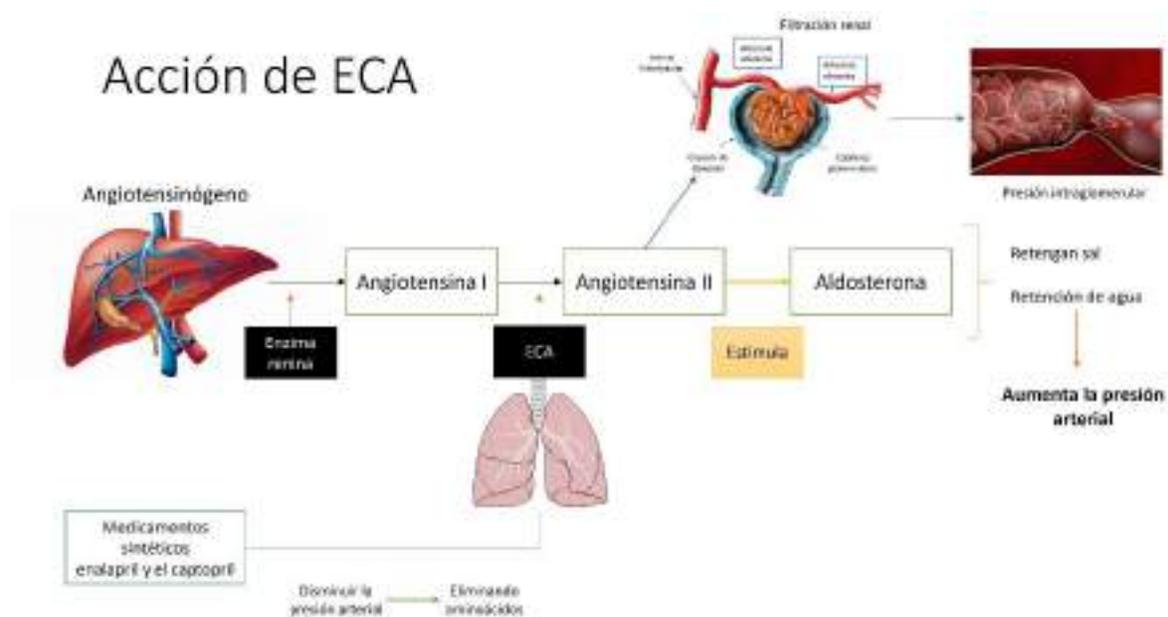


Figura 3. Funcionamiento a nivel biológico de la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA).

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

Determinar el perfil químico proximal, proteico y de bioactividad en variedades criollas y mejoradas de frijol mediante metodologías fisicoquímicas de análisis con la finalidad de establecer qué variedad presenta las mejores características de funcionalidad.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el perfil bromatológico de variedades criollas y mejoradas de frijol mediante técnicas oficiales de análisis para determinar su contenido nutricional.

- Determinar la capacidad antioxidante y antihipertensiva presente en cada variedad de frijol mediante ensayos de actividad *in vitro* para establecer su potencial bioactivo.
- Analizar el perfil proteico de diversas variedades de frijol mediante técnicas espectrofotométricas y de electroforesis con la finalidad de establecer los principales tipos de proteínas y propiedades de solubilidad presentes en estas.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

##### 4.1 Sitio experimental, material vegetal y tratamientos.

Se cultivaron las variedades de frijol 'Huitel 143', 'Primavera 28', 'Comapa', 'Flor de Mayo Eugenia', 'Flor de Junio Dalia' y 'San Blas Nayarit' en el municipio de Tula de Allende, ubicado en el estado de Hidalgo con coordenadas 20° 03' latitud norte y 99° 21' longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 2,020 msnm (Figura 4). El clima de la región es templado a frío con una temperatura promedio de 17.6°C. (Chávez Melo, 2016).



Figura 4. Mapa de Tula de Allende, Hidalgo

Se evaluaron seis variedades de frijol, 'Huitel 143', 'Primavera 28', 'Comapa', 'Flor de Mayo Eugenia', 'Flor de Junio Dalia' y 'San Blas Nayarit', dichas variedades fueron donadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con sede en Pachuca, Hidalgo. La institución aseguró que las semillas fueron previamente sembradas bajo las mismas condiciones agroclimáticas presentes en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo, con el propósito de garantizar la homogeneidad en las condiciones de cultivo y la validez de los resultados obtenidos.

#### *4.2 Establecimiento del experimento*

Una vez que se cosecharon los granos de frijol se guardaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio Postcosecha del ICAp-UAEH.

#### *4.3 Diseño de Tratamientos*

Se analizaron seis variedades de frijol, 4 variedades de frijol criollas, las cuales fueron Variedad de frijol 'Comapa', Variedad 'Flor de Mayo Eugenia', Variedad de frijol 'Flor de Junio Dalia' y Variedad 'San Blas Nayarit' y 2 variedades de frijol mejoradas, 'Huitel 143' y 'Primavera 28'

#### *4.4 Preparación de la muestra.*

Las semillas de frijol se colocaron bajo la sombra durante 72 horas en condiciones ambientales. Una vez que se secaron, se molieron en un molino de cuchillas (Haan, RTSCH GM 200, Alemania) a 9000 rpm durante 60 segundos para obtener una harina. Posteriormente, se almacenaron a 5°C en bolsas herméticas negras hasta la determinación de los análisis.

## 4.5 Variables de estudio

### 4.5.1 Análisis Proximal

#### 4.5.1.1 Determinación de Humedad

Se analizó la humedad de acuerdo a la metodología descrita por la A.O.A.C. 44 – 16 (2003).

Una capsula de aluminio se colocó en una estufa marca Craft hasta obtener peso constante (60 min). Posteriormente, se le añadieron 5 g de harina de frijol de cada una de las variedades analizadas. Las muestras se introdujeron en la estufa antes mencionada por 7 h a 105°C para después colocarlas en un desecador hasta que la cápsula con la muestra alcanzó una temperatura ambiente. Una vez alcanzado esto, se registró el peso obtenido.

El porcentaje de humedad se calculó bajo la siguiente formula:

$$\%Humedad = \frac{PH1 - PMS2}{PM} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

PH1: Peso de la cápsula más la muestra húmeda (gramos).

PMS2: Peso de la cápsula más la muestra seca (gramos).

PM: Peso de la muestra (gramos).

#### 4.5.1.2 Determinación de contenido de cenizas

Se cuantificó el contenido de cenizas siguiendo la metodología basada en la A.O.A.C 923.03 (2003), en donde se colocó un crisol en una estufa Craft a 105°C por 60 min para obtener su peso constante. Posterior a esto, se agregaron 5 g de harina de frijol correspondiente a cada

variedad y con ayuda de un mechero Bunsen, se calcinó de forma parcial. La incineración completa se llevó a cabo en una mufla modelo FE-361 a 550°C por 8 h. Finalmente, el crisol se colocó en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se registró su peso. El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó a través de la fórmula siguiente:

$$\% CZ = \frac{Y1 - Y2}{Y} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

%CZ: Porcentaje de cenizas

Y1: Peso del crisol con cenizas (gramos)

Y2: Peso del crisol vacío (gramos)

Y: Peso de la muestra (gramos)

#### *4.5.1.3 Determinación de proteína total*

Se determinó el contenido de proteína en cada una de las variedades de frijol por el método Kjeldahl basado en A.O.A.C. 955.04 (2003), el cual consta de tres fases.

Fase 1 “Digestión”: En un tubo Kjeldahl se colocó 1 g de harina en papel libre de nitrógeno junto con 5 g de una mezcla compuesta por 10 g de sulfato de potasio anhidro y 1 g de sulfato cúprico pentahidratado, además se le añadieron 18 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y se llevó a un digestor Büchi por 4 horas. Durante el transcurso de la digestión, se observó un cambio de coloración, pasando de una tonalidad café a verde, indicativo visual para la adición de 20 mL de agua destilada con la finalidad de evitar la formación de cristales.

Fase 2 “Destilación”: En un matraz de 150 mL se colocaron 50 mL de ácido bórico al 2% y tres gotas de rojo de metilo, llevando la mezcla a un equipo de destilación de la marca Büchi junto con el tubo Kjeldahl de la etapa anterior, realizando la destilación por un lapso de 5 min.

Fase 3 “Titulación”: El producto obtenido de la destilación llevada a cabo durante la etapa 2 se tituló con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.1 N y el porcentaje de nitrógeno fue calculado a través de fórmula siguiente:

$$\%Nitrógeno = \frac{(VGM - VGMB) \times 0.014 \times N}{PM} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

VGM: Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado en la muestra (mL)

VGMB: Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado en un matraz sin muestra o blanco (mL)

N: Normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizado para titulación

0.014: Equivalentes de nitrógeno

PM: Peso de la muestra (gramos)

En el caso del porcentaje de proteína, éste se calculó a partir del % de nitrógeno obtenido previamente mediante la siguiente fórmula:

$$\%Proteína = \%N \times 6.25$$

%N: Porcentaje de nitrógeno calculado en la ecuación 3 ( 4)

6.25: Factor universal de conversión de nitrógeno a proteína.

#### 4.5.1.4 Determinación de extracto etéreo

Se analizó el extracto etéreo de las harinas de cada variedad de frijol basado en la metodología de la A.O.A.C. 920.309 (1995). Primero, se colocaron los vasos Büchi a 105°C por 1 hora hasta obtener su peso constante y se registró su peso, posterior a esto, se colocaron 5 g de cada una de las muestras de harina de frijol y se añadieron 200 mL de éter de petróleo. La mezcla se trasladó a un extractor Büchi programado para 2 horas de extracción, 1 hora de lavado y 30 minutos de secado. Al culminar estas etapas, las muestras fueron retiradas y enfriadas por 2 horas para finalmente registrar su peso.

Se calculó el porcentaje de extracto etéreo por la siguiente formula:

$$\% EE = \frac{P2 - P1}{PM} \times 100 \quad ( 5 )$$

Donde:

%EE: Porcentaje de extracto etéreo

P1: Peso del vaso solo (gramos)

P2: Peso del vaso con grasa (gramos)

PM: Peso de la muestra (gramos)

#### 4.5.1.5 Determinación de contenido de fibra

Se analizó el contenido de fibra presente en las harinas de frijol de las variedades estudiadas basado en la metodología descrita por la A.O.A.C. 962.09 (1995). Primero se colocó la muestra obtenida del extracto etéreo en un vaso Berzelius, el cual se lavó previamente con agua y jabón y se enjuagó con agua destilada. Posteriormente, se añadieron 250 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.255 N y el vaso Berzelius se colocó en el equipo de digestión modelo LAC300001-00, llevando a ebullición por 30 minutos. Una vez terminado este proceso, el residuo sólido se filtró con tela de lino y se lavó con agua destilada hasta que el agua de lavado saliera transparente o arrojara un pH neutro. Después, se raspó el residuo con ayuda de una espátula y se agregó nuevamente al vaso de Berzelius junto a 250 mL de NaOH a 0.313 N, colocándose nuevamente en el equipo de digestión por 30 minutos adicionales. Trascurrido el tiempo, el residuo sólido se filtró y lavó nuevamente, siguiendo el mismo procedimiento descrito en la digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Una vez que se obtuvo un agua de lavado neutra, se agregaron 30 mL de etanol al residuo sólido, se filtró y se colocó en un crisol para ser secado una estufa Craft por 4 horas. Al culminar este tiempo se registró su peso y finalmente se colocó en una mufla a 550°C por 8 h, dejando enfriar en desecador y tomando nuevamente su peso.

El contenido de fibra fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{PCMS - PCMC}{PRM} \times 100 \quad (6)$$

PCMS: Peso del crisol con muestra seca (gramos)

PCMC: Peso del crisol con muestra calcinada (gramos)

PRM: Peso inicial de la muestra (5 gramos)

## **4.5.2 Compuestos Bioactivos**

### *4.5.2.1 Fenoles totales*

Se utilizó la metodología propuesta por Singleton et al. (1999), se pesó 1 g de harina de frijol y se le agregó agua destilada hasta crear una mezcla homogénea. Ésta se llevó a centrifugar a 17,500 rpm por 10 minutos, se tomaron 0.5 mL del sobrenadante y fueron colocados a tres tubos de ensayo previamente cubiertos con papel aluminio. A los mismos tubos, se les añadieron 2.5 mL de reactivo de Folin- Ciocalteau al 1:10 (usando agua destilada como diluyente) para obtener una concentración a 0.2 N, se dejó reposar por aproximadamente 5 min, para después adicionar una 1.5 mL de carbonato de sodio al 7.5%, se homogenizó perfectamente y se dejó reposar por 2 horas para finalmente medir la absorbancia a 760 nm. Previamente, se realizó una curva de calibración con una solución patrón de ácido gálico a una concentración de 1000 mg/L. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

### *4.5.2.2 Flavonoides*

Los flavonoides presentes en las diferentes variedades de frijol fueron determinados según la metodología de Arvouet-Grand A. et al. (1994). Se pesaron 0.1 g de harina de frijol y se llevaron a un volumen final de 10 mL con metanol. La dispersión anterior se homogenizó, se filtró y 2 mL del filtrado obtenido fueron colocados en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio. Posteriormente, se añadieron 2 mL de una solución de tricloruro de aluminio al 2%

en metanol a cada uno de los tubos y se dejó reposar por 20 min. Pasado este tiempo, se llevó a lectura en un espectrofotómetro a 415 nm. La concentración de flavonoides fue calculada a partir de una curva de calibración con una solución de quercetina a una concentración de 5 mg/L. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

#### 4.5.2.3 *Ácido ascórbico*

La determinación de ácido ascórbico se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Klein & Perry (1982). Para ello, se pesaron 5 g de harina de frijol, los cuales fueron mezclados con 10 mL de ácido metafosfórico mediante agitación magnética constante durante 30 min. Posteriormente, la mezcla fue centrifugada a 10,000 rpm por 10 minutos y 1 mL del sobrenadante obtenido fue trasladado a un vial junto con 1 mL de ácido 2,6-diclorofenolindofenol, dejándose reaccionar por 5 minutos y midiendo la absorbancia a 515 nm. Previamente se realizó una curva de calibración con una solución de vitamina C a una concentración de 15 mg/L. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico por gramo de peso seco.

### **4.5.3 Determinación de Actividad Antioxidante *in vitro***

#### 4.5.3.1 *ABTS*<sup>•+</sup>

La capacidad de estabilización del radical *ABTS*<sup>•+</sup> se analizó de acuerdo a lo descrito por Re et al. (1999). Se pesó 1 g de harina de frijol, se le agregaron 20 mL de agua destilada y la mezcla se llevó a centrifugar a 17,500 rpm durante 10 min. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se diluyó con 20 mL de alcohol metílico al 80 %. De la anterior dilución de la muestra, se tomaron 100  $\mu$ L y se colocaron en un tubo de ensayo cubierto de aluminio junto con 7  $\mu$ L de radical *ABTS*<sup>•+</sup> (2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)), el cual previamente

se preparó usando 20 mL de ABTS<sup>•+</sup> con 30 mL de persulfato de potasio a 3.5 mM, dejando reposar por 16 horas. Transcurrido este tiempo, la mezcla anterior se diluyó con etanol al 20% hasta alcanzar una absorbancia de  $0.7 \pm 0.01$  a 734 nm.

Este tubo con 7  $\mu$ L de radical ABTS<sup>•+</sup> y 100  $\mu$ L de muestra se agitó en vortex por 1 minuto y se dejó reaccionar por 6 min en obscuridad. Transcurrido el tiempo, se realizó la lectura a 734 nm. Previamente se realizó una curva de calibración de 0 a 60  $\mu$ g/mL de Trolox. Los resultados se expresaron en mg de Trolox por gramo de peso seco.

#### 4.5.3.2 DPPH<sup>•</sup>

Para la determinación de antioxidantes por el radical DPPH<sup>•</sup> (2,2-difenil-1-picrihidrazilo) se siguió la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995). Se pesó 1 g de harina de frijol, se liofilizó y una vez obtenida una harina libre de humedad, se le agregaron 20 mL de agua destilada. Posteriormente, la dispersión se centrifugó a 17,500 rpm por 10 min, se tomó 1 mL de sobrenadante, se diluyó en 20 mL de alcohol metílico al 80% y se midió su absorbancia a 517 nm. El ensayo de actividad antioxidante comenzó al mezclar en un tubo de ensayo cubierto con aluminio 2.5 mL de radical DPPH<sup>•</sup> a  $6.1 \times 10^{-5}$  M junto con 0.5 mL de muestra de harina de frijol y se dejó reposar durante 30 min, transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia a 517 nm. Previamente se realizó una curva de calibración con Trolox (0-80 mg/L) para determinar el valor de actividad antioxidante por el radical DPPH<sup>•</sup>.

#### 4.5.3.3 FRAP

Para la evaluación de la capacidad antioxidante de reducción férrica (FRAP) se utilizó la metodología propuesta por Benzie & Strain (1996). Primero, se preparó el reactivo FRAP mediante la mezcla de TPTZ, FeCl<sub>3</sub> y amortiguador de acetato usando proporción 10:1:2. El ensayo de actividad antioxidante fue iniciado al mezclar 1.8 mL del reactivo FRAP junto con

140  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 60  $\mu\text{L}$  de muestra . Posteriormente, la mezcla se dejó reaccionar durante 30 min a 37 °C y se midió su absorbancia a 593 nm. Previamente se realizó una curva de calibración con Trolox (0-80 mg/L). Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox por gramo de peso seco.

#### **4.5.4 Determinación de Actividad Antioxidante enzimática**

##### *4.5.4.1 Super Oxido Dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1)*

La actividad SOD se realizó en base a la metodología de Balois-Morales (2008) con ligeras modificaciones. Se pesaron 5 g de frijol previamente molido con un molino de cuchillas marca Haan ®, Modelo RTSCH GM 200 y se mezcló con una solución de buffer de fosfatos 0.05 M pH 7.8. La mezcla fue homogenizada mediante vortex por un minuto y se centrifugó a 10,000 rpm durante 10 min a 4 ° C. Posteriormente, en un vial se colocaron 500  $\mu\text{L}$  del sobrenadante obtenido, 30  $\mu\text{L}$  de riboflavina a 0.003 mM y se les irradió luz fluorescente de 20 W por 10 min. Al transcurrir el tiempo, se midió la absorbancia de la mezcla a 560 nm. Los resultados se expresaron como las unidades de enzima necesaria para inhibir el 50% de nitroazul de tetrazolio (NBT) por gramo de proteína determinada por el método de Bradford.

##### *4.5.4.2 Catalasa (CAT, EC 1.11.1.6)*

La actividad CAT se determinó en base a la metodología propuesta por Balois-Morales (2008) con modificaciones. Se pesaron 5 g de harina de frijol previamente molido con un molino de cuchillas marca Haan ®, Modelo RTSCH GM 200 y se mezcló con 5 mL de Tris-HCl 10 mM a pH 8.5. La mezcla se centrifugó durante 15 min a 10,000 rpm a una temperatura de 4°C. Posteriormente, 300  $\mu\text{L}$  del sobrenadante obtenido se adicionaron a 0.1 mL de peróxido de hidrogeno a 25 mM y 5 mL de buffer Tris-HCl 10 mM, pH= 8.5, dejándose reaccionar en obscuridad por 3 min y finalmente medir la absorbancia a 240 nm.

Previamente, se realizó una curva de calibración de 2 a 20 nM con peróxido de hidrógeno y los resultados se reportaron como Unidades internacionales por gramo de proteína.

#### *4.5.4.3 Ascorbato peroxidasa (APX, EC 1.11.1.11)*

La actividad APX se determinó en base a la metodología propuesta por Patykowski et al. (2007) con modificaciones. Primero, se pesaron 5 g de harina de frijol previamente molido con un molino de cuchillas marca Haan ®, Modelo RTSCH GM 200, los cuales fueron mezclados con 5 mL de solución buffer de fosfato de potasio 50 mM pH 7. La mezcla obtenida se mantuvo en refrigeración por 1 h para después llevarla a centrifugación por 20 min a 10,000 rpm y 4 °C. Posteriormente, se mezcló 1 mL del sobrenadante con de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0.5 mM y se dejó reaccionar por 5 min para finalmente medir la absorbancia a 265 nm. La APX se calculó de acuerdo al coeficiente de extinción molar del ascorbato (2.8 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>) y los resultados se reportaron en Unidades internacionales por gramo de proteína.

#### *4.5.4.4 Guayacol Peroxidasa (POD, EC 1.11.1.7)*

La actividad POD se determinó en base a la metodología propuesta por Taş et al. (2023) con algunas modificaciones. Se pesaron 5 g de harina de frijol previamente obtenida con un molino de cuchillas marca Haan ®, Modelo RTSCH GM 200 y se mezclaron con 5 mL de solución Tris 100 mM. La mezcla fue homogenizada con ayuda de un vortex y posteriormente se centrifugó a 10, 000 rpm a 4 °C por 15 min. El sobrenadante obtenido se filtró y 100 µL de éste fueron colocados en un vial junto con 100 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 50 mM y 100 µL de guayacol 50 mM, dejándose reaccionar por 3 min para finalmente medir la absorbancia a 470 nm. Los resultados se expresaron en unidad internacional por gramo de proteína.

#### *4.5.4.5 Actividad de la polifenoloxidasas (PPO; E.C. 1.14.18.1 y E.C. 1.10.3.1)*

La actividad PPO se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Vanegas Cano L. J et al. (2022). Para ello, se pesaron 200 mg de harina de frijol y se mezclaron con 5 mL de buffer de fosfatos pH 7. Después, la mezcla se centrifugó por 10 min a 10,000 rpm y 1 mL del sobrenadante obtenido se colocó junto con 2.2 mL de catecol 100 mM disuelto en buffer de fosfatos pH 7, se dejó reaccionar por 3 min y se midió la absorbancia a 470 nm. La PPO se siguió por la oxidación del catecol a o-diquinona a una longitud de onda de 470 nm durante 3 min. Los resultados se expresaron en unidad internacional por miligramo de proteína.

#### *4.5.4.6 Peróxido de hidrógeno*

La concentración de peróxido de hidrógeno se determinó con base en la metodología propuesta de Velikova et al. (2000). Se pesaron 500 mg de harina de frijol previamente obtenida, se homogeneizó y se mezcló con 5 mL de ácido tricloroacético al 0.1% en agua fría. Posteriormente, se llevó a centrifugar a 10,000 rpm por 20 min y 500  $\mu$ L del sobrenadante fueron colocados junto con 500  $\mu$ L de buffer de fosfato de potasio 10 mM a pH 7 y 1 mL de KI a 1 M. La mezcla obtenida se dejó reaccionar por 3 min, obteniendo su absorbancia a 390 nm. Los resultados se expresaron en nanomoles de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por gramo de peso seco.

#### *4.5.4.7 Peroxidación lipídica*

La peroxidación lipídica se determinó en base a la metodología propuesta por R. Singh et al. (2018). Se pesaron 500 mg de harina de frijol previamente molida junto con 5 mL de TCA al 0.1% y se mezcló por 1 min con ayuda de un vortex. Después, se centrifugó a 10,000 rpm durante 15 min y 1 mL del sobrenadante se colocó en tubo de ensayo junto con 4 mL de ácido tiobarbitúrico. A la mezcla obtenida se le trató térmicamente por 50 minutos a 95°C para

después sumergir los tubos de ensaye en agua con hielo por 5 min. La absorbancia resultante después de este tratamiento fue medida a 532 nm y 600 nm. La concentración de malondialdehído (MDA) fue calculada mediante su coeficiente de extinción molar de  $1.56 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  y los resultados se expresaron en milimoles de MDA por gramo de peso seco.

#### **4.5.5 Determinación de proteína soluble**

##### *4.5.5.1 Método por reactivo Bradford*

La determinación de proteína se realizó en base a la metodología de Vandekerckhove (1994). El reactivo de Bradford se preparó disolviendo 100 mg de azul de Coomassie G-250 en 50 mL de etanol al 95% y 100 mL de ácido fosfórico al 85 %, llevando a un volumen final de 1 L. Posteriormente, se filtró con papel filtro y se almacenó en una botella color ámbar.

Se realizó una curva de calibración con una disolución patrón de suero de albumina bovina a una concentración de 1 mg/mL utilizando volúmenes de 10, 20, 40, 60, 80 y 100  $\mu\text{L}$  de la solución patrón, los cuales fueron colocados en tubos de ensayo y se les agregó agua destilada hasta llegar a un volumen final de 100  $\mu\text{L}$ . Posteriormente, se añadieron 5 mL de reactivo Bradford se homogenizó y se midió la absorbancia a 545 nm. A la par se preparó un control donde se utilizaron 100  $\mu\text{L}$  de agua en lugar del patrón de seroalbúmina bovina.

La muestra se preparó pesando 150 mg de harina de frijol, la cual se mezcló por 5 minutos con 5 mL de buffer de fosfatos pH 7. Para la medición de la muestra, se realizó la dilución de acuerdo a la curva de calibración y 100  $\mu\text{L}$  de muestra diluida fueron mezclados con 5 mL de reactivo Bradford, midiendo la absorbancia a la misma longitud de onda utilizada en la curva de calibración. Los resultados fueron expresados como solubilidad porcentual considerando la cantidad de proteína soluble respecto a la proteína cruda.

#### 4.5.5.2 Método por reactivo Biuret

Se siguió la metodología propuesta por Gornall et al. (1949), pesándose 150 mg de harina de frijol, la cual se mezcló por 5 minutos con 5 mL de buffer de fosfatos pH 7. Posteriormente, la mezcla se filtró con ayuda de tela de lino para después centrifugar el filtrado a 10,000 rpm por 15 min. Finalmente, 500  $\mu$ L del sobrenadante obtenido se colocaron en un vial junto con a 2.5 mL de reactivo de Biuret y se midió la absorbancia a 540 nm. Los resultados se expresaron en mg de albúmina por gramo de muestra.

### 4.5.6 Determinación del perfil proteico

#### 4.5.6.1 Electroforesis por Gel de poliacrilamida de Tris-Glicina-SDS-PAGE

Se llevó a cabo la determinación del perfil proteico de las muestras de harina de frijol a través de electroforesis en gel de poliacrilamida utilizando la metodología de Schägger & von Jagow (1987). Primero, se preparó un gel de separación mezclando en un matraz 8 mL de acrilamida al 30 % (BioRad 37.5:1) con buffer Tris-HCl a 1.5 M y pH= 8.8 para alcanzar un 15% de T. Posteriormente, se adicionaron 160  $\mu$ L de SDS al 10 % y se agitó por 15 min en condiciones de vacío. Pasado este tiempo, se agregaron 80  $\mu$ L de persulfato de amonio al 10 % y 8  $\mu$ L de TEMED. La mezcla fue trasladada a cristales soporte para proceder a su polimerización por alrededor 2 horas.

Posteriormente, se generó un gel de concentración a partir de la mezcla 1.1 mL de acrilamida al 30 % (BioRad 37.5:1), 7 mL de buffer Tris-HCl (0.5 M, pH= 6.8) y 80  $\mu$ L de SDS al 10%. A la mezcla anterior se le aplicó agitación magnética y vacío por 15 min y, al terminar este tiempo, se agregaron 40  $\mu$ L de persulfato de amonio al 10 % y 4  $\mu$ L de TEMED. La mezcla se trasladó a los cristales que contenían el gel de separación y se formaron los pozos para la adición de muestra, dejando polimerizar por alrededor de 1 h.

Las muestras fueron preparadas mediante la dispersión de harina de frijol en buffer de fosfatos pH 7 para después centrifugarlas a 10,000 rpm por 10 min a 4°C. Se tomaron 20 µL de sobrenadante y se mezcló con 20 µL de agua y 20 µL de buffer colorante. Se homogenizó la muestra y se añadieron 3 µL de β-mercaptoetanol, se calentaron las muestras a 95°C por 5 min en termoblock y 10 µL de cada muestra tratada fueron inyectados en los carriles de gel de concentración. A la par, se inyectaron 10 µL del estándar (BioRad Dual Xtra Precision Plus) y se llevó a cabo la corrida electroforética con buffer Tris-HCl pH=8.3 (Tris= 0.025 M, Glicina= 0.2 M y 0.1% de SDS) a 200 V por alrededor de 1-2 horas, manteniendo la cámara de electroforesis en un baño de hielo. Finalmente, los geles de electroforesis se analizaron mediante el sistema de documentación de geles Gel-Doc de BioRad.

#### *4.5.7 Aminos libres (TNBS)*

Se realizó la determinación de grupos aminos libres por el método del ácido trinitrobencenosulfónico (TNBS) propuesto por Adler-Nissen (1979). Se preparó la muestra pesando 100 mg de harina de frijol, la cual se mezcló por 5 minutos con 10 mL de buffer de fosfatos pH 7. En tubos protegidos de la luz, se adicionaron 2 mL de buffer de fosfatos (0.21 M, pH 8.2), 0.250 mL de muestra y 2 mL de solución de TNBS al 0.1 % disuelta en el buffer de fosfatos antes mencionado. La mezcla se dejó reaccionar por aproximadamente 1 h a 50°C en obscuridad y se detuvo al añadir 4 mL de HCl a 0.1 N. Finalmente, se midió la absorbancia a 340 nm. Se realizó una curva de calibración con glicina de 0 a 200 mg/L y los resultados se expresaron en mg de aminos libres por gramo de muestra.

#### 4.5.8 Determinación de actividad antihipertensiva

Para la determinación de la actividad antihipertensiva de las harinas de frijol se utilizó la metodología propuesta por Cushman et al. (1977) evaluando esta actividad a partir de la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA).

Para la prueba de inhibición de ECA se prepararon dos sistemas diferentes, el primero denominado control positivo fue conformado por con 80  $\mu\text{L}$  de buffer borato salino (0.05 M, pH de 8.2 con 0.3 M de NaCl), 200  $\mu\text{L}$  de hipuril-histidil-leucina a 5 mM disuelto en el buffer de borato y 20  $\mu\text{L}$  de ECA de conejo a 0.1 U/mL disuelto en el buffer antes mencionado. En el caso del sistema relacionado con la muestra, este contenía el mismo volumen de hipuril-histidil-leucina y ECA, sustituyendo la cantidad de buffer salino por las muestras. Ambos sistemas se mantuvieron a 37 °C por 80 min y fueron inactivados mediante la adición de 250  $\mu\text{L}$  de HCl a 0.1 M. Posteriormente, el volumen total de cada reacción se trasladó a un tubo de ensayo donde se le añadieron 1.7 mL de acetato de etilo y 800  $\mu\text{L}$  de la fase orgánica fue extraída y evaporada a 80°C por 60 min. Transcurrido este tiempo, el ácido hipúrico generado en cada sistema fue reconstituido con 500  $\mu\text{L}$  de agua destilada para después añadir 300  $\mu\text{L}$  de piridina y 150  $\mu\text{L}$  de cloruro de bencensulfonilo y se midió la absorbancia a 410 nm.

Para el cálculo de la inhibición de ECA se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{inhibición ECA (\%)} = \frac{A_{100} - A_s}{A_{100}} \times 100 \quad (7)$$

Donde

$A_{100}$ : Control Positivo

$A_s$ : Sistema de muestra

## 5. Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. El análisis estadístico fue realizado a partir de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, utilizando el programa estadístico SAS para Windows versión 9.4. Se realizaron comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Tuckey, distinguiendo diferencias significativas a  $P \leq 0.05$ .

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis proximal en grano de frijol.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad y cenizas entre las variedades de frijol criollas y mejoradas (Tabla 1). A pesar de esto, las variedades de frijol 'Huitel 143' (VFH) y 'Primavera 28' (VFP) tuvieron un mayor contenido de humedad con valores de 9.27% y de 8.62%. Al respecto, Espino-Sevilla et al. (2017) reportaron un mayor contenido de humedad (9.96%) en el frijol 'Flor de Junio' y en la variedad 'Peruano' (9.0%). Ellos mencionan que esto podría deberse a la variedad y puede además estar influenciado por la conservación y estabilidad durante el almacenamiento. Respecto al contenido de cenizas, aunque no se observaron diferencias significativas entre las variedades criollas y mejoradas, la VFP presentó un contenido más alto (4.63%), estos valores son mayores a lo reportado por

Espino-Sevilla et al. (2017) en la variedad de frijol 'Pinto' (2.53%), esto puede deberse a que tiene un mayor contenido de minerales y al tipo de suelo en donde fue sembrado.

En el caso del contenido de proteína, fibra, grasa y carbohidratos se observaron diferencias significativas entre las variedades criollas y las nuevas variedades mejoradas de frijol (Tabla 1). La VFP fue la que presentó un mayor contenido de proteína con un valor de 30.81%, este valor es mayor a lo reportado por Fernández Valenciano et al. (2017) en la variedad de frijol 'Peruano' (28.32%) y menor que lo reportado en la variedad de frijol 'Negro' (39.76%). Esto puede deberse a la variedad y al tipo de clima en donde fue sembrado.

En relación al contenido de grasa, la variedad de frijol 'Flor de Mayo' (VFFM) presentó un mayor contenido con un valor de 3.76%, este valor fue mayor a lo reportado por Fernández Valenciano et al. (2017) en la variedad 'Negro' (0.97%) y 'Bayo' (0.93%). Con respecto al contenido de fibra, la VFH mostró un mayor contenido de fibra, con un valor 0.91%, el cual fue menor a lo reportado por Aguirre-Santos EA & Gómez-Aldapa CA (2010) en la variedad de frijol 'Negro San Luis' (1.77 %.). En el contenido de carbohidratos, la variedad de frijol 'San Blas Nayarit' (VFSN) exhibió el contenido más alto, con un valor de 67.02%, similar a lo reportado por Aguirre-Santos EA & Gómez-Aldapa CA (2010) en la variedad frijol 'Pinto Saltillo'.

Tabla 1. Contenido de humedad, cenizas, proteínas, grasa, fibra y carbohidratos en granos de frijol de las variedades criollas y mejoradas.

Variedades de frijol	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
'Primavera 28'	9.27 ± 0.23 <sup>a</sup>	4.63 ± 0.51 <sup>a</sup>	30.81 ± 1.16 <sup>a</sup>	1.11 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.71 ± 0.05 <sup>ab</sup>	53.47 ± 1.74 <sup>b</sup>
'Huitel 143'	8.62 ± 0.24 <sup>a</sup>	4.24 ± 0.15 <sup>a</sup>	27.74 ± 2.64 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.02 <sup>a</sup>	57.14 ± 2.62 <sup>b</sup>
'Comapa'	7.58 ± 1.21 <sup>a</sup>	4.42 ± 0.64 <sup>a</sup>	23.22 ± 0.21 <sup>b</sup>	1.71 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.06 <sup>bc</sup>	62.63 ± 0.72 <sup>a</sup>
'Flor de Mayo'	7.02 ± 1.65 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	19.38 ± 0.19 <sup>c</sup>	3.76 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.11 <sup>bc</sup>	65.52 ± 1.77 <sup>a</sup>
'Flor de Junio'	7.33 ± 1.82 <sup>a</sup>	4.06 ± 0.74 <sup>a</sup>	21.51 ± 0.34 <sup>bc</sup>	1.89 ± 0.67 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.16 <sup>bc</sup>	64.99 ± 2.96 <sup>a</sup>
'Nayarit'	7.22 ± 0.91 <sup>a</sup>	3.56 ± 1.34 <sup>a</sup>	19.59 ± 0.16 <sup>c</sup>	2.06 ± 0.70 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>c</sup>	67.02 ± 0.84 <sup>a</sup>

La media ± error estándar n=3. Letras diferentes por columna indican diferencias estadísticas según Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 5.2 Compuestos Bioactivos

### 5.2.1 Fenoles

En el contenido de fenoles totales se observaron diferencias significativas entre las variedades criollas y las nuevas variedades mejoradas (Figura 5). Las variedades de frijol criollas, 'Flor de Mayo Eugenia' y 'Flor de Junio Dalia' presentaron un mayor contenido de fenoles totales con valores de 2.54 y 2.47 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG/g PS) respectivamente. Estos valores son similares a lo reportado por Bedoya et al. (2022) en la variedad de frijol 'Petaco' (3.64 mg EAG/g PS,) y variedades 'Nayarit' y 'Comapa' (2.1 y 1.31 mg EAG/g PS).

Sin embargo, las variedades mejoradas VFH Y VFP presentaron una menor cantidad de fenoles, esto puede deberse a que los fenoles y proteínas provienen de rutas metabólicas que tienen en común a los aminoácidos aromáticos fenilalanina y tirosina (Akillioglu &

Karakaya, 2010; Bedoya et al., 2022). Estos aminoácidos se generan en la vía del ácido shikímico, no obstante, el cruzamiento genético empleado para la producción de estas variedades, propicia que el metabolismo de la planta se incline a favor de la síntesis de proteínas, generando menor disponibilidad de fenilalanina para ser incorporada en la vía de fenilpropanoides, repercutiendo directamente en la concentración de fenoles. Además, como la planta mantiene una preferencia por la síntesis de proteínas, ésta demanda una mayor cantidad de carbono y nitrógeno, disminuyendo su disponibilidad para la producción de fenoles (Campa et al., 2023; Zhu et al., 2024).

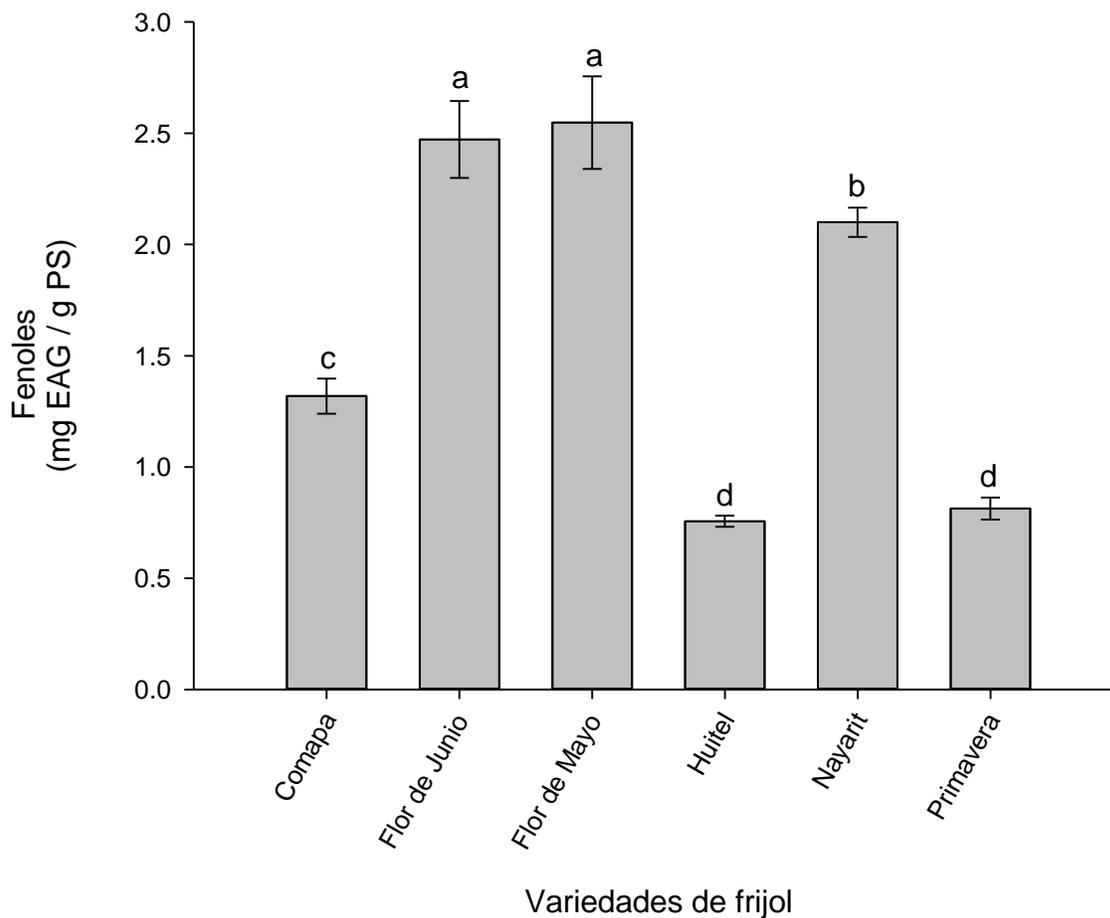


Figura 5. Contenido de fenoles totales de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 5.2.2 Flavonoides

Al igual que en la determinación de fenoles totales, las variedades de frijol criollo y las variedades de frijol mejoradas presentaron diferencias significativas en el contenido de flavonoides, exceptuando a la VFC, la cual mantuvo una concentración de flavonoides estadísticamente igual a la mostrada por VFH y VFP (Figura 6).

El mayor contenido de flavonoides se observó en las variedades de frijol criollas VFFM y VFFJ con valores de 27.03 mg EAG/g PS y 25.77 mg EAG/g PS, respectivamente, mientras que en las nuevas variedades de frijol VFH y VFP presentaron valores de 16.17 mg EAG/g PS y 15.97 mg EAG/g PS.

Basado en los resultados obtenidos, se determinó que el color del frijol puede ser una variable de influencia en el contenido de flavonoides, ya que los frijoles de color negro (VFP, VFC y VFSN) presentaron un menor contenido de flavonoides en relación con los frijoles de color blanco (VPH, VFFM y VFFJ). Al respecto, Rochín-Medina et al. (2021), encontraron un menor contenido de flavonoides en las variedades criollas de Frijol 'Bayo', Frijol 'Negro San Luis' y Frijol 'Japonés', mientras que Pérez-Pérez et al. (2020) encontraron un mayor contenido de flavonoides en los frijoles negros con respecto a los frijoles blancos, lo que demuestra que el color puede influir en el contenido de flavonoides, pero no es del todo determinante.

Por otro lado, Arya et al. (2024); Céspedes et al. (2016) y Jonfia-Essien et al. (2008), mencionan que las diferencias en el contenido de flavonoides entre los frijoles criollos y las variedades mejoradas de frijol se puede deber al vigor híbrido, es decir, las nuevas variedades mejoradas se enfocan en un mayor rendimiento, resistencia a enfermedades y aumento en la cantidad de proteína, lo cual hace que se disminuya la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, los cuales son necesarios para la producción de flavonoides.

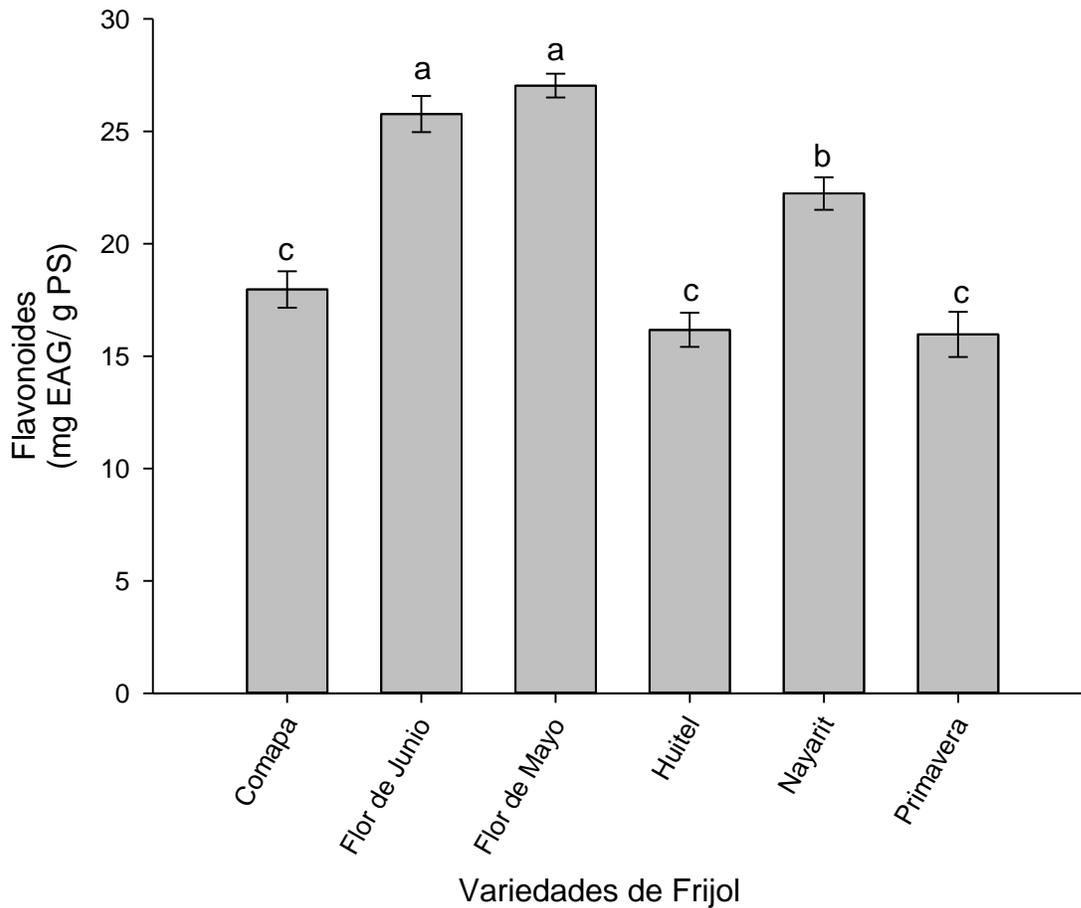


Figura 6. Contenido de flavonoides de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 5.2.3 Ácido ascórbico

Se observaron diferencias significativas en el contenido de ácido ascórbico entre las variedades criollas de frijol y las variedades de frijol mejoradas (Figura 7). El mayor contenido de ácido ascórbico se observó en las variedades criollas de frijol, siendo la VFC la que contenía una mayor concentración de ácido ascórbico (1.88 mg/g PS), seguida de la VFSN con 1.24 mg/g PS. En el caso de las nuevas variedades VFP y VFH, éstas presentaron un menor contenido de ácido ascórbico con valores de 0.13 y 0.03 mg/g PS.

Al respecto, Sikora & Świeca (2018) han demostrado que en el frijol variedad 'Mungo' se observó un contenido de ácido ascórbico de 0.10 mg/g PS, mientras que Chou et al. (2025) en el frijol variedad 'Rojo' encontraron un valor de 1.38 mg/g PS. Nahar et al. (2017) han discutido que estas diferencias pueden deberse a una menor respuesta al estrés provocado por altas temperaturas o sequía, por lo que la acumulación de ácido ascórbico es mínima. En este contexto, las nuevas variedades VFP y VFH al ser diseñadas para presentar una mejor adaptación a condiciones climatológicas adversas, la acumulación de ácido ascórbico es menor comparada con las variedades criollas que se ven afectadas por factores ambientales.

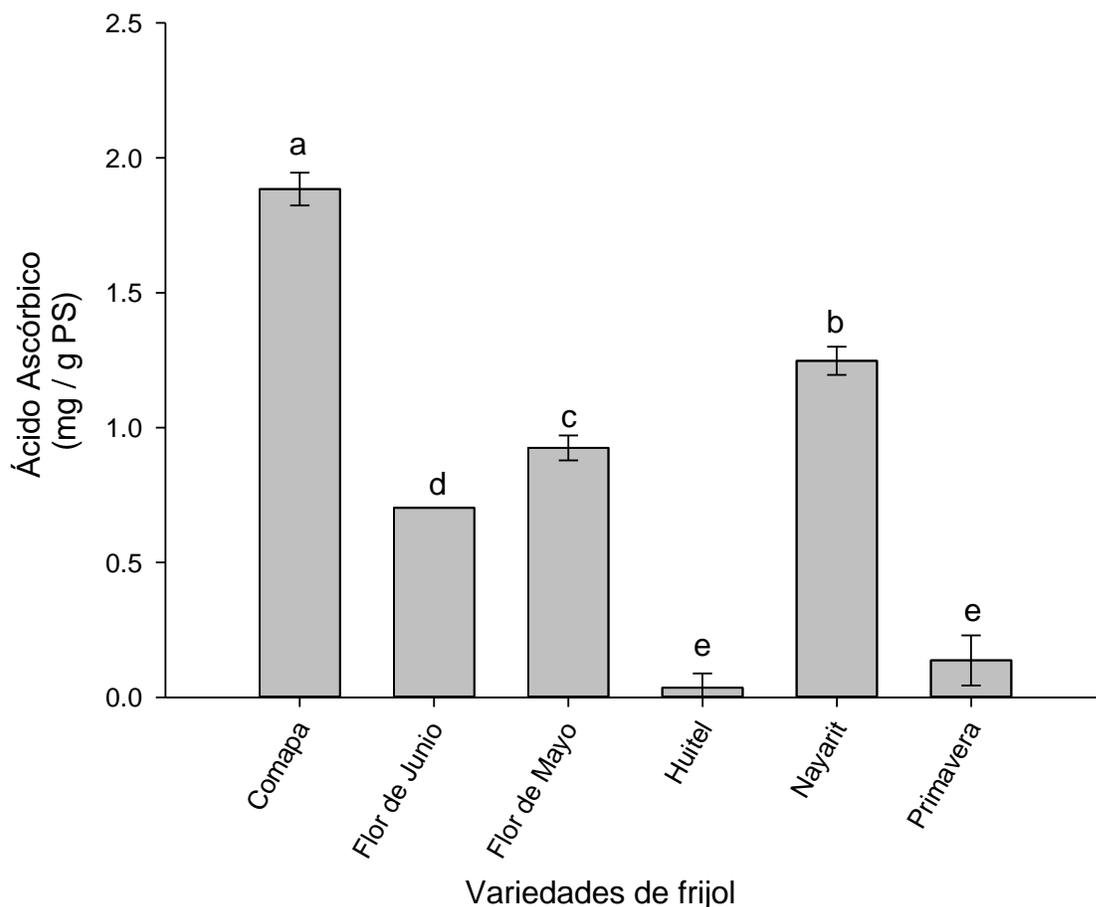


Figura 7. Contenido de Ácido Ascórbico de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en mg por gramo de peso seco. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 5.3 Actividad antioxidante *in vitro*

#### 5.3.1 ABTS<sup>•+</sup>

La actividad antioxidante por el radical ABTS<sup>•+</sup>, presentó diferencias significativas en las variedades de frijol criollo y las nuevas variedades de frijol generadas (Figura 8). Las VFFM y VFFJ fueron las que mostraron una mayor actividad antioxidante con una concentración  $\mu\text{M}$  equivalente de Trolox por gramo de harina de frijol de 40.36 y 39.59, respectivamente.

Por otro lado, las VFH y VFP fueron las que mostraron un menor efecto antioxidante con concentraciones de 13.89 y 15.36  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g, respectivamente. En estudios similares realizados por Silva et al. (2018) y Herrera-Hernández et al. (2018) se encontraron valores de 18.04  $\mu\text{M}$  eq. de Trolox/g en frijol 'Pinto' y de 15.23  $\mu\text{M}$  eq. de Trolox/g en frijol variedad 'Canario'. Las diferencias entre las nuevas variedades y las variedades criollas pueden estar relacionadas con la concentración de compuestos bioactivos como fenoles y flavonoides presentes en cada variedad analizada y que mantienen una capacidad de neutralizar radicales libres como el  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  (E. Flores et al., 2017).

Otro factor que influye en el decremento de la capacidad anti-radicalaria es el tiempo de almacenamiento, ya que ésta puede disminuir hasta en un 4% respecto a la concentración  $\mu\text{M}$  eq. de Trolox/g por cada 28 días que el frijol permanece almacenado (Balois-Morales et al., 2019).

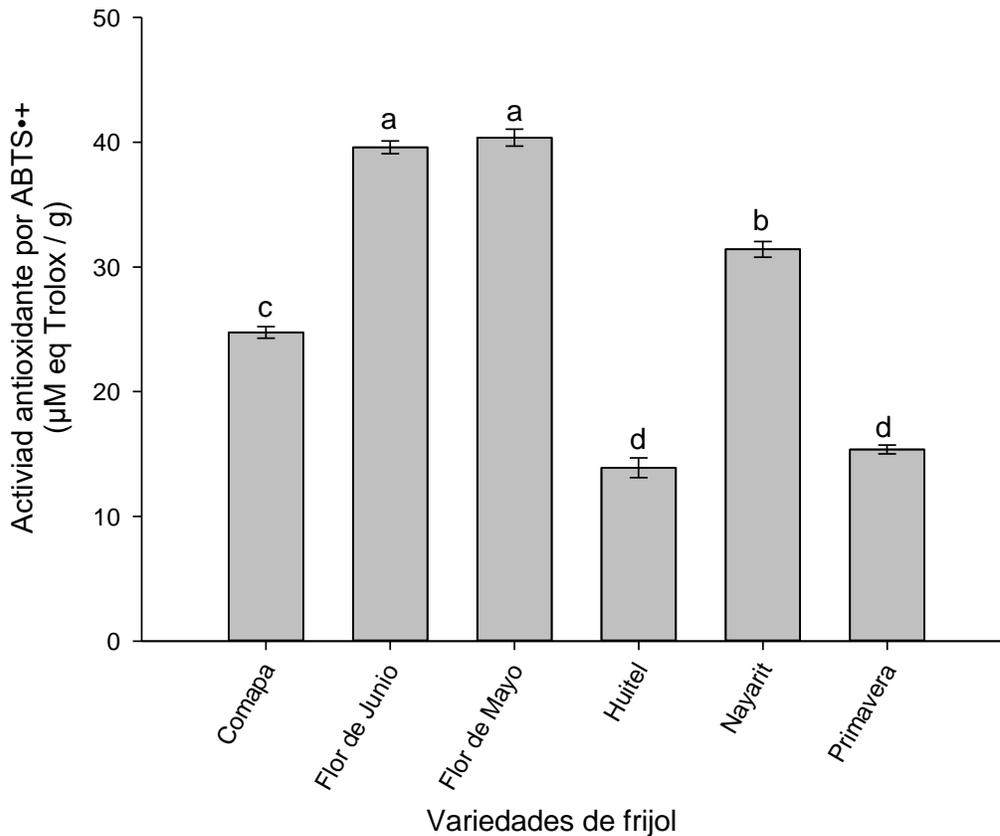


Figura 8. Actividad antioxidante por el método ABTS<sup>•+</sup> de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar (n=3) en  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 5.3.2 DPPH<sup>•</sup>

En la actividad antioxidante medida a través de la capacidad de estabilizar el radical DPPH<sup>•</sup> se observaron diferencias significativas entre las variedades de frijol criollas y las variedades mejoradas, con un comportamiento similar al previamente obtenido en el ensayo de ABTS<sup>•+</sup>. Las variedades de frijol criollas VFFM (21.46  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g) y VFFJ (21.26  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g) presentaron una mayor actividad antioxidante en comparación con las variedades mejoradas VFH (7.33  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g) y VFP (5.28  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g). Al respecto, Yang et al. (2018) reportan una actividad antioxidante de 32.03  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g para el frijol 'Bayo',

mientras que Aquino-Bolaños et al. (2016) reportaron en una nueva variedad de frijol 'Negro' valores de 7.63  $\mu\text{M}$  eq. Trolox/g. En este sentido, Bai et al., (2017) y Yang et al. (2020), han relacionado el perfil fitoquímico de cada variedad de frijol con la actividad antioxidante que este puede proporcionar, donde compuestos fenólicos, taninos, flavonoides y antocianinas son los responsables de esta bioactividad. Sin embargo, el radical DPPH  $\cdot$  mide la capacidad antioxidante de sustancias principalmente liposolubles, por lo que la concentración equivalente de Trolox fue menor a la encontrada en el ensayo con el radical ABTS $^{+\cdot}$ , donde es posible medir antioxidantes polares y de polaridad menor. Lo anterior sugiere que, en las variedades analizadas, hay una menor concentración de antioxidantes con características hidrofóbicas o de baja polaridad.

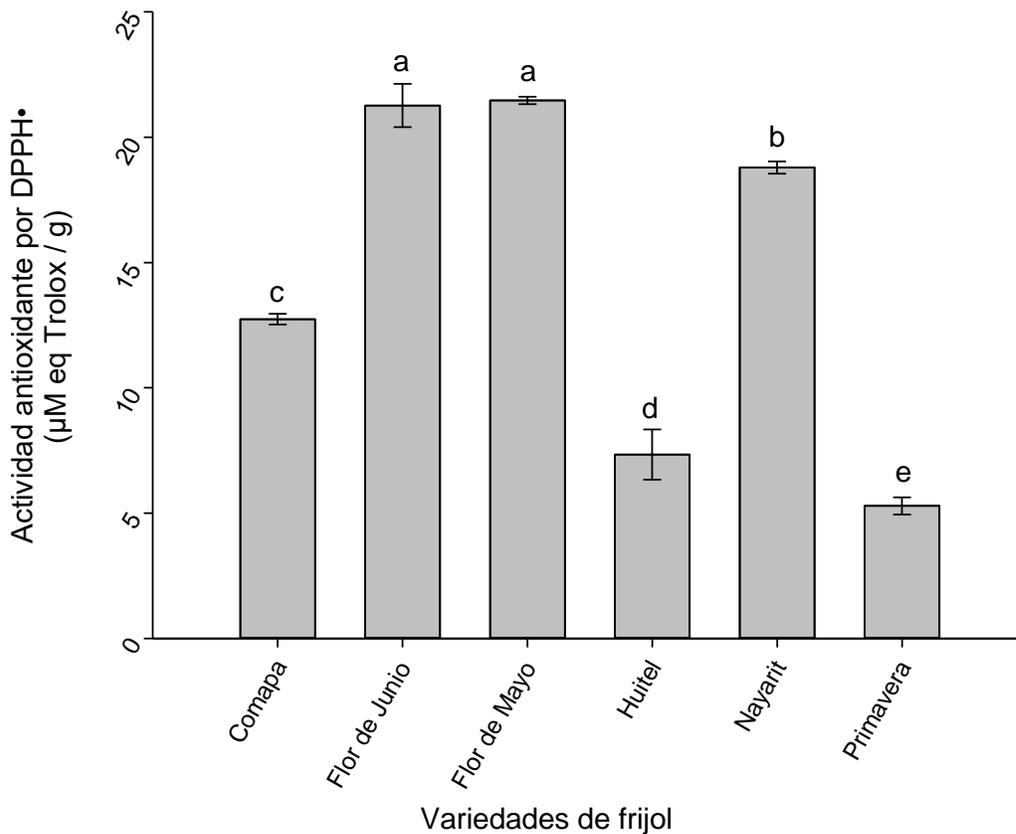


Figura 9. Actividad antioxidante por el método DPPH • de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 5.3.3 FRAP

Respecto a la actividad antioxidante por el método de FRAP, solo las variedades 'Flor de Junio', 'Nayarit' y 'Huitel 143' mostraron diferencias significativas (Figura 10). Las variedades de frijol criollas VFFJ y VFSN presentaron la mayor actividad antioxidante, además de que no exhibieron diferencias significativas entre ellas, teniendo valores de 4.76 y 4.57 mg eq. de Trolox/g, mientras que las variedades mejoradas VFH y VFP proporcionaron una menor actividad antioxidante respecto a las demás variedades (2.46 y 2.78 mg eq. de Trolox/g), sin mostrar diferencias significativas entre éstas. En este sentido,

Bedoya et al. (2022) encontraron una actividad antioxidante de 0.059 y 0.084 mg eq. de Trolox/g para el frijol 'Pinto Saltillo' y 'Peruano', respectivamente, lo que demuestra que todas las variedades analizadas en este estudio mantienen una mayor actividad reductora.

Por otro lado, las diferencias encontradas entre variedades criollas y mejoradas podrían estar asociadas con las modificaciones genéticas presentes en las nuevas variedades, las cuales son realizadas para generar una mayor producción y adaptación al clima, disminuyendo la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos con capacidad reductora. En caso contrario, los frijoles criollos almacenan una mayor concentración de compuestos antioxidantes para su defensa ante factores que limitan su crecimiento (Pérez-Perez et al., 2020; Ukom et al., 2024).

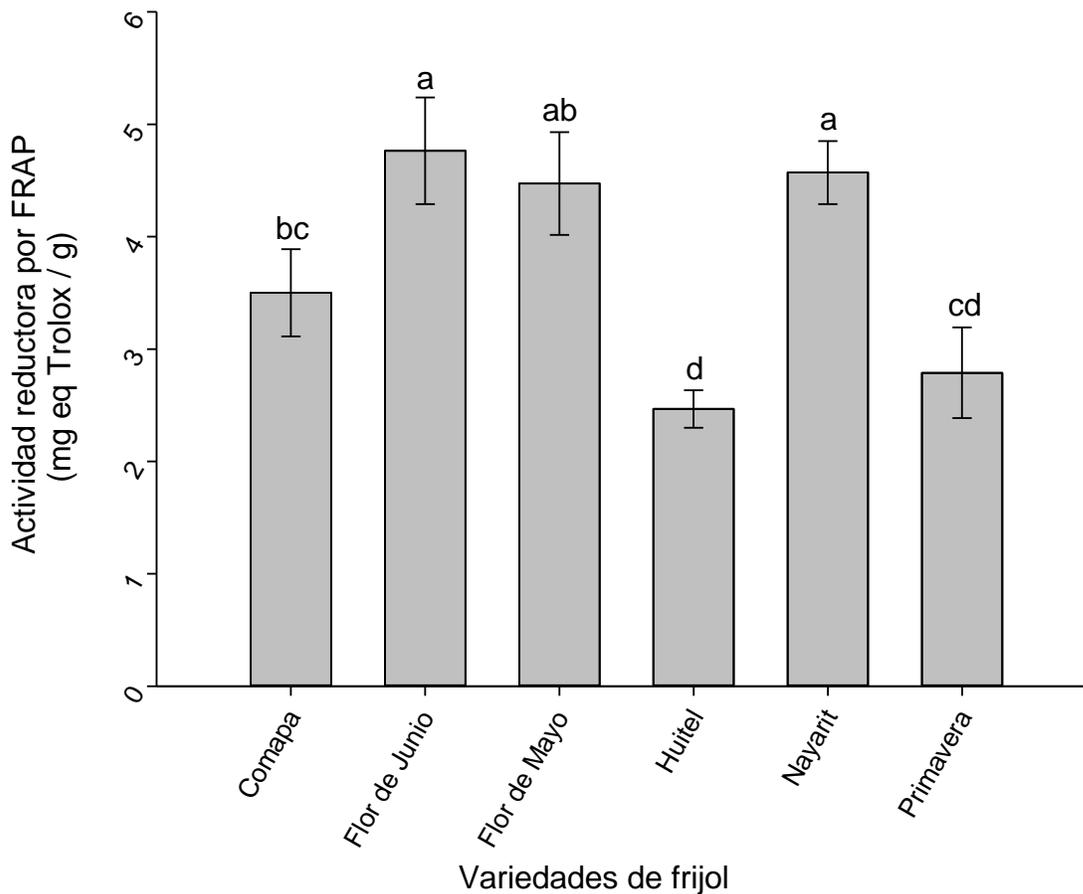


Figura 10. Actividad antioxidante por el método FRAP de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en mg equivalentes de Trolox por gramo de harina de frijol. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

## 6. Actividad antioxidante enzimática

### 6.1.1 Súper Oxido Dismutasa (SOD)

A diferencia de los ensayos de actividad antioxidante previamente realizados, donde las variedades criollas presentaron una mejor captación de radicales libres o actividad reductora, la actividad antioxidante enzimática medida como súper óxido dismutasa (SOD) mostró una tendencia contraria, al menos para la VFH, la cual mostró la mayor actividad SOD entre todas las variedades analizadas con 0.66 U SOD/mg proteína (Figura 11). En el caso de las

variedades criollas, destacaron las VFFJ y VFSN con 0.48 y 0.51 U SOD/mg proteína, respectivamente. Al respecto, Rosales et al. (2012) encontraron que la variedad de frijol 'Negro' exhibió 0.60 U SOD/mg proteína, actividad antioxidante similar a la encontrada en las variedades de frijol previamente mencionadas.

A pesar de que la VFH destacó sobre las variedades criollas, la VFP mantuvo un comportamiento similar al encontrado en los ensayos ABTS, DPPH y FRAP, presentando menor actividad antioxidante en comparación a las variedades criollas. Las diferencias mostradas por cada variedad podrían atribuirse a que las nuevas variedades son diseñadas principalmente para mejorar su resistencia al clima y en el caso de la VFP, estos cambios genéticos pudieron afectar la actividad SOD (Bailly et al., 2001).

Por otro lado, el cruzamiento de variedades propicia un fenómeno denominado heterosis, provocando que las generaciones sucesivas presenten mejores características para lo cual fueron mejoradas, lo que posiblemente influyó en la producción de enzimas antioxidantes (Chowdhury & Choudhuri, 1985; Weissman et al., 1984).

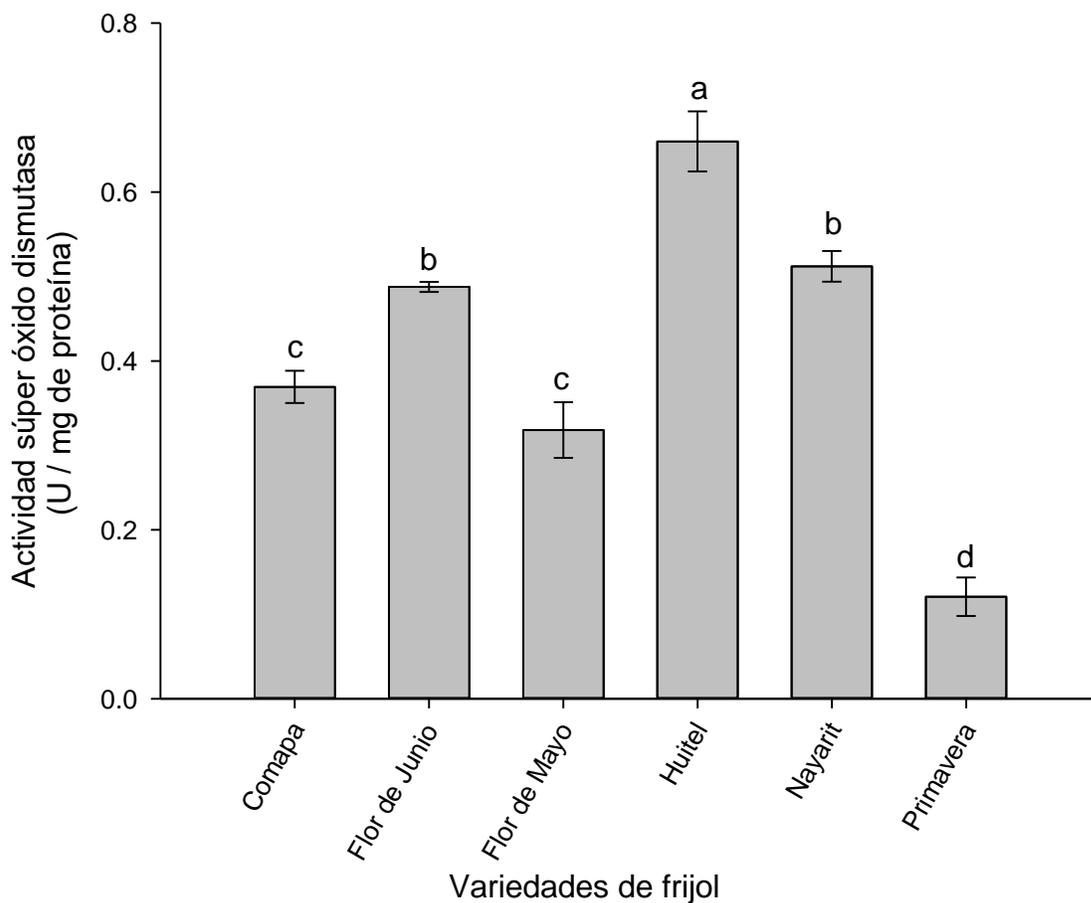


Figura 11. Actividad de la enzima SOD de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en unidades enzimáticas de SOD por mg de proteína. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.2 Enzima antioxidante Catalasa (CAT)

Al evaluar la actividad catalasa (CAT) de cada variedad de frijol, se observó nuevamente un mayor efecto antioxidante por parte de las variedades criollas con respecto a las variedades mejoradas. No obstante, una vez más destacó la actividad antioxidante enzimática de la VFH (Figura 12). La mayor actividad CAT se observó en las variedades de frijol criollas VFFM y VFC con valores de 2.09 y 1.77 U/mg de proteína, respectivamente, resultados comparables con los reportados por Fiaz et al. (2023) para la variedad 'Mungo', cuya actividad fue de 1.52 U/mg de proteína.

Por otro lado, la variedad mejorada de frijol 'Huitel' mantuvo una actividad de 1.71 U/mg de proteína, la cual fue equivalente a la exhibida por la VFC y significativamente diferente a las demás variedades de frijol. Sin embargo, la VFP fue nuevamente la variedad con menor efecto antioxidante (1.03 U/mg de proteína), actividad estadísticamente equivalente a la obtenida con la VFFJ (1.20 U/mg de proteína). Las diferencias en la actividad de CAT entre variedades criollas y variedades mejoradas pueden ser debidas al diseño genético de las nuevas variedades, cuyo principal objetivo está orientado a mejorar la adaptación a todos los tipos de clima (Fiaz et al., 2023).

Estas modificaciones originan que las nuevas variedades de frijol presenten menores niveles de estrés ante factores climatológicos y, en consecuencia, las rutas para la activación de antioxidantes se ven reducidas. Por el contrario, las variedades criollas presentan un mayor nivel de estrés ante cambios de temperatura, creando mecanismos de defensa contra el estrés oxidativo, lo que conlleva a la expresión de mayores niveles de catalasa con la finalidad de eliminar el peróxido de hidrógeno producido a causa de este estrés (Wu et al., 2025; Zhang et al., 2025).

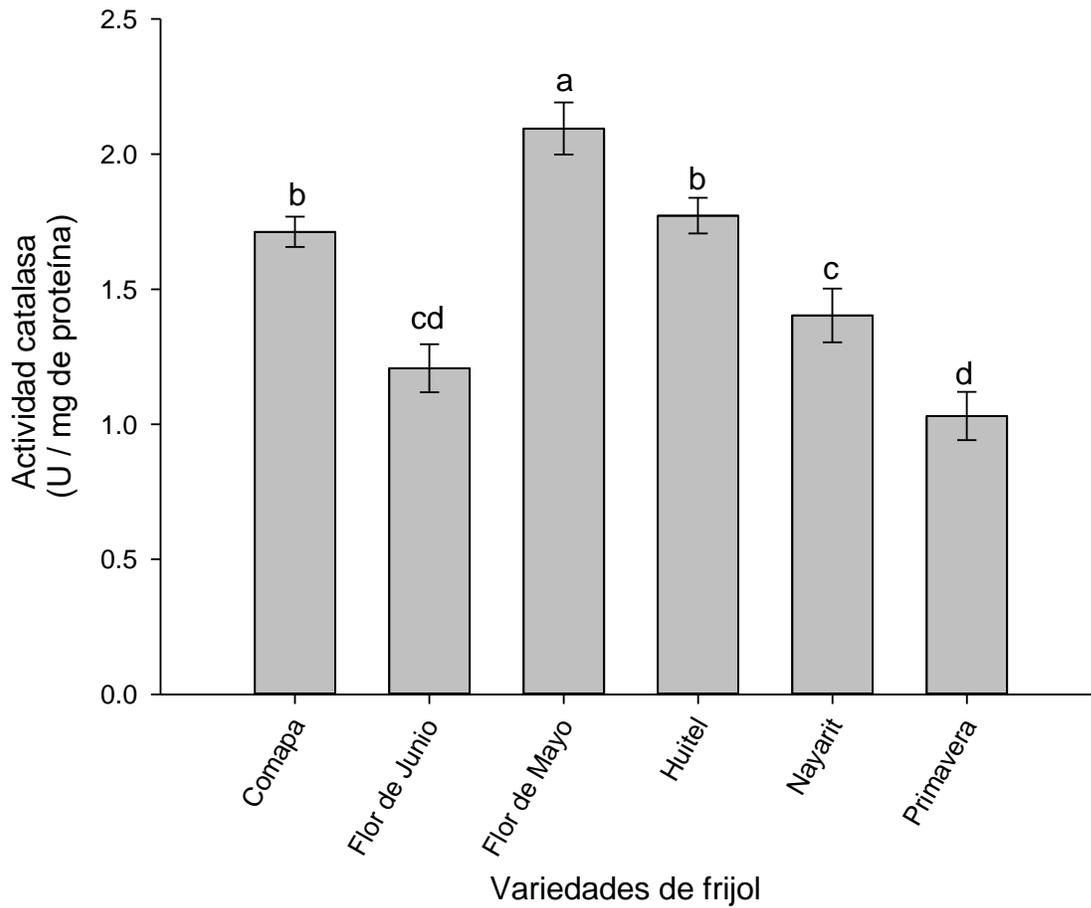


Figura 12. Actividad de la enzima CAT de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ) en unidades enzimáticas de CAT por mg de proteína. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.3 Enzima antioxidante ascorbato peroxidasa (APX)

En la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa (APX) se encontró una tendencia similar a las previamente observadas en los ensayos de SOD y CAT, donde las variedades de frijol criollas exhibieron mayor efecto antioxidante respecto a las variedades mejoradas. No obstante, en este caso, la VFP mantuvo una mejor actividad en comparación con la VFH (Figura 13).

La mayor actividad de la enzima APX se observó en la variedad de frijol criolla VFFM con un valor de 181.53 U/mg de proteína, seguida por la VFC con un valor de 107.33 U/mg de proteína, mientras que las variedades de frijol mejoradas VFP y VFH fueron las que presentaron la menor actividad de la enzima APX con valores de 30.45 y 10.85 U/mg de proteína, respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran en general, por encima de lo previamente obtenido por Herrera Flores et al. (2014) para la variedad de frijol 'Pinto Villa' (50.81 U/mg de proteína), especialmente para las variedades criollas con excepción de la VFFJ y las variedades mejoradas.

Las diferencias en la actividad de la enzima APX entre variedades criollas y nuevas variedades mejoradas de frijol pueden estar relacionadas con la selección genética y el estrés de la planta durante su desarrollo, como se ha discutido previamente. Aunque las variedades criollas y variedades mejoradas de frijol estuvieron bajo las mismas condiciones de cultivo, las variedades mejoradas presentan la ventaja de haber sido diseñadas para adaptarse a distintos tipos de clima, además de presentar una mayor resistencia a enfermedades; mientras que las variedades criollas al no poseer esa ventaja, se encuentran sometidas a un nivel de estrés mayor y expresan una concentración más alta de enzima APX (Iturbe-Ormaetxe et al., 1998).

Por otro lado, también se ha descrito la existencia de una correlación entre la actividad CAT y APX (Pompelli et al., 2010), donde al verse disminuida esta última, los niveles de CAT se incrementan como un mecanismo compensatorio, lo cual estaría relacionado con los resultados obtenidos principalmente en las variedades mejoradas y algunas criollas como la VFFJ y VFSN.

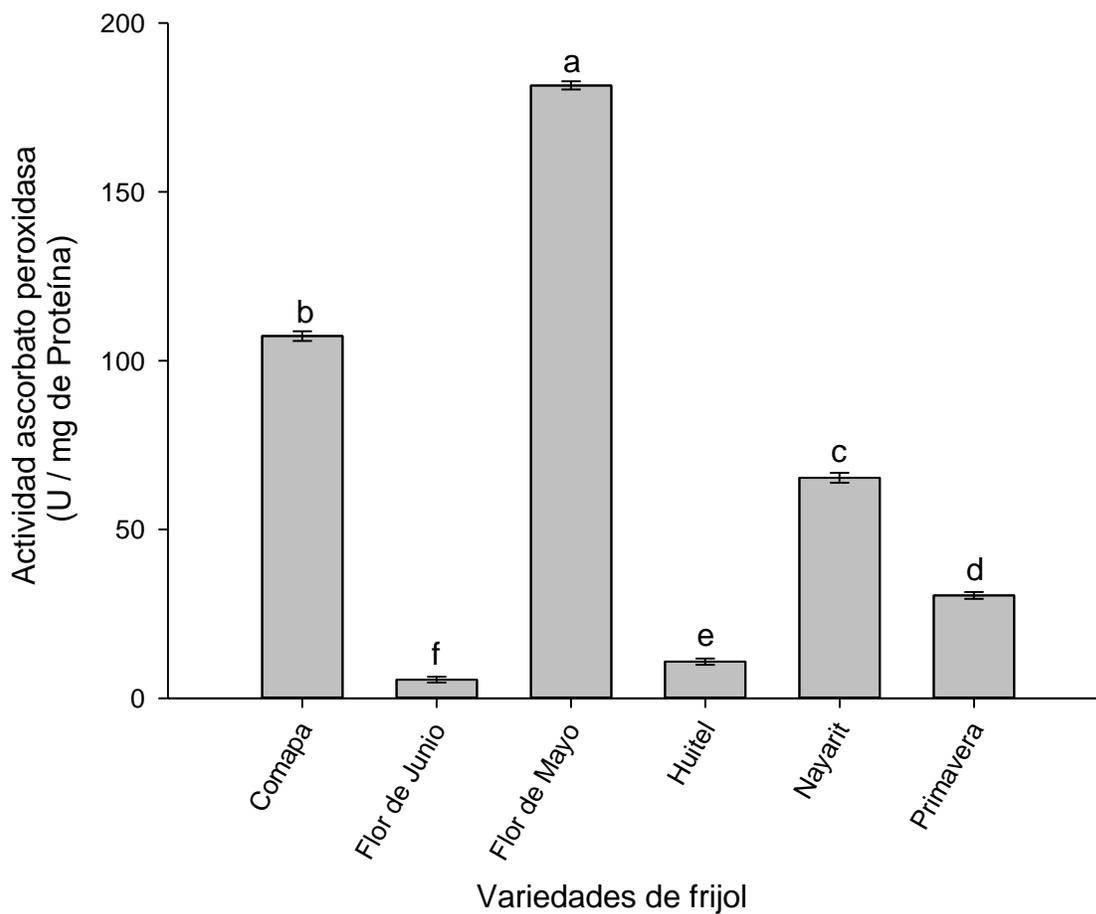


Figura 13. Actividad de la enzima ascorbato peroxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

#### 6.1.4 Enzima antioxidante guayacol peroxidasa (POD)

En la actividad de la enzima guayacol peroxidasa se encontraron diferencias significativas entre las variedades de frijol criollas y las nuevas variedades de frijol mejoradas (Figura 14), siendo la variedad de frijol criolla VFFM la que presentó la mayor actividad con 2401.91 U/mg de proteína, a diferencia de la nueva variedad mejorada VFP, con valor de 616.74 U/mg de proteína. En este sentido, Michalczyk et al. (2023) han reportado valores de 1690 U/mg de proteína en semilla de frijol variedad 'minor', actividad similar a la VFSN y superior respecto a la mayoría de las variedades analizadas. Estos autores hacen referencia a que una

de las principales características del frijol negro es el bajo contenido de POD, viabilidad y fenoles, además el deterioro de las semillas por la actividad de fenilalanina amoníaco-liasa es otro factor que afecta el contenido de POD.

Por otro lado, las diferencias entre todas las variedades de frijol evaluadas pueden estar relacionadas con el nivel de estrés que exhibe cada tipo de frijol a causa del cambio climático o los fertilizantes utilizados, ya que las nuevas variedades se encuentran diseñadas para adaptarse a todo tipo de clima, por lo que estas pudieron presentar un nivel de estrés menor respecto a las especies criollas, especialmente ante la presencia de peróxido de hidrógeno (Matłok et al., 2022).

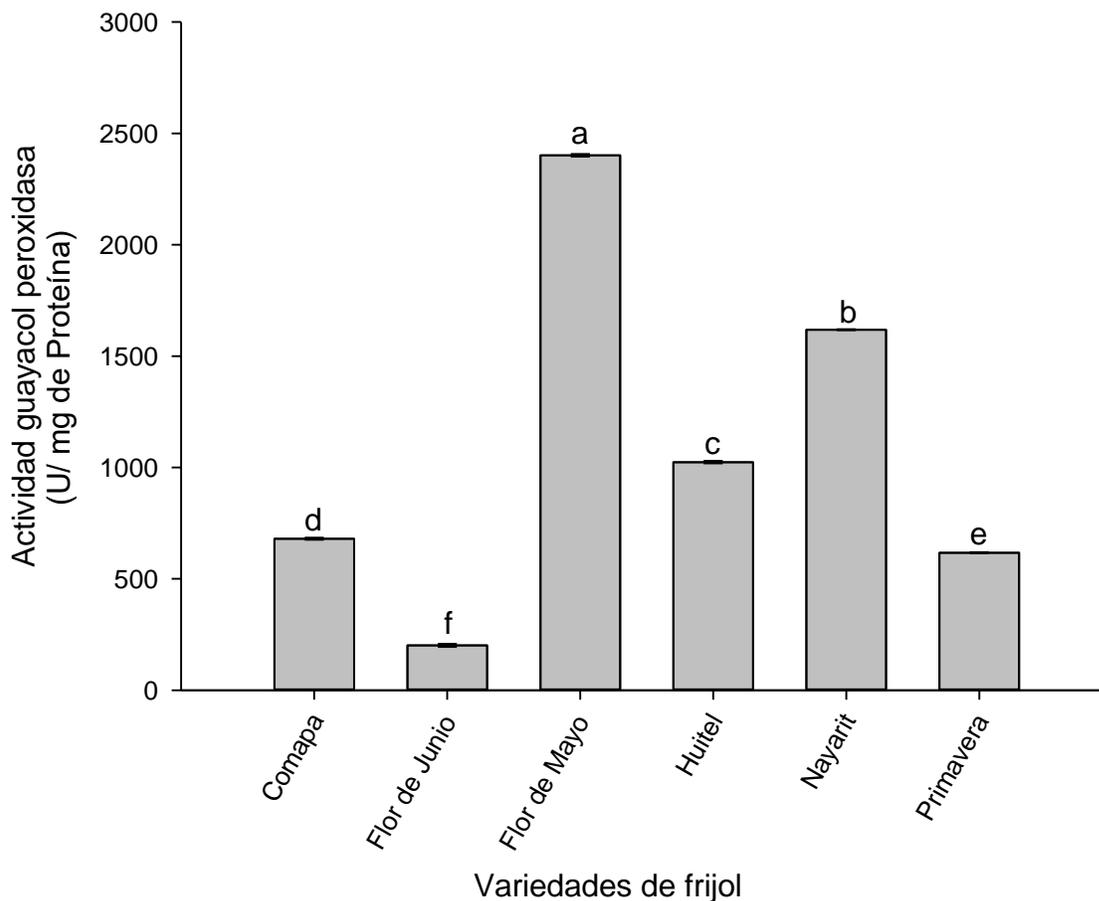


Figura 14. Actividad de la enzima Guayacol Peroxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.5 Actividad de la polifenol-oxidasa (PPO)

En la actividad de la enzima polifenol oxidasa se encontraron diferencias significativas en las variedades de frijol criollas y las nuevas variedades de frijol mejoradas (Figura 15). La VFFM mostró la mayor actividad equivalente a 0.294 U/mg de proteína, a diferencia de la nueva variedad mejorada VFP con valor de 0.11 U/mg de proteína. En este contexto, Siddiq et al. (2010) encontraron que una nueva variedad de frijol 'Pinto' mostró una actividad de 0.029 U/mg de proteína. Dichos autores mencionan que el principal objetivo de las nuevas variedades está enfocado en el rendimiento, por lo que puede existir una reducción en la

actividad de ciertas enzimas, entre ellas la PPO. Adicionalmente, una mayor actividad de esta enzima puede relacionarse con un pardeamiento involuntario durante el almacenamiento de la semilla, donde este oscurecimiento afecta de manera visual al producto, disminuyendo su valor comercial y aceptación por parte del consumidor. Ante esto, los resultados sugieren que el mejoramiento genético ayudó a reducir la actividad de la PPO para conservar el color original del grano (Marles et al., 2008).

En el caso de las variedades de frijol criollas, una mayor actividad de PPO puede ser asociada con el contenido de polifenoles presente en estas variedades, además de un incremento en el sistema de defensa de la planta ante el estrés biótico y abiótico. Por lo anterior, las diferencias encontradas entre las variedades de frijol criollas y mejoradas pueden ser debidas a fenómenos de oscurecimiento post-cosecha y mecanismos de respuesta al estrés ambiental (Vámos-Vigyázó & Haard, 1981).

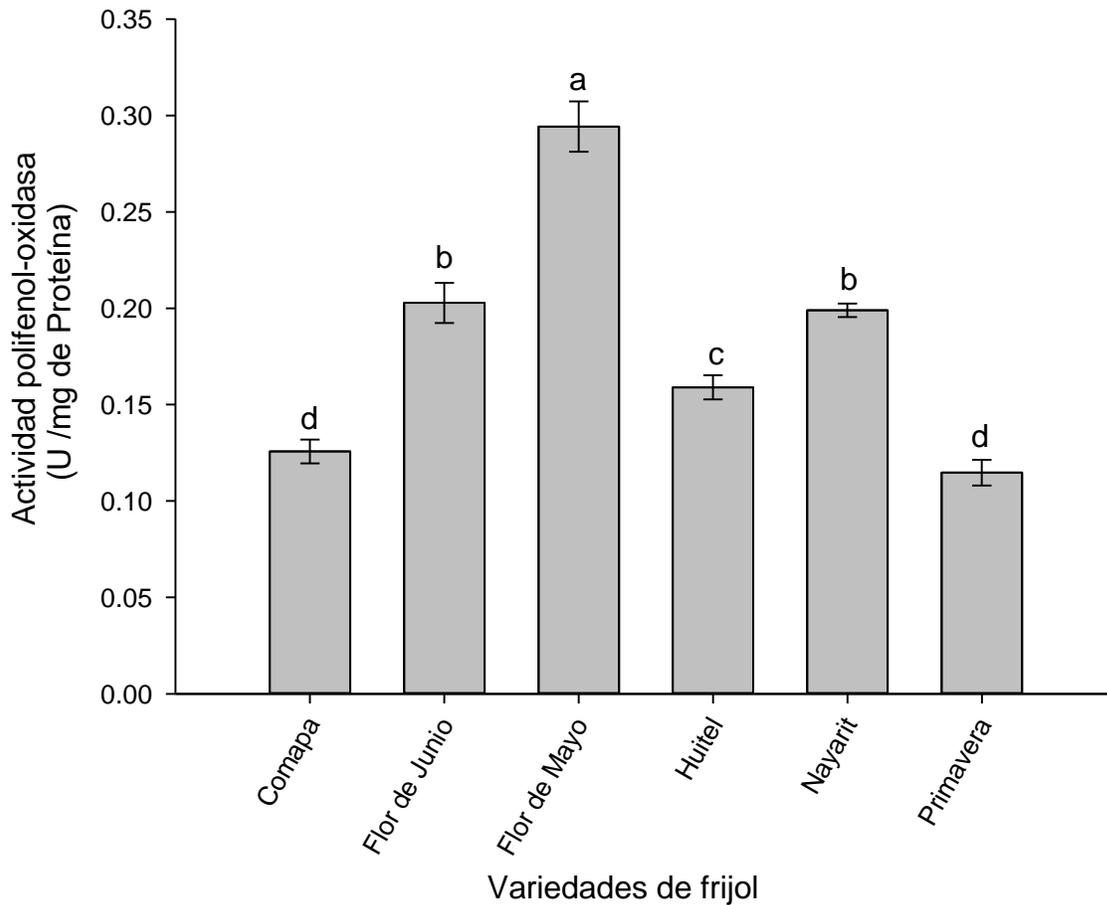


Figura 15. Actividad de la enzima polifenol-oxidasa de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.6 Peróxido de hidrógeno

Se evaluó la concentración de peróxido de hidrógeno, donde se encontraron diferencias significativas en las variedades de frijol criollas y mejoradas (Figura 16). La variedad criolla VFC exhibió la mayor concentración con 442.92 nmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g, mientras que las nuevas variedades de frijol VFP y VFH presentaron bajos niveles de peróxido de hidrógeno con valores de 90.61 y 116.00 nmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g.

Las diferencias encontradas entre las variedades criollas y mejoradas estarían ligadas con el mejoramiento genético como ha podido ser comprobado en análisis previos, una vez que el objetivo principal en la hibridación de las variedades mejoradas es disminuir la acumulación de especies reactivas de oxígeno, lo cual reduce la producción de  $H_2O_2$  como subproducto de metabolismo oxidativo y que es considerado un componente dañino para la planta (Mittler, 2017).

De hecho, los resultados previamente obtenidos para la actividad guayacol peroxidasa se encuentran relacionados con la menor cantidad de peróxido encontrada, puesto que esta enzima es la encargada de eliminar el peróxido generado a partir de su reducción (Michalczyk et al., 2023). En el mismo sentido, las variedades de frijol mejoradas presentan una mayor eficiencia de sistemas antioxidantes enzimáticos como CAT y APX, los cuales igualmente promueven la descomposición del  $H_2O_2$ , evitando así, su acumulación en tejidos vegetales y propiciando un menor daño celular (Hasanuzzaman et al., 2020).

Por otro lado, los niveles de peróxido de hidrógeno mostrados también pueden ser asociados con la alta cantidad de fenoles y flavonoides encontrados en algunas variedades criollas, ya que estos compuestos, además de ser antioxidantes, pueden exhibir un fenómeno de pro-oxidación, lo que propicia el incremento de especies reactivas de oxígeno, incluido el  $H_2O_2$ . Adicionalmente, las especies criollas suelen ser más susceptibles a enfermedades, sin embargo, durante su evolución han desarrollado mecanismos de defensa, en los que se involucra la presencia de peróxido de hidrógeno, mientras que en las especies mejoradas esta respuesta se ve disminuida (Abass & Mohamed, 2011).

Finalmente, al comparar la concentración de peróxido de hidrógeno obtenida tanto en las variedades criollas como mejoradas con otras diferentes como la 'fava', la cual exhibió una

concentración de 73.4 nmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/g (Bartosz et al., 2022). Se determinó que la variedad 'fava' mantiene un nivel menor de estrés ante condiciones ambientales, incluso por debajo del presentado por las VFH y VFP.

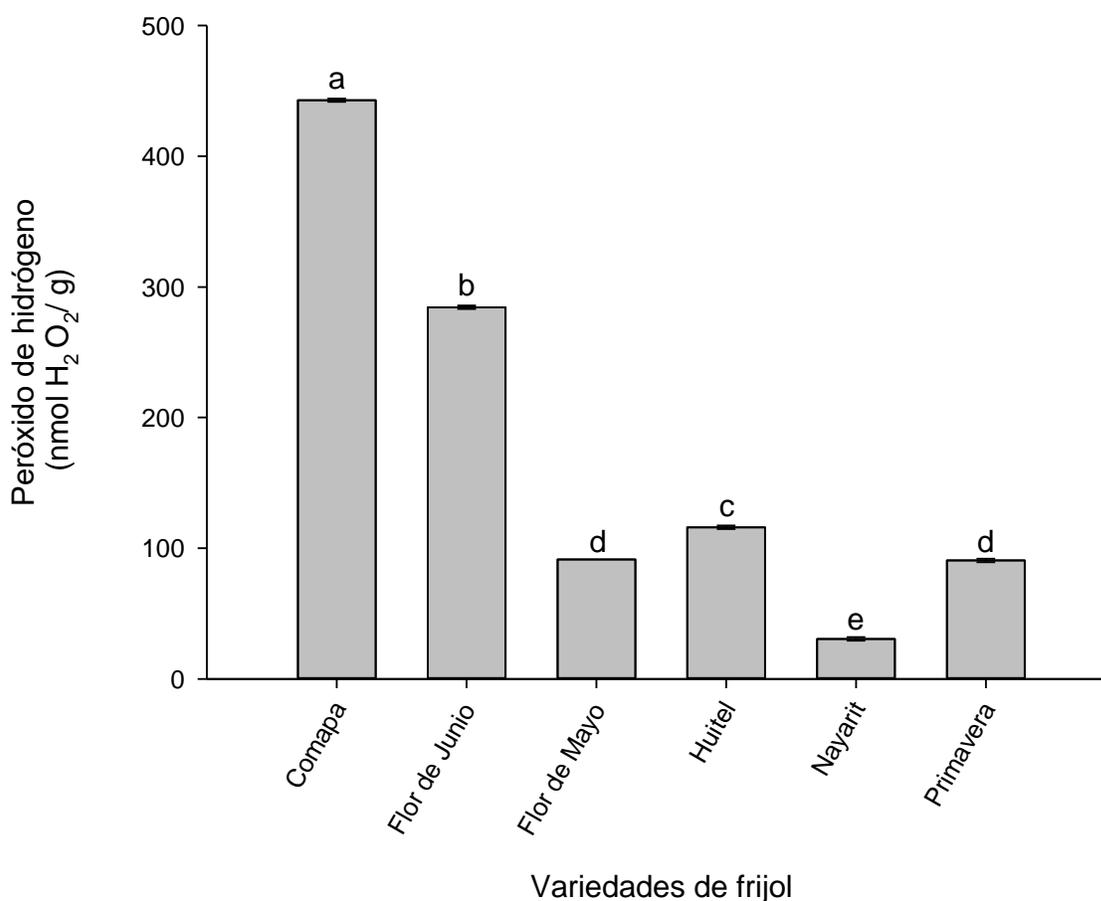


Figura 16. Actividad de peróxido de hidrógeno de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.7 Peroxidación lipídica

En el caso de la actividad contra la peroxidación lipídica, se encontraron diferencias significativas solamente entre las variedades de frijol mejoradas y las criollas VFC y VFSN (Figura 17). La peroxidación lipídica es un proceso oxidativo que puede ser medido a través

de la concentración de malondialdehído (MDA), entre mayor sea esta concentración, el efecto antioxidante es menor. En este sentido, la VFC presentó la mayor peroxidación lipídica (28.16 mM MDA/g), seguida de la VFSN (19.65 mM MDA/g), indicando que estas dos variedades de frijol mantienen la menor actividad antioxidante.

Por el contrario, las variedades mejoradas destacaron por su poder antioxidante, al obtener concentraciones de MDA equivalentes a 12.05 y 15.25 mM MDA/g para la VFH y la VFP, respectivamente. Estas concentraciones no mostraron diferencias significativas con aquellas encontradas en las variedades criollas VFFJ y VFFM, además de ser similares a las encontradas por Zhang et al. (2025) para el frijol 'Mungo' (12.36 mM MDA/g).

La capacidad antioxidante encontrada en las variedades mejoradas 'Huitel 143' y 'Primavera 28' se puede atribuir a múltiples factores, uno de ellos es la coloración oscura de la semilla, ya que se ha descrito una relación entre este color y la presencia de antioxidantes que estabilizan los lípidos de la membrana celular (Lin et al., 2019). Además, la presencia de compuestos fenólicos y una actividad SOD y CAT alta contribuyen a la captación de radicales libres y una menor producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), evitando así la peroxidación lipídica (Chaoui et al., 1997; Pérez et al., 2008).

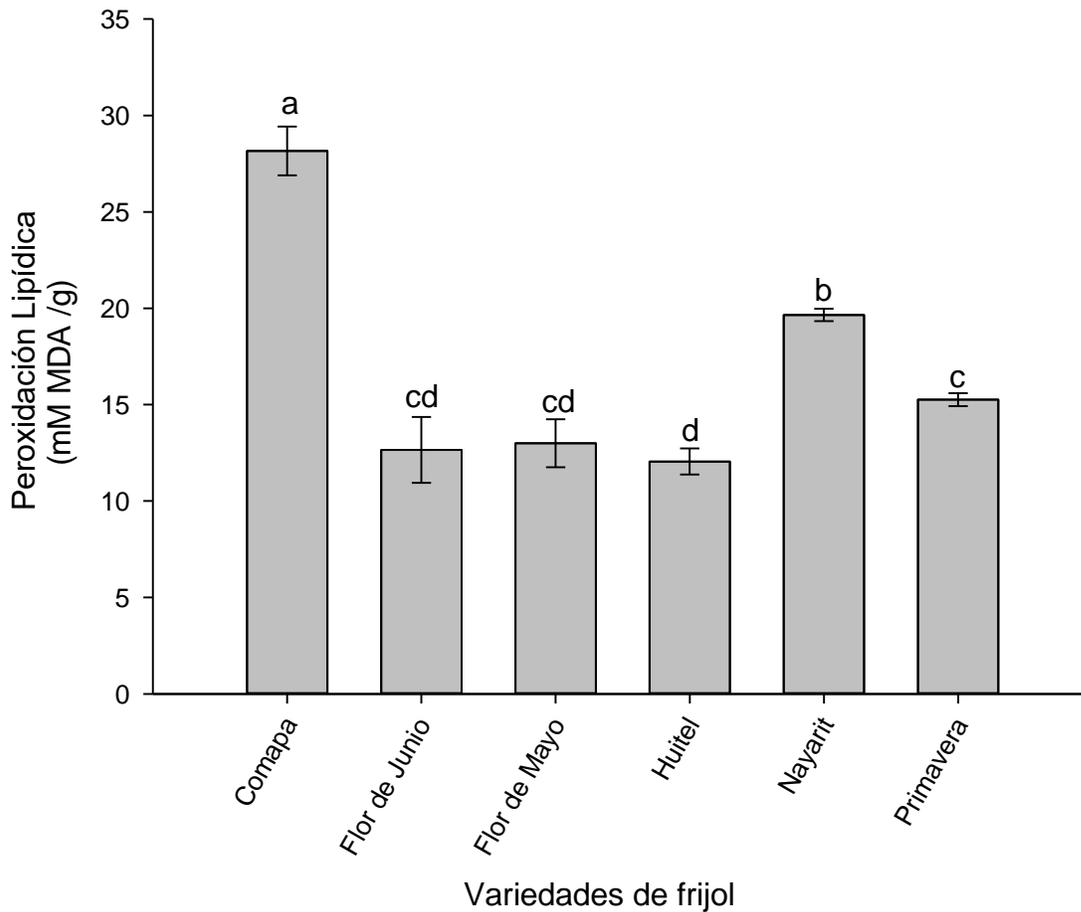


Figura 17. Peroxidación lipídica encontrada en cada una de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.8 Solubilidad Proteína en grano de frijol por método Bradford

En el porcentaje de solubilidad proteica se encontraron algunas diferencias significativas en las variedades de frijol criollas y las nuevas variedades de frijol mejoradas, siendo las variedades criollas las que exhibieron una mayor solubilidad de proteína. En este sentido, la VFC mostró un 46.23% de proteína soluble, mientras que la VFFJ del 41.58%, en contraparte, las variedades mejoradas presentaron la menor solubilidad con valores del 32.14% y 28.68% para la VFH y VFP, respectivamente. (Figura 18). Al respecto, Montoya

et al. (2008) reportan una solubilidad del 50% para el frijol común '*Phaseolus vulgaris*', mientras que Amat et al. (2024) encontraron un 55% de proteína soluble en el frijol 'Bayo', resultados ligeramente superiores a los encontrados en las variedades criollas.

Las diferencias encontradas pueden ser atribuibles al tipo de proteína predominante en cada variedad de frijol y sus consecuentes propiedades de solubilidad. De acuerdo con Osborne (1907) y Guerrero et al. (2024), el frijol puede contar con globulinas (parcialmente insolubles en agua y mayormente solubles en soluciones salinas), albúminas (solubles en agua), prolaminas (insolubles en agua y en soluciones salinas, pero solubles en soluciones etanólicas) y glutelinas (solubles en soluciones ácidas).

Cada una de éstas mantiene características estructurales y de interacción que gobiernan su solubilidad, por ejemplo, las proteínas pueden tener características hidrofóbicas, propiciando interacciones proteína-proteína que disminuyen su solubilidad o iónicas, las cuales exhiben mayores interacciones proteína-agua, originando un aumento de su solubilidad (Nguí et al., 2021). Sin embargo, no existe una relación directa entre la cantidad de proteína y su solubilidad, ya que diversos factores como su peso molecular, los aminoácidos presentes y el pH del medio de disolución pueden modificar esta propiedad (Ulloa et al. 2011).

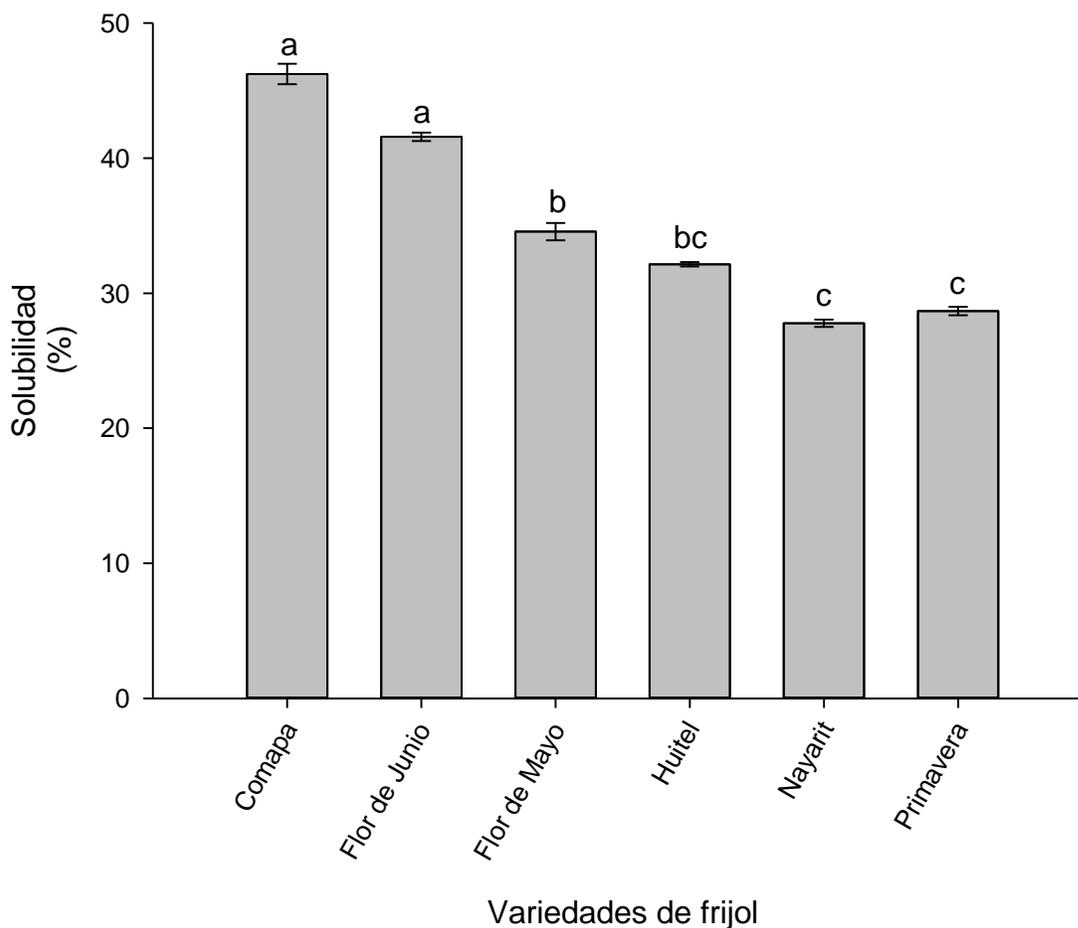


Figura 18. Porcentaje de proteína soluble determinada por el método Bradford de las variedades de frijol criollas y variedades mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.1.9 Proteína en grano de frijol por método de Biuret

Se analizó la cantidad de proteína en solución tanto de las variedades de frijol criollas como mejoradas, encontrando diferencias significativas en todos los tipos de frijol (Figura 19). La variedad con la mayor cantidad de proteína fue la VFP con un valor de 132.45 mg de albúmina/g, seguida de la variedad de frijol criolla VFC con 113.63 mg de albúmina/g, mientras que la variedad con menor cantidad fue la criolla VFFM con 70.36 mg de

albúmina/g. Los valores obtenidos son ligeramente mayores que los reportados por Ramos et al. (2024) para el frijol variedad 'Blanco' (91.94 mg de albúmina/g) y por Boora & Gupta (2024) para el frijol 'Negro' (125.03 mg de albúmina/g). Estas diferencias pueden deberse a la genética de cada variedad de frijol, además de la edad de este y de su tiempo de almacenamiento. Este último factor disminuye la solubilidad de la proteína debido a los cambios estructurales propiciados por las condiciones de temperatura y humedad en las que se lleva a cabo, causando interacciones entre aminoácidos, compuestos fenólicos, posible desnaturalización de algunas proteínas e incluso disminución de la digestibilidad, alterando la cocción del frijol (León et al., 1990).

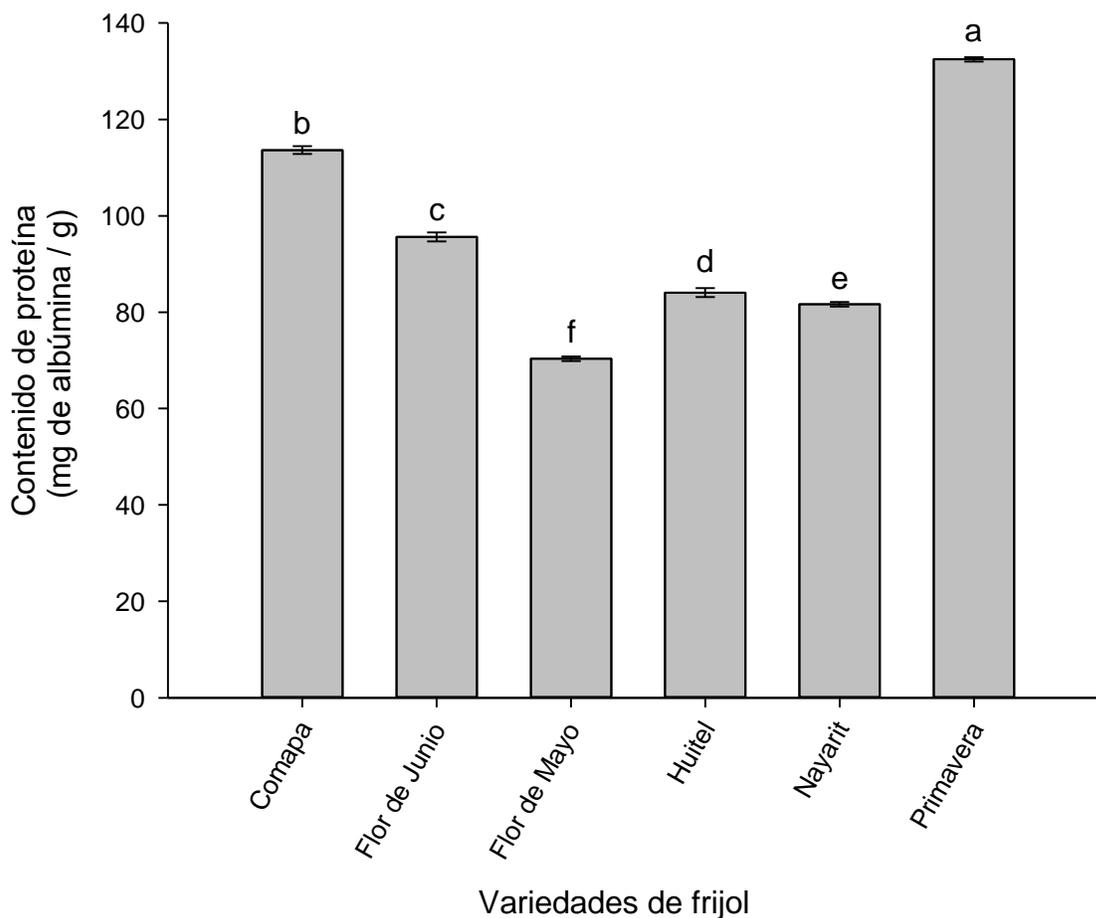


Figura 19. Contenido de proteína por método de Biuret en variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

## 6.2 Aminos libres

Se analizó la concentración de grupos amino libres como indicador del grado de hidrólisis y liberación de péptidos, cuyos resultados se muestran en la Figura 20. Las dos variedades mejoradas de frijol presentaron un mayor contenido de aminos libres respecto a las variedades criollas, donde la VFP destacó por ser la variedad con la concentración más alta (9.38 mg  $\text{NH}_2/\text{g}$  de harina), seguida de la VFH con un valor de 6.26 mg  $\text{NH}_2/\text{g}$  de harina. En comparación, la variedad de frijol criolla con mayor concentración fue la VFFM con un valor

de 6.46 mg NH<sub>2</sub>/g de harina, la cual fue equivalente a la encontrada en la VFH, mientras que las demás variedades criollas presentaron resultados similares, con concentraciones alrededor de los 4 mg NH<sub>2</sub>/g de harina.

Las diferencias encontradas son atribuibles a factores genéticos como la variedad de frijol y factores ambientales que influyen en el perfil de aminoácidos de cada una de estas. Adicionalmente, el grado de fraccionamiento proteico es propiciado por procesos fisiológicos intrínsecos del grano, donde concentraciones más altas de grupos aminos libres se encuentran ligadas a una mayor liberación de péptidos y aminoácidos (Boye et al., 2010).

De acuerdo a Milián et al. (2017), la acumulación de aminoácidos en semillas de leguminosas se puede relacionar con el metabolismo del nitrógeno durante el desarrollo y maduración del grano, en especial en leguminosas mejoradas, las cuales son modificadas con la finalidad de aumentar su rendimiento y contenido de proteína. En este sentido, la mayor concentración de aminos libres en las variedades nuevas puede deberse a una mayor actividad enzimática por parte de proteasas que catalizan la hidrólisis de proteínas de reserva durante el desarrollo del grano y su almacenamiento (Bellon et al., 2009).

Una de las ventajas que presentan las variedades mejoradas es que su metabolismo de nitrógeno se ve potenciado, ya que, al presentar una mayor cantidad de aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular, estos son transportados y absorbidos de manera rápida, por lo que la síntesis de proteínas se ve eficientizada, promoviendo un ahorro energético. Además, se incrementan expresiones metabólicas y fisiológicas relacionadas con el crecimiento y la defensa de la planta, lo que reduce enfermedades y daños por estrés, mejorando así, la formación de los frutos y el rendimiento de los cultivos (Guerrero & Varela, 2006).

Finalmente, al no presentarse otro mecanismo que hidrolice la proteína como es el caso de la germinación o fermentación, es posible asumir que el metabolismo propio del grano fue el principal responsable la acumulación de péptidos de bajo peso molecular y aminoácidos, los cuales pueden ejercer efectos biológicos como actividad antioxidante, antihipertensiva o hipocolesterolemia (Duranti, 2006; Silva-Sánchez et al., 2008).

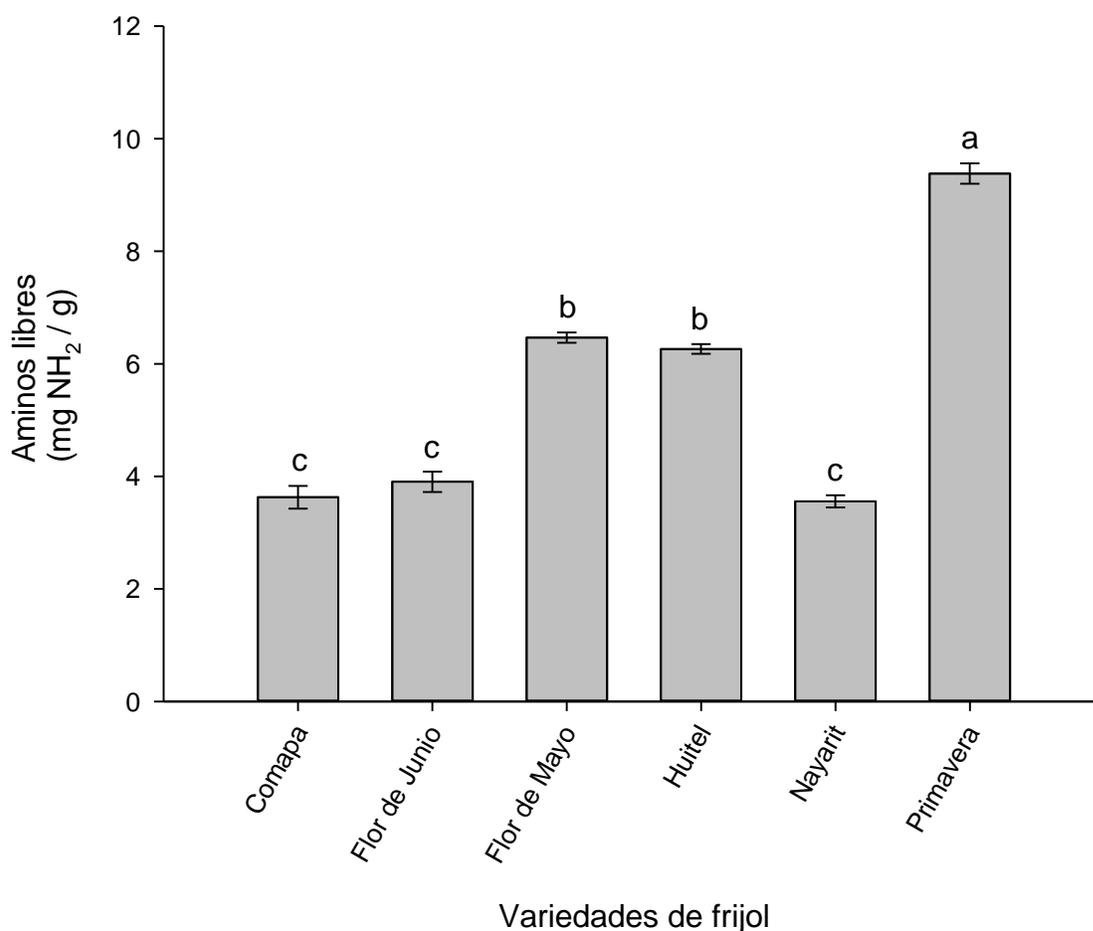


Figura 20. Contenido de grupos amino libres en variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

### **6.2.1 Perfil electroforético en grano de frijol.**

Respecto al análisis electroforético del tipo de proteínas presentes en cada variedad de frijol (Figura 21 y Figura 22), se encontró una mayor presencia de prolaminas (P.M.<10 kDa), con excepción de la VFH. Así mismo, las albúminas con peso molecular de entre 10 y 50 kDa, tuvieron una marcada abundancia, especialmente en la VFH. Así, estas dos fracciones proteicas fueron las principales en las variedades de frijol criollas en comparación con las variedades de frijol mejoradas. Lo anteriormente encontrado podría relacionarse con la mayor diversidad de proteínas solubles que normalmente presentan los frijoles criollos y que previamente fue demostrado en el análisis de solubilidad por el método Bradford.

Diversos estudios han demostrado que las albúminas por su solubilidad y secuencias pépticas son una fuente importante de péptidos con actividad antihipertensiva, específicamente para la inhibición de la ECA (Mojica et al., 2017), mientras que aunque las prolaminas han sido poco estudiadas en leguminosas, algunas investigaciones señalan que ciertos péptidos derivados de estas fracciones podrían poseer propiedades funcionales complementarias, incluyendo actividad antioxidante e inhibición de ECA (Udenigwe & Aluko, 2012). En este sentido, la mayor producción de prolaminas y albúminas en las variedades criollas podría representar una ventaja nutricional y funcional.

Por otro lado, las globulinas y glutelinas se encontraron en menor proporción tanto en variedades criollas como mejoradas. En el caso de las globulinas, su abundancia osciló entre el 20% y el 30% para las variedades criollas y del 17% al 27% para las variedades mejoradas. Mientras que las glutelinas tuvieron una abundancia entre el 7% y el 14% para variedades criollas y del 13% al 25% para variedades mejoradas. Lo anterior puede atribuirse a que, en el frijol, la presencia de globulinas puede afectarse por el genotipo y factores ambientales

(Admassu et al., 2018). Mientras que, en el caso de las glutelinas, éstas son proteínas menos solubles y que además presentan una mayor abundancia en cereales que en leguminosas, además de que su menor contenido se encuentra relacionado con el estado de desarrollo de la semilla (Barac et al., 2010).

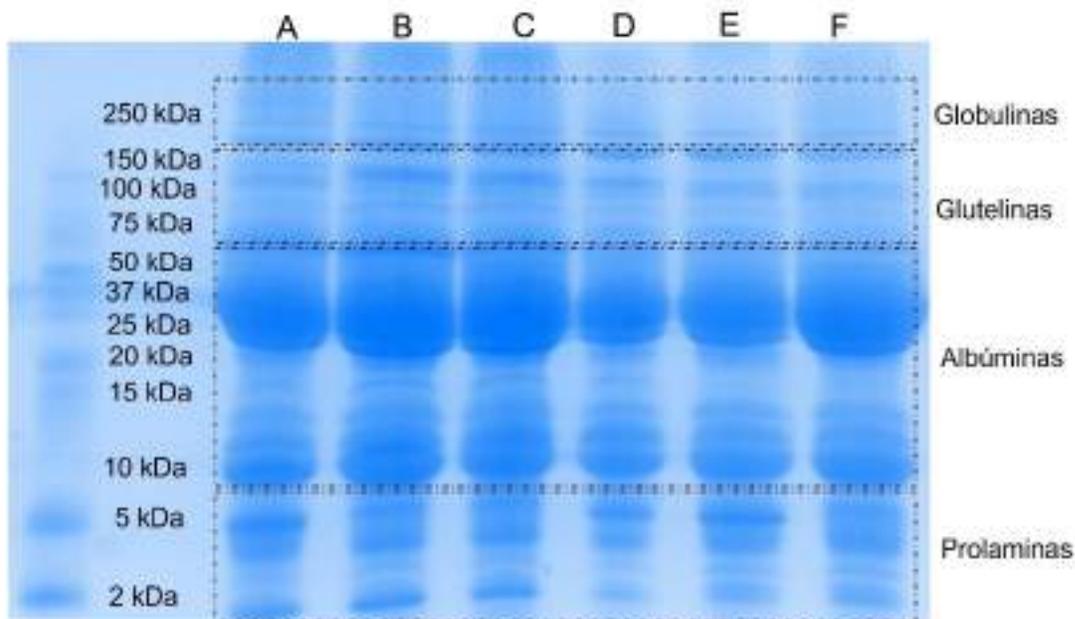


Figura 21. Perfil electroforético de variedades de frijol mejoradas: A) 'Huitel 143', B) 'Primavera 28' y criollas, C) 'Comapa', D) 'Flor de Junio', E) 'Nayarit', F) 'Flor de Mayo'.

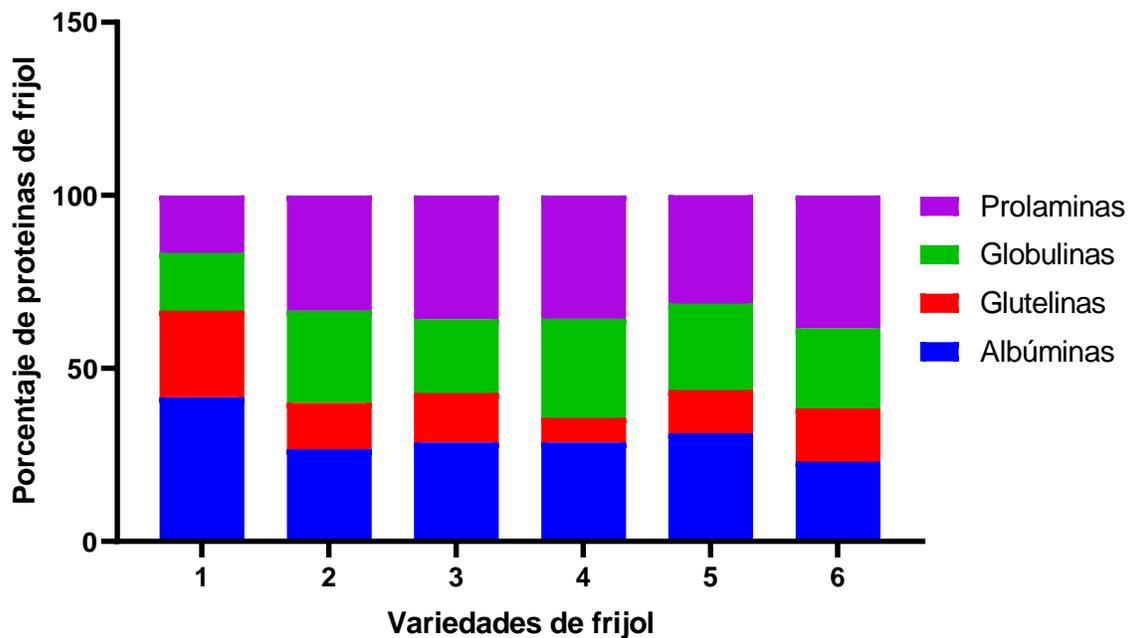


Figura 22. Porcentaje de proteínas de frijol de variedades mejoradas: 1) 'Huitel 143', 2) 'Primavera 28' y criollas, 3) 'Comapa', 4) 'Flor de Junio', 5) 'Nayarit', 6) 'Flor de Mayo'.

### 6.2.2 Actividad Antihipertensiva

Se analizó la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (IECA) (Figura 23), encontrando que las variedades de frijol mejoradas son las que exhiben un mayor potencial antihipertensivo. La VFP mostró una capacidad inhibitoria del 89.84%, mientras que la VFH del 83.83%. Estos valores de inhibición fueron superiores a los obtenidos por parte de las variedades criollas, los cuales fueron del 73.30%, 68.79%, 68.42% y 63.15% para las variedades VFC, VFFJ, VFSN y VFFM, respectivamente.

Los resultados de actividad antihipertensiva se encuentran correlacionados con los análisis previos de concentración de proteína y grupos amino libres, ya que una alta cantidad de proteína y un mayor grado de hidrólisis, por lo general, se encuentran relacionados con una mayor generación de péptidos bioactivos o funcionales (Megías et al., 2004), destacándose

sus actividades antihipertensiva, antioxidante y antitrombótica (Korhonen & Pihlanto, 2006). Adicionalmente, el perfil electroforético también mostró concordancia con la IECA obtenida experimentalmente, una vez que existe una mayor probabilidad de inhibición por parte de péptidos menores de 3 kDa, debido a la mayor afinidad con la ECA (Mojica & de Mejía, 2015).

Los péptidos obtenidos desde fuentes naturales realizan funciones similares a las llevadas a cabo por medicamentos sintéticos como captopril, enalapril, ramipril, pero con nulos o menores efectos secundarios. Su mecanismo de acción se caracteriza en la inhibición de la ECA, enzima responsable de la conversión de angiotensina I a angiotensina II. Este último componente, genera una fuerte vasoconstricción y liberación de aldosterona, aumentando la retención de sales y agua, lo que origina un aumento de la presión arterial. Es así que, los péptidos antihipertensivos de fuentes alimenticias pueden promover una vasodilatación y disminución de la presión arterial al propiciar una menor generación de angiotensina II (Bhoria & Dhewa, 2025; Jung et al., 2025).

Cabe destacar que para que los péptidos muestren una mayor afinidad a la ECA y puedan inhibirla, éstos deben tener una extensión de entre 5 y 8 aminoácidos, donde un aminoácido terminal hidrofóbico o aromático como la Phe, Leu, Tyr o Pro son esenciales. En este contexto, Xie et al. (2019) hidrolizaron frijol mungo usando alcalasa para identificar péptidos y obtuvieron secuencias correspondientes a Lys-Asp-Tyr-Arg-Leu y Lys-Leu-Pro-Ala-Gly-Thr-Leu-Phe, los cuales mostraron valores de  $IC_{50}$  de 26.5  $\mu$ M y 13.4  $\mu$ M, respectivamente, lo que fue catalogado como una alta inhibición de la ECA. De acuerdo a lo anterior, se demostró que el contenido proteico del frijol y las condiciones de hidrólisis determinan el perfil de péptidos liberados y, por consiguiente, su potencial antihipertensivo.

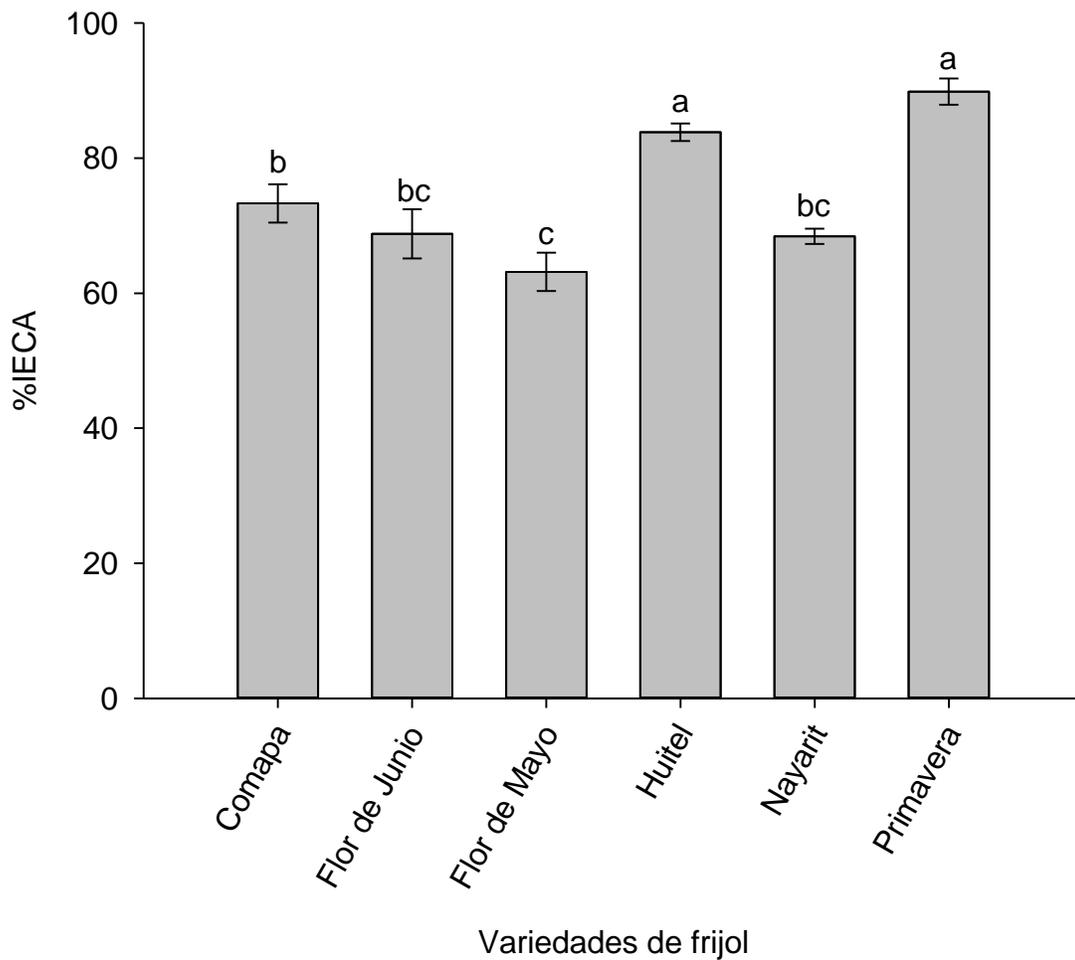


Figura 23. Porcentaje de inhibición de la ECA de las variedades de frijol criollas y variedades de frijol mejoradas. Promedio  $\pm$  la desviación estándar ( $n=3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ( $P < 0.05$ ).

## 7. CONCLUSIONES

Las variedades criollas (especialmente 'Flor de Junio' y 'Flor de Mayo') mostraron un perfil más rico en compuestos fenólicos, flavonoides y ácido ascórbico, además de mayor capacidad antioxidante *in vitro*, lo que destaca su potencial como fuente de antioxidantes naturales.

La actividad antioxidante enzimática mostró una tendencia variable entre los tipos de frijol analizados, donde destacó la variedad 'Huitel 143' por su actividad SOD y la variedad 'Flor de Mayo' por su actividad catalasa, ascorbato peroxidasa y guayacol peroxidasa. Lo anterior reflejó diferencias significativas en los mecanismos de defensa antioxidante entre genotipos.

Las diferencias en la solubilidad y tipo de proteínas (evaluadas mediante Bradford, Biuret y electroforesis) confirman la influencia del genotipo y posibles condiciones agroambientales sobre la calidad proteica del frijol.

Las variedades de frijol mejoradas ('Primavera 28' y 'Huitel 143') presentaron un mayor contenido de proteína, mayor liberación de grupos amino libres y mejor actividad antihipertensiva, lo cual sugiere un mayor potencial funcional en relación con la salud cardiovascular.

Este estudio resalta que, tanto las variedades mejoradas como las criollas poseen características nutricionales y funcionales diferenciadas. No obstante, estas características pueden ser aprovechadas de forma complementaria y estratégica para el desarrollo de alimentos funcionales.

## 8. REFERENCIAS

- Abass, S. M., & Mohamed, H. I. (2011). Alleviation of adverse effects of drought stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of hydrogen peroxide. *Bangladesh Journal of Botany*, 40(1), 75–83. <https://doi.org/10.3329/BJB.V40I1.8001>
- Acosta, Cruz Cruz E., Reyes Muro L., & Cueto Wong J.A. (2021). Variedades de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. *Inifap*, 2, 1–54.
- Acosta-Gallegos, J. A., Jiménez-Hernández, Y., Montero-Tavera, V., Sánchez García, B. M., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2014). Junio León, nueva variedad de frijol para riego y temporal el Altiplano y la Mesa Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(SPE7), 1369–1374. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014001100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), 1256–1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- Admassu, H., Gasmalla, M. A. A., Yang, R., & Zhao, W. (2018). Bioactive Peptides Derived from Seaweed Protein and Their Health Benefits: Antihypertensive, Antioxidant, and Antidiabetic Properties. *Journal of Food Science*, 83(1), 6–16. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14011>
- Aguirre-Santos EA, & Gomez-Aldapa CA. (2010). Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol *Phaseolus vulgaris* de las variedades; pinto saltillo, bayo victoria y negro San Luis. *Revista Salud Pública y Nutrición. Scielo Ed. Especial*, 1–10.
- Akillioglu, H. G., & Karakaya, S. (2010). Changes in total phenols, total flavonoids, and antioxidant activities of common beans and pinto beans after soaking, cooking, and in vitro digestion

- process. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 633–639. <https://doi.org/10.1007/S10068-010-0089-8>
- Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2012.05.002>
- Amat, T., Assifaoui, A., Buczkowski, J., Silva, J. V. C., Schmitt, C., & Saurel, R. (2024). Interplay between soluble and insoluble protein/calcium/phytic acid complexes in dispersions of faba bean and pea protein concentrates around neutral pH. *Food Hydrocolloids*, 147, 109273. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.109273>
- Anaya López, J. L., Ibarra Pérez, F. J., Rodríguez Cota, F. G., Ortega Murrieta, P. F., Chiquito Almanza, E., & Acosta Gallegos, J. A. (2021). Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, ISSN 2007-0934, ISSN-e 2007-9230, N°. Extra 25, 2021 (Ejemplar Dedicado a: Especial 35 Aniversario Del INIFAP), Págs. 63-75, 25, 63–75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8164210&info=resumen&idioma=SPA>
- Aquino-Bolaños, E. N., Denih García-Díaz, Y., Luis Chavez-Servia, J., Carrillo-Rodríguez, J. C., Vera-Guzmán, A. M., & Heredia-García, E. (2016). Anthocyanin, polyphenol, and flavonoid contents and antioxidant activity in Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Emir. J. Food Agric* •, 28. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-147>
- Arvouet-Grand A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret P. J. J. B. (1994). Standardization of a propolis extract and identification of the main constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462–468.
- Arya, R. K., Dahiya, G. S., Kumar, R., Gill, R. K., Tiwari, J. K., Yadav, C. B., Raiger, H. L., Kumar, S., & Kant, S. (2024). Development of novel faba bean (*Vicia faba* L.) for release as a new

- cultivar with high yield and protein content. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(6), 2831–2842. <https://doi.org/10.1007/S10722-023-01807-1/TABLES/6>
- Bailly, C., Audigier, C., Ladonne, F., Wagner, M. H., Coste, F., Corbineau, F., & Côme, D. (2001). Changes in oligosaccharide content and antioxidant enzyme activities in developing bean seeds as related to acquisition of drying tolerance and seed quality. *Journal of Experimental Botany*, 52(357), 701–708. <https://doi.org/10.1093/JEXBOT/52.357.701>
- Balois-Morales, R. et al. (2008). Sistema enzimático antisenescencia, catalasa-superóxido dismutasa, de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. *Rev. Chapingo Ser.Hortic.*
- Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., & Sánchez-Herrera, L. M. (2019). Antioxidant enzymes and antioxidant activity in two soursop selections (*Annona muricata* L.) from Nayarit, Mexico stored at 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(1), e-083. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019083>
- Barac, M., Cabrilo, S., Pesic, M., Stanojevic, S., Zilic, S., Macej, O., & Ristic, N. (2010). Profile and Functional Properties of Seed Proteins from Six Pea (*Pisum sativum*) Genotypes. *International Journal of Molecular Sciences* 2010, Vol. 11, Pages 4973-4990, 11(12), 4973–4990. <https://doi.org/10.3390/IJMS11124973>
- Bartosz, G., Rajzer, K., Grzesik-Pietrasiewicz, M., & Sadowska-Bartosz, I. (2022). Hydrogen peroxide is formed upon cooking of vegetables. *Acta Biochimica Polonica*, 69(2), 471–474. [https://doi.org/10.18388/ABP.2020\\_6253](https://doi.org/10.18388/ABP.2020_6253),
- Bedoya, R. A., Maldonado, M. E., Dirigir Correspondencia, \*, María, :, & Maldonado, E. (2022a). Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*). *Revista Chilena de Nutrición*, 49(1), 34–42. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182022000100034>

- Bedoya, R. A., Maldonado, M. E., Dirigir Correspondencia, \*, María, :, & Maldonado, E. (2022b). Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*). *Revista Chilena de Nutrición*, 49(1), 34–42. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182022000100034>
- Bellon, M. R., Barrientos-Priego, A. F., Colunga-GarcíaMarín, P., P. H., Reyes, A. J. A., Rosales-Serna, R., & Zizumbo-Villarreal, D. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. *Capital Natural de México*, 355–382.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bolet Astoviza, M., María, I. :, Socarrás, M., & Ii, S. (2010). Alimentación adecuada para mejorar la salud y evitar enfermedades crónicas. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 26(2), 0–0. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-21252010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414–431. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2009.09.003>
- Bozkurt, F., Bekiroglu, H., Dogan, K., Karasu, S., & Sagdic, O. (2021). Technological and bioactive properties of wheat glutenin hydrolysates prepared with various commercial proteases. *LWT*, 149, 111787. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111787>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Campa, A., Rodríguez Madrera, R., Jurado, M., García-Fernández, C., Suárez Valles, B., & Ferreira, J. J. (2023). Genome-wide association study for the extractable phenolic profile and coat color of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *BMC Plant Biology*, *23*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S12870-023-04177-Z/TABLES/5>
- Castañeda, J. G., & Chamoli, V. Z. (2022). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles en una bebida de *Eugenia stipitata* edulcorado con *Stevia*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, *5*(1), 29–35. <https://doi.org/10.25127/UCNI.V4I3.805>
- Cespedes, C. L., Lina-Garcia, L., Kubo, I., Salazar, J. R., Ariza-Castolo, A., Alarcon, J., Aqueveque, P., Werner, E., & Seigler, D. S. (2016). *Calceolaria integrifolia* s.l. complex, reduces feeding and growth of *Acanthoscelides obtectus*, and *Epilachna varivestis*. A new source of bioactive compounds against dry bean pests. *Industrial Crops and Products*, *89*, 257–267. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.05.026>
- Chavez Melo Vianey Mariela. (2016). *Tula de allende*. <https://vianeymarielachavez.blogspot.com/2016/>
- Chou, S. T., Chen, Y. H., Chen, Y. H., Tsai, Y. C., Chung, Y. C., & Li, J. P. (2025). Safety and antioxidant assessments of BLR-E50, 50% ethanolic extract from red beans co-fermented by *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus bulgaricus*. *Food and Chemical Toxicology*, *197*, 115261. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2025.115261>
- Chowdhury, S. R., & Choudhuri, M. A. (1985). Hydrogen peroxide metabolism as an index of water stress tolerance in jute. *Physiologia Plantarum*, *65*(4), 476–480. <https://doi.org/10.1111/J.1399-3054.1985.TB08676.X>
- Cushman, D. W., Cheung, H. S., Sabo, E. F., & Ondetti, M. A. (1977). Design of potent competitive inhibitors of angiotensin-converting enzyme. Carboxyalkanoyl and mercaptoalkanoyl amino acids. *Biochemistry*, *16*(25), 5484–5491. <https://doi.org/10.1021/bi00644a014>

- De los Santos Ramos, M., Romero Rosales, T., & Bobadilla Soto, E. E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 439. <https://doi.org/10.15517/MA.V28I2.23608>
- Debouck, D. G. (1984). *Morfología de la Planta de frijol Comun - Daniel G. Debouck - Google Libros*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=AtOLF2NhJogC&oi=fnd&pg=PA9&dq=morfologia+de+frijol&ots=f33rJxfy3&sig=3MHksR1zoeNvVgnco\\_v4aPG1Bfs#v=onepage&q=morfologia%20de%20frijol&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=AtOLF2NhJogC&oi=fnd&pg=PA9&dq=morfologia+de+frijol&ots=f33rJxfy3&sig=3MHksR1zoeNvVgnco_v4aPG1Bfs#v=onepage&q=morfologia%20de%20frijol&f=false)
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67–82. <https://doi.org/10.1016/J.FITOTE.2005.11.008>
- Duranti, M., & Gius, C. (1997). Legume seeds: protein content and nutritional value. *Field Crops Research*, 53(1–3), 31–45. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00021-X)
- Espino-Sevilla, M. T., Pérez-Bernal, L. R., Reyna-Villela, M. Z., Rojas-Bravo, D., & Lugo-Cervantes, E. C. (2017). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2, 72–76.
- FAO. (2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. . Las Legumbres Protagonizan Una Alianza Emblemática. .
- Fernández Valenciano, A. F., Sánchez Chávez, E., Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9(18), 133–148. <https://doi.org/10.21640/NS.V9I18.763>
- Fiaz, M., Ahmed, I., Hassan, S. M. U., Niazi, A. K., Khokhar, M. F., Zeshan, Farooq, M. A., & Arshad, M. (2023). Antibiotics induced changes in nitrogen metabolism and antioxidative

- enzymes in mung bean (*Vigna radiata*). *Science of The Total Environment*, 873, 162449.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162449>
- Flores, E., José, S., & -Peru, A. (2017). Extracción de Antioxidantes de las Bayas del Sauco (*Sambucus nigra* L. subsp. *peruviana*) con Ultrasonido, Microondas, Enzimas y Maceración para la obtención de Zumos Funcionales. *Información Tecnológica*, 28(1), 121–132.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100012>
- Flores, M. L. (2015). *EL CULTIVO DEL FRIJOL EN MÉXICO*. 16, 1607–6079.  
<http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09>
- Fountain, J. H., Kaur, J., & Lappin, S. L. (2023). Physiology, Renin Angiotensin System. *StatPearls*.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470410/>
- Gigliola-Ormachea, P. B., Nina-Mollisaca, G. L., Navia-Coarite, N. A., Mena-Gallardo, E. P., Hurtado-Ulloa, R., Salcedo-Ortiz, L., Gigliola-Ormachea, P. B., Nina-Mollisaca, G. L., Navia-Coarite, N. A., Mena-Gallardo, E. P., Hurtado-Ulloa, R., & Salcedo-Ortiz, L. (2023). Actividad antihipertensiva in vitro de componentes bioactivos de granos andinos. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 14(1), 10–23. <https://doi.org/10.36610/J.JSARS.2023.140100010>
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). *Determination of serum proteins by means of the biuret reaction*. [www.jbc.org](http://www.jbc.org)
- Guerrero, C. A. H., & Varela, T. G. F. (2006). Efecto de tres bioestimulantes comerciales en el crecimiento de los Tallos de Proteas, *Leucadendron* sp cv. Safari Sunset. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- H, G. A., & Rishi, K. (2008). Renin Inhibition in Hypertension. *Journal of the American College of Cardiology*, 51(5), 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.10.027>

- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Al Mahmud, J., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants* 2020, Vol. 9, Page 681, 9(8), 681. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9080681>
- Hasler, C. M. (2000). The Changing Face of Functional Foods. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 499S-506S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718972>
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2014). Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 580–592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>
- Herrera Flores, T. S., Ortíz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A., & Acosta Galleros, J. A. (2014). Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 859–870. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V5I5.907>
- Herrera-Hernández, I. M., Armendáriz-Fernández, K. V., Muñoz-Márquez, E., Sida-Arreola, J. P., & Sánchez, E. (2018). Characterization of Bioactive Compounds, Mineral Content and Antioxidant Capacity in Bean Varieties Grown in Semi-Arid Conditions in Zacatecas, Mexico. *Foods* 2018, Vol. 7, Page 199, 7(12), 199. <https://doi.org/10.3390/FOODS7120199>
- inifap. (2022, April 11). *Frijol de alto rendimiento para el sureste mexicano*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/frijol-de-alto-rendimiento-para-el-sureste-mexicano>
- Iturbe-Ormaetxe, I., Escuredo, P. R., Arrese-Igor, C., & Becana, M. (1998). Oxidative Damage in Pea Plants Exposed to Water Deficit or Paraquat. *Plant Physiology*, 116(1), 173–181. <https://doi.org/10.1104/PP.116.1.173>

- Jonfia-Essien, W. A., West, G., Alderson, P. G., & Tucker, G. (2008). Phenolic content and antioxidant capacity of hybrid variety cocoa beans. *Food Chemistry*, *108*(3), 1155–1159. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.12.001>
- KLEIN, B. P., & PERRY, A. K. (1982). Ascorbic Acid and Vitamin A Activity in Selected Vegetables from Different Geographical Areas of the United States. *Journal of Food Science*, *47*(3), 941–945. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1982.TB12750.X>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, *16*(9), 945–960. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2005.10.012>
- León, L. F. de, Bressani, R., & Elías, L. G. (1990). Efecto de la cáscara sobre el mecanismo de endurecimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*): resultados preliminares. *Agronomía Mesoamericana*, *1*, 87–91. <https://doi.org/10.15517/AM.V1I0.25352>
- Li, Z., Parris, S., & Saski, C. A. (2020). A simple plant high-molecular-weight DNA extraction method suitable for single-molecule technologies. *Plant Methods*, *16*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/S13007-020-00579-4/FIGURES/1>
- Lima, K. O., da Costa de Quadros, C., Rocha, M. da, Jocelino Gomes de Lacerda, J. T., Juliano, M. A., Dias, M., Mendes, M. A., & Prentice, C. (2019). Bioactivity and bioaccessibility of protein hydrolyzates from industrial byproducts of Stripped weakfish (*Cynoscion guatucupa*). *LWT*, *111*, 408–413. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.043>
- Lin, C., Lin, Y., Chen, Y., Xu, J., Li, J., Cao, Y., Su, Z., & Chen, Y. (2019). Effects of Momordica saponin extract on alleviating fat accumulation in *Caenorhabditis elegans*. *Food & Function*, *10*(6), 3237–3251. <https://doi.org/10.1039/C9FO00254E>
- López Guerra C., & Bressani R. (2008). Uso del cowpea (*Vigna unguiculata*) en mezclas con fríjol común (*Phaseolus vulgaris*) en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. *SciELO*, 1–3.

- López Salinas, E., Tosquy Valle, Ó. H., Jiménez Hernández, Y., Salinas Pérez, R. A., Villar Sánchez, B., & Acosta Gallegos, J. A. (2012). Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol “Negro Comapa” en dos regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4), 309–315. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000400007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000400007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Luna-Vital, D. A., Mojica, L., González de Mejía, E., Mendoza, S., & Loarca-Piña, G. (2015). Biological potential of protein hydrolysates and peptides from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. *Food Research International*, 76(P1), 39–50. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2014.11.024>
- Madhujith, T., Naczki, M., & Shahidi, F. (2004). Antioxidant activity of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Lipids*, 11(3), 220–233. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4522.2004.01134.X;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Marles, M. A. S., Vandenberg, A., & Bett, K. E. (2008). Polyphenol Oxidase Activity and Differential Accumulation of Polyphenolics in Seed Coats of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Characterize Postharvest Color Changes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7049–7056. <https://doi.org/10.1021/JF8004367>
- Martínez O., & Martínez de Victoria Muñoz E. (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Scielo*, 1–14.
- Matłok, N., Piechowiak, T., Królikowski, K., & Balawejder, M. (2022). Mechanism of Reduction of Drought-Induced Oxidative Stress in Maize Plants by Fertilizer Seed Coating. *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 662, 12(5), 662. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12050662>
- Medina-Rendon, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R. I., Arriola-Guevara, E., & García-Fajardo, J. A. (2021). Production of Extrudate Food with Mango

- By-Products (*Mangifera indica*): Analysis of Physical, Chemical, and Sensorial Properties. *Processes* 2021, Vol. 9, Page 1660, 9(9), 1660. <https://doi.org/10.3390/PR9091660>
- Megías, C., Del Mar Yust, M., Pedroche, J., Lquari, H., Girón-Calle, J., Alaiz, M., Millán, F., & Vioque, J. (2004). Purification of an ACE Inhibitory Peptide after Hydrolysis of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Protein Isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 1928–1932. <https://doi.org/10.1021/JF034707R;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>
- Megías, C., Pedroche, J., Yust, M. del M., Alaiz, M., Girón-Calle, J., Millán, F., & Vioque, J. (2009). Purification of angiotensin converting enzyme inhibitory peptides from sunflower protein hydrolysates by reverse-phase chromatography following affinity purification. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 228–232. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.05.003>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Value of Water Research Report Series No. 47,. *UNESCO-IHE*, 1–42.
- Melcescu, E., & Koch, C. A. (2019). Endocrine Hypertension. *Endotext*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK278948/>
- Michalczyk, D. J., Krupka, M., Kamiński, J., Wierzbicka, M., Floryńska, S., Kopeć, W., & Piotrowicz-Cieślak, A. I. (2023). Physiological and Biochemical Parameters of Field Bean (*Vicia faba* var. *minor*) Seeds Stored for 33 Years. *Agriculture (Switzerland)*, 13(10), 2012. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13102012/S1>
- Milián, D. C. C. J., Iglesias Monroy, O., Valdés Marquez, H., & Sanjudo Ramos, Y. (2017). Estudio fitoquímico integral del Samanea saman de la región occidental de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 29(3), 480–491. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212017000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=en)

- Mittler, R. (2017). ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, 22(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2016.08.002/ATTACHMENT/9FF8BEA2-B7BE-4EFA-9559-B99BBE252ACB/MMC1.MP4>
- Mojica, L., & de Mejía, E. G. (2015). Characterization and Comparison of Protein and Peptide Profiles and their Biological Activities of Improved Common Bean Cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mexico and Brazil. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(2), 105–112. <https://doi.org/10.1007/S11130-015-0477-6/METRICS>
- Mojica, L., Luna-Vital, D. A., & González de Mejía, E. (2017). Characterization of peptides from common bean protein isolates and their potential to inhibit markers of type-2 diabetes, hypertension and oxidative stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2401–2410. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8053>
- Montoya, C. A., Leterme, P., Victoria, N. F., Toro, O., Souffrant, W. B., Beebe, S., & Lallès, J. P. (2008). Susceptibility of Phaseolin to in Vitro Proteolysis Is Highly Variable across Common Bean Varieties (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(6), 2183–2191. <https://doi.org/10.1021/JF072576E>
- Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., Alvarado-López, C. J., Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., & Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 463–475. <https://doi.org/10.19136/ERA.A6N18.2171>
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M. M., Rahman, A., Mahmud, J. Al, Suzuki, T., & Fujita, M. (2017). Insights into spermine-induced combined high temperature and drought tolerance in

mung bean: osmoregulation and roles of antioxidant and glyoxalase system. *Protoplasma*, 254(1), 445–460. <https://doi.org/10.1007/S00709-016-0965-Z/TABLES/2>

Navas-Carretero, S., San-Cristobal, R., Avellaneda, A., Planes, J., Zulet, M. A., & Martínez, J. A. (2015). Benefits on body fat composition of isocalorically controlled diets including functionally optimized meat products: Role of alpha-linolenic acid. *Journal of Functional Foods*, 12, 319–331. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.12.005>

Ngui, S. P., Nyobe, C. E., Bakwo Bassogog, C. B., Nchuaji Tang, E., Minka, S. R., & Mune Mune, M. A. (2021). Influence of pH and temperature on the physicochemical and functional properties of Bambara bean protein isolate. *Heliyon*, 7(8), e07824. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07824>

Patykowski, J., Majczak, A., Bergier, K., & Sklodowska, M. (2007). Ascorbate content and peroxidase activities in apple fruits during storage. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 15–21.

Pérez-Perez, L. M., Toro Sánchez, C. L. Del, Sánchez Chavez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., Soto Parra, J. M., Flores-Cordova, M. A., Pérez-Perez, L. M., Toro Sánchez, C. L. Del, Sánchez Chavez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., Soto Parra, J. M., & Flores-Cordova, M. A. (2020a). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biotecnia*, 22(1), 117–125. <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V22I1.1159>

Pérez-Perez, L. M., Toro Sánchez, C. L. Del, Sánchez Chavez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., Soto Parra, J. M., Flores-Cordova, M. A., Pérez-Perez, L. M., Toro Sánchez, C. L. Del, Sánchez Chavez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., Soto Parra, J. M., & Flores-Cordova, M. A. (2020b). Bioaccesibilidad de compuestos

antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biotecnia*, 22(1), 117–125. <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V22I1.1159>

Pompelli, M. F., Barata-Luís, R., Vitorino, H. S., Gonçalves, E. R., Rolim, E. V., Santos, M. G., Almeida-Cortez, J. S., Ferreira, V. M., Lemos, E. E., & Endres, L. (2010). Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass and Bioenergy*, 34(8), 1207–1215. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2010.03.011>

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/JF0502698>

Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M., Pérez, S., Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M., & Pérez, S. (2020). Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 11–23. <https://doi.org/10.35196/RFM.2020.1.11>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231–1237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

Ren, Z., Li, J., Zhang, X., Li, X., Zhang, J., Ye, Z., Zhang, Y., & Nie, Q. (2024). Utilizing resequencing big data to facilitate Brassica vegetable breeding: tracing introgression pedigree and developing highly specific markers for clubroot resistance. *Horticultural Plant Journal*, 10(3), 771–783. <https://doi.org/10.1016/J.HPJ.2022.12.016>

- Roberfroid, M. B. (2000). Concepts and strategy of functional food science: the European perspective<sup>123</sup>. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(6), 1660S-1664S. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1660S>
- Rochín-Medina, J. J., Mora-Rochín, S., Navarro-Cortez, R. O., Tovar-Jimenez, X., Quiñones-Reyes, G., Ayala-Luján, J. L., Aguayo-Rojas, J., Rochín-Medina, J. J., Mora-Rochín, S., Navarro-Cortez, R. O., Tovar-Jimenez, X., Quiñones-Reyes, G., Ayala-Luján, J. L., & Aguayo-Rojas, J. (2021). Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas. *Acta Universitaria*, 31, 1–13. <https://doi.org/10.15174/AU.2021.3059>
- Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., & Covarrubias, A. A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 24–34. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2012.04.007>
- Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Rodríguez-Pérez, R., Santana-Baños, Y., Mesa-Sotolongo, S., Encalada-Córdova, M. E., & Florido-Bacallao, R. (2023). Eficiencia fisiológica de la planta de frijol ante un déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 44(1), <https://cu-id.com/2050/v44n1e06>. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1693>
- SADER. (2017). *Frijol Mexicano Planeación Agrícola Nacional*.
- Sagarpa. (2024). *Planeacion Agricola Nacional* . 6–20.
- Sánchez-Chino, X., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., Álvarez-González, I., & Madrigal-Bujaidar, E. (2015). Nutrient and Nonnutrient Components of Legumes, and Its Chemopreventive Activity: A Review. *Nutrition and Cancer*, 67(3), 401–410. <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.1004729>

- Santangelo, C., Vari, R., Schazzocchio, B., Benedetto, R., Filesi, C., & Masella, R. (2007). Polyphenols, intracellular signalling and inflammation. *Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanità*.
- Schägger, H., & von Jagow, G. (1987). Tricine-sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis for the separation of proteins in the range from 1 to 100 kDa. *Analytical Biochemistry*, *166*(2), 368–379. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90587-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90587-2)
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820–897. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2015.06.018>
- Shiga, T. M., Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (2009). Effect of cooking on non-starch polysaccharides of hard-to-cook beans. *Carbohydrate Polymers*, *76*(1), 100–109. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.09.035>
- SIAP. (2020). *Producción Agrícola | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. B., & Dolan, K. D. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT - Food Science and Technology*, *43*(2), 232–237. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.07.009>
- Sikora, M., & Świeca, M. (2018). Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts. *Food Chemistry*, *239*, 1160–1166. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.067>

- Silva, M. O., Brigide, P., Toledo, N. M. V. D., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2018). Compostos fenólicos e atividade antioxidante de duas cultivares de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidos à cocção. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21.
- Silva-Sánchez, C., Barba De La Rosa, A. P., León-Galván, M. F., De Lumen, B. O., De León-Rodríguez, A., & González De Mejía, E. (2008). Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1233–1240. [https://doi.org/10.1021/JF072911Z/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2007-02911Z\\_0006.GIF](https://doi.org/10.1021/JF072911Z/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2007-02911Z_0006.GIF)
- Singh, B. D. (2016). Plant breeding: principles & methods. . *Kalyani Publishers*.
- Singh, R., Upadhyay, A. K., & Singh, D. P. (2018). Regulation of oxidative stress and mineral nutrient status by selenium in arsenic treated crop plant *Oryza sativa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 105–113. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2017.10.008>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152–178). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Taş, Ö., Yayla, M., & Ekinçi, D. (2023). Characterization of Guaiacol Peroxidase Enzyme from Carambola Fruit. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(3), 275–280. <https://doi.org/10.47115/BSAGRICULTURE.1269682>
- Taylor, D. A. (2015). Hypertensive Crisis Review of Pathophysiology and Treatment. . *Crit Care Nurs Clin N Am*.
- Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2012). Food Protein-Derived Bioactive Peptides: Production, Processing, and Potential Health Benefits. *Journal of Food Science*, 77(1), R11–R24. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2011.02455.X>

- Ukom, A., Ndukwe, B., Ebuka, E., & Adiegwu, E. (2024). Formulations of Yellow Maize-based Ogi flour fortified with Orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) and African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) flours: Effect on the bioactive constituents, colour and pasting properties. *Food and Humanity*, 3, 100381. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2024.100381>
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramirez Ramirez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). EL FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS): SU IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y COMO FUENTE DE FITOQUIMICOS. <Http://Fuente.Uan.Edu.Mx/Publicaciones/03-08/1.Pdf>. <http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/582>
- Vámos-Vigyázó, L., & Haard, N. F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 49–127. <https://doi.org/10.1080/10408398109527312>
- Vandekerckhove, J. (1994). Methods in molecular biology, Vol. 32: Basic protein and peptide protocols. *FEBS Letters*, 356(2–3), 373–373. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(94\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(94)80079-0)
- Vanegas Cano L. J, Martínez Peralta S. T., Coy Barrera E., & Ardila Barrantes H. D. (2022). Early responses at symplastic stem level associated with the salicylic acid pathway in the interaction carnation (*Dianthus caryophyllus*, caryophyllaceae)- Fod (*Fusarium oxysporum* f. Sp. dianthi). *Acta Biológica Colombiana*, 27(2), 153–163. <https://doi.org/10.15446/ABC.V27N2.85778>
- Wu, M., Liang, X., Liu, Y., Wu, C., An, X., Zhao, Z., Hao, G., Gregory, I. O., Li, Z., & Chen, Q. (2025). Mechanisms underlying the effects of cyanogenesis on development and reproduction of *Tetranychus urticae*: Insights from enzyme activity and gene expression aspects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 290, 117523. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2024.117523>
- Xie, J., Du, M., Shen, M., Wu, T., & Lin, L. (2019). Physico-chemical properties, antioxidant activities and angiotensin-I converting enzyme inhibitory of protein hydrolysates from Mung

bean (*Vigna radiata*). *Food Chemistry*, 270, 243–250.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.103>

Yang, Farha, A. K., Cheng, L., Kim, G., Zhang, T., & Corke, H. (2020). Phenolic content and in vitro antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are not directly related to anti-proliferative activity. *Food Bioscience*, 36, 100662.  
<https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100662>

Yang, Q. Q., Gan, R. Y., Ge, Y. Y., Zhang, D., & Corke, H. (2018). Polyphenols in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Chemistry, Analysis, and Factors Affecting Composition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(6), 1518–1539.  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12391>

Yust, M. M., Pedroche, J., Girón-Calle, J., Alaiz, M., Millán, F., & Vioque, J. (2003). Production of ace inhibitory peptides by digestion of chickpea legumin with alcalase. *Food Chemistry*, 81(3), 363–369. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00431-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00431-4)

Zhai, M., Wang, Y., Capulong, C., Qu, H., Liu, Q., & Guo, D. (2024). A comparison of the physicochemical properties, digestibility, and expression patterns of starch-related genes of two supersweet corn hybrids (F1) and their parents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135921. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.135921>

Zhang, J., Hu, B., Zheng, Y., Zhang, Z., Wang, B., Dong, K., & Dong, Y. (2025). Long term intercropping promotes improvement of soil quality and alleviates faba bean wilt disease. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381, 109443.  
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2024.109443>

Zhang, Y., Li, W., Hou, P., Yang, T., & Xie, J. (2025). Physicochemical and stability analysis of mung bean protein hydrolysates with lipid peroxidation inhibition. *Food Chemistry*, 463, 141135. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.141135>

Zhu, L., Zhan, C., Yu, X., Hu, X., Gao, S., Zang, Y., Yao, D., Wang, C., & Xu, J. (2024). Extractions, Contents, Antioxidant Activities and Compositions of Free and Bound Phenols from Kidney Bean Seeds Represented by 'Yikeshu' Cultivar in Cold Region. *Foods*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/FOODS13111704>

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Constancia de participación en el congreso “Desarrollo e innovación” y congreso multidisciplinario internacional de ingenierías 2024.





## Comparación del análisis bromatológico proximal de las variedades de frijol 'Huitel 143' y 'Primavera 28'

Comparison of the proximal fromatological Analysis of the vean varieties 'Huitel 143' and 'Primavera 28'.

Janet Góñez Aguilari<sup>1</sup>, Cesar Uriel López Palestina<sup>2</sup>, Emmanuel Pérez Escalante<sup>3</sup>, José Manuel Pinedo Espinoza<sup>3</sup>, Yar Olovido Santiago Sáenz<sup>1</sup>, Alma Delia Hernández Fuentes<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad s/n, C. Co-Hacienda de Aquilata, Tlaxiaco 40600, Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mier y de la Reforma, Pachuca de Soto 42384, Hidalgo, México.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Zacatecas-Guadalupe Km. 15.5, Ciénega Alta, C.P. 98000, Zacatecas, Zacatecas, México. [0228547@uaez.edu.mx](mailto:0228547@uaez.edu.mx)

### Resumen

El frijol es uno de los alimentos de mayor importancia en México, ocupa un lugar predominante dentro de la dieta, se considera un alimento funcional y fuente principal de proteínas, almidones, hierro, ácido fólico, potasio y fibra. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo y contenido de proteína en las variedades de frijol 'Huitel 143' y 'Primavera 28' para de determinar su aporte nutricional. Las variables de estudio fueron; Determinación de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo y contenido de proteína. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un  $P \leq 0.05$  por medio del programa SAS (Statistical Analysis System, versión 9.0). Con respecto a los resultados se puede observar que la variedad de frijol 'Primavera 28' presentó un mayor contenido de humedad y cenizas, sin embargo, la variedad 'Huitel 143' presentó un mayor contenido de grasa, fibra y carbohidratos. En relación al contenido de proteínas no se observaron diferencias significativas. Se puede concluir que ambas variedades de frijol 'Huitel 143' y 'Primavera 28', ofrecen un buen perfil nutricional, sin embargo, la variedad 'Huitel 143' podría ser más favorable para aquellos que buscan una mayor ingesta de fibra y carbohidratos, nutrientes clave en la dieta diaria.

**Palabras clave:** Frijol, nutricional, variedad, fibra, cenizas, humedad, proteína.

### Abstract

Beans are one of the most important foods in Mexico, they occupy a predominant place in the diet, they are considered a functional food and the main source of proteins, starches, iron, folic acid, potassium and fiber. Therefore, the objective of this work was to evaluate the moisture content, ash, protein, ether extract and protein content in the bean varieties 'Huitel 143' and 'Primavera 28' to determine their nutritional contribution. The study variables were: Determination of moisture, ash, protein, ether extract and protein content. A completely randomized experimental design was used and a variance analysis and Tukey's multiple comparison test of means were performed with a  $P \leq 0.05$  using the SAS program (Statistical Analysis System, version 9.0). Regarding the results, it can be observed that the 'Primavera 28' bean variety had a higher moisture and ash content, however, the 'Huitel 143' variety had a higher fat, fiber and carbohydrate content. Regarding the protein content, no significant differences were observed. It can be concluded that both bean varieties 'Huitel 143' and 'Primavera 28' offer a good nutritional profile, however, the 'Huitel 143' variety could be more favorable for those looking for a higher intake of fiber and carbohydrates, key nutrients in the daily diet.

**Keywords:** Bean, nutritional, variety, fiber, ash, moisture, protein.