

<b>Anexo 4 Evidencia 21</b>	<b>Tesis de licenciatura sobre análisis nutrimental de frijol en proceso.</b>
<b>Objetivo Científico (OC)</b>	OC3.4 Estimar la variación en el contenido nutricional de los morfotipos de maíz y frijol y cómo la diversidad de cultivos asociados modifica la disponibilidad de nutrientes para la familia.
<b>Meta</b>	MC3.4.1 Reporte del contenido nutricional de los 9 morfotipos de maíz y de frijol y calcular el de toda la milpa considerando a cada uno de sus componentes en los informes técnicos parciales y finales, una tesis de licenciatura y un artículo científico en borrador.

**Actividades objetivo:**

✓ **AC3.4.1.4** Se realizará una tesis de licenciatura sobre contenidos nutricionales en maíz y frijol.

**Descripción:** Se reclutaron dos tesis de licenciatura, una para trabajar con los análisis nutricionales con frijol y otra para maíz, la estudiante de licenciatura en Ciencias Biomédicas Karime Patricia vega García se encargó del tema Aporte nutrimental y nutracéutico de frijoles criollos cultivados en sistemas de milpa de Veracruz. Desafortunadamente la estudiante que se encargó del análisis nutrimental de maíz una vez iniciado su trabajo de investigación decidió graduarse por una opción diferente a la de escritura de Tesis y abandonó el proyecto. La caracterización nutrimental de maíz ha sido retomada con otros estudiantes de prácticas y servicio social y se presenta la caracterización final de maíz en esta etapa (AC3.4.1.2). Se presenta la tesis de la estudiante de licenciatura quien en la etapa 3 realizó su examen de grado y se anexan ambos documentos.

## **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**

### **UNIDAD REGIONAL GUASAVE**

# **APORTE NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO DE FRIJOL CRIOLLOS CULTIVADOS EN SISTEMAS DE MILPA DE VERACRUZ**

---

Presenta:

**KARIME PATRICIA VEGA GARCIA**

TESIS APROBADA POR LA  
COORDINACIÓN DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

Como requisito para obtener el grado de  
**LICENCIADO EN CIENCIAS BIOMÉDICAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**



03240200



**ACTA DE TITULACIÓN**

En la ciudad de Guasave, estado de Sinaloa, siendo las 14:00 horas del día **03 de junio de 2024**, en el lugar que ocupa la Sala de Juntas, de la **Unidad Regional Guasave** de la Universidad Autónoma de Occidente, sito en Avenida Universidad s/n, se reunieron:

Los CC. **M.C. Sandy Rocio Hernández Leyva**, **Dr. José Belisario Leyva Morales** y **Dra. Laura Gabriela Espinosa Alonso**, nombrados por el Director de la Unidad Regional Guasave de la Universidad Autónoma de Occidente, **M.C. Hugo Galindo Flores**, para integrar el jurado de titulación en la modalidad de **Tesis en Examen Profesional** intitulada "Aporte nutrimental y nutracéutico de frijoles criollos cultivados en sistema de milpa de Veracruz", que presenta la C. **Vega García Karime Patricia**, matrícula número 18030088, para obtener el título profesional de **Licenciada en Ciencias Biomédicas**.

Acto seguido se constituyó el jurado, fungiendo como Presidenta la **M.C. Sandy Rocio Hernández Leyva**, como Secretario al **Dr. José Belisario Leyva Morales**, y como Vocal la **Dra. Laura Gabriela Espinosa Alonso**. Declarado legalmente constituido el jurado por la Presidenta y a invitación de la misma, los señores sindicales procedieron a examinar a la sustentante. Terminado el interrogatorio, previa libre deliberación, los integrantes del jurado votaron en forma secreta y emitieron el siguiente veredicto:

**APROBADA POR UNANIMIDAD  
CON FELICITACIÓN DEL JURADO**

Enseguida la Presidenta hizo saber a la sustentante el resultado de la votación y le tomó la protesta respectiva, con lo que terminó el acto, levantándose para constancia la presente acta, que firman la Presidenta, la Vocal y el Secretario que da fe.

ATENTAMENTE

POR LA CULTURA A LA LIBERTAD

El Director de la Unidad Regional Guasave

*[Signature]*  
M.C. Hugo Galindo Flores

La Presidenta del Jurado

*[Signature]*  
M.C. Sandy Rocio Hernández Leyva

Secretario

*[Signature]*  
Dr. José Belisario Leyva Morales

Vocal

*[Signature]*  
Dra. Laura Gabriela Espinosa Alonso

De conformidad con lo establecido en el Artículo 50, Fracción II del Estatuto Orgánico de la Universidad Autónoma de Occidente, **C E R T I F I C O** la legalidad del presente documento y la idoneidad de las firmas expresadas al cabo, a los 04 días del mes de junio de 2024.

La Viceministra Académica

*[Signature]*  
Dra. Guadalupe Arlene Mora Romero





**A QUIEN CORRESPONDA  
PRESENTE. -**

Se hace constar que la **DRA. LAURA GABRIELA ESPINOSA ALONSO** se desempeñó como **DIRECTORA** de la tesis titulada, "**aporte nutrimental y nutracéutico de frijoles criollos cultivados en sistemas de milpa de Veracruz**" y **VOCAL** del jurado evaluador de la egresada **C. Karime Patricia Vega García**, matrícula **18030086**, del Programa Educativo de **Ciencias Biomédicas**, cuyo examen profesional se realizó, el día **lunes 03 de junio del 2024** habiendo obtenido el resultado de **Aprobada** por Unanimidad y la felicitación del jurado del presente año en la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave.

Por los fines que al interesado convenga se extiende la presente **CONSTANCIA** en la Ciudad de Guasave, Sinaloa.

**ATENTAMENTE**  
**"POR LA CULTURA A LA LIBERTAD"**



**M.C. HUGO GALINDO FLORES**  
**DIRECTOR UNIDAD REGIONAL GUASAVE**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**

**UNIDAD REGIONAL GUASAVE**

**APORTE NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO DE FRIJOLES  
CRIOLLOS CULTIVADOS EN SISTEMAS DE MILPA DE  
VERACRUZ**

---

Presenta:

**KARIME PATRICIA VEGA GARCIA**

TESIS APROBADA POR LA  
COORDINACIÓN DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

Como requisito para obtener el grado de  
**LICENCIADO EN CIENCIAS BIOMÉDICAS**

## APROBACIÓN

Los integrantes de comité designado para la revisión de la tesis de **Karime Patricia Vega García** han evaluado la calidad y pertinencia del proyecto por lo que la consideran aprobada como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias Biomédicas.



---

Dra. Laura Gabriela Espinosa Alonso  
Directora de Tesis



---

MC. Sandy Roció Hernández Leyva  
Asesora



---

Dr. José Belisario Leyva Morales  
Asesor

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO) por brindarme una educación de calidad y por su constante apoyo a lo largo de todo el proceso.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIIR-Unidad Guasave), por abrirme las puertas y permitirme realizar mi desarrollo de tesis en su institución.

Dra. Laura Gabriela Espinosa Alonso por ser mi directora de tesis, aceptarme como su alumna de estancia académica e integrarme a su equipo de trabajo, por su paciencia, su atenta colaboración en este proyecto, sus comentarios de ayuda en todo el proceso, enseñanzas, por ser mi modelo de ejemplo a seguir, pero, sobre todo, por creer en mí y darme la oportunidad de desarrollarme en el ámbito científico.

Dr. José Belisario Leyva Morales por ser mi asesor de tesis, por toda la dedicación y paciencia durante el desarrollo de este trabajo, sus comentarios y sugerencias para mejorar, por su asesoría e interés en mi desarrollo como estudiante y por inspirarme a ser una gran investigadora.

M.C. Sandy Rocío Hernández Leyva por formar parte de mi comité evaluador de tesis, por sus comentarios de revisión y sugerencias, por ser una excelente maestra, enseñar con dedicación, profesionalismo y fomentar una bonita relación con sus alumnos.

A mis padres, Erika Patricia Garcia Armenta y Bogar Vega, por ser el motor que impulsa mis sueños, gracias por confiar, creer en mi y en mis expectativas, agradezco a mi madre por ser mi acompañante durante las largas horas de estudio de cada noche y a mi padre por siempre desear y anhelar las mejores cosas para mí, su apoyo y motivación me guían por un sendero de éxito.

A mis hermanos Jesús, Christian y Bogar por confiar en mi y alentarme siempre. Especialmente a Bogarito por hablarme de temas científicos y motivarme a ser mejor, trabajo arduamente para ser tu ejemplo a seguir.

A mis tías y abuelos, por alentarme, expresarme su cariño, confianza y por formar parte de mi vida.

Arquitecto Kenny Everardo Cardenas, quien me acompañó durante horas de estudio, gracias por tu cariño, tus palabras de aliento, por motivarme, creer y confiar en mis sueños y anhelos.

Axel Eduardo León por ser parte de mi vida, acompañarme en cada logro, por la confianza y las alegrías compartidas.

Al Laboratorio de Alimentos Funcionales y sus integrantes por permitirme trabajar en su espacio e integrarme en su equipo, especialmente a María del Rosario Leal "Chayito" por brindarme su ayuda y orientarme.

Dra. Xiomara Patricia Perea Domínguez por la gran labor que ejerció como tutora del grupo de Ciencias Biomédicas, por el ánimo que nos brindó, su sabiduría, por iluminar nuestros conocimientos y sacar la mejor parte de nosotros.

A mis profesores, por ser una parte fundamental de mi crecimiento académico, por su dedicación para compartir conocimientos de manera profesional y sus palabras sabias de aliento.

Finalmente, gracias a mis amigos, por su apoyo incondicional, cariño, momentos compartidos de nostalgia y alegría, especialmente a Melisa, Anel, Jaqueline, Víctor y Abraham por dar brillo a mi vida y un toque de felicidad.

## DEDICATORIA

*A mis padres,  
por apoyarme en todo siempre,  
e impulsarme para alcanzar el éxito en la vida.*

## CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS.....	8
LISTADO DE CUADROS .....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	15
2.1. Dieta y Salud en México .....	15
2.1.1. Historia de la Alimentación en México a Través del Tiempo.....	16
2.1.2. Salud y Alimentación en México .....	17
2.2. Antecedentes y Conceptualización de los Alimentos Funcionales.....	19
2.2.1. Etiquetado de Alimentos .....	21
2.3. Origen del Frijol .....	22
2.3.1. Generalidades .....	22
2.3.2. Domesticación del frijol.....	24
2.4. Frijol Cultivado (criollo).....	28
2.5. Producción de Frijol .....	31
2.5.1. Producción Anual de Frijol .....	31
2.5.2. Condiciones de cultivo .....	34
2.6. Sistema Milpa .....	35
2.6.1. ¿Qué es el Sistema Milpa?.....	35
2.6.2. Beneficios del Sistema Milpa .....	36
2.6.3. ¿Dónde se siembra la milpa?.....	37
2.7. Importancia del Consumo de Frijol .....	38
2.7.1. Consumo <i>per-cápita</i> de Frijol.....	39
2.7.2. Hábitos o Preferencias del Consumo de Frijol.....	40
2.8. Calidad Nutricional del Frijol.....	41
2.8.1. Aporte Nutricional.....	41
2.8.2. Compuestos Nutraceuticos del Frijol .....	45
3. HIPOTESIS.....	54
4. OBJETIVOS .....	55
4.1. Objetivos específicos.....	55

<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	56
<b>5.1. Material Biológico</b> .....	56
<b>5.2. Evaluación física del grano de frijol</b> .....	58
<b>5.3. Caracterización Nutricional de Muestras de Frijol</b> .....	59
<b>5.3.1. Determinación de la composición proximal</b> .....	60
<b>5.3.2. Determinación de aminoácidos</b> .....	62
<b>5.4. Compuestos Fenólicos De Extractos De Frijol</b> .....	63
<b>5.5. Capacidad Antioxidante del Frijol</b> .....	66
<b>5.6. Análisis de Datos</b> .....	68
<b>6. RESULTADOS</b> .....	69
<b>6.1. Características fisicoquímicas del grano de frijol</b> .....	69
<b>6.1.1. Forma del Frijol</b> .....	69
<b>6.1.2. Color del frijol</b> .....	71
<b>6.1.3. Tamaño del frijol</b> .....	74
<b>6.2. Caracterización Nutricional de Muestras de Frijol</b> .....	75
<b>6.3. Componentes Nutraceuticos de Frijol</b> .....	78
<b>6.3.1. Compuestos fenólicos del frijol</b> .....	78
<b>6.3.2. Análisis de la capacidad antioxidante de extractos de frijol por DPPH y ABTS</b> 80	
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	87
<b>8. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	95
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	97
<b>ANEXO</b> .....	111

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas históricas de la alimentación en México. ....	16
<b>Figura 2.</b> Desarrollo de los alimentos funcionales. ....	20
<b>Figura 3.</b> Variedades de frijol por color y forma. ....	24
<b>Figura 4.</b> Vaina o ejote y semillas de frijol negro ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ).. ....	26
<b>Figura 5.</b> Planta <i>Phaseolus coccineus L.</i> .....	27
<b>Figura 6 .</b> Planta y vaina de <i>Phaseolus dumosus</i> .....	28
<b>Figura 7.</b> Comparación de la producción nacional de frijol en México, 2011-2021.. ....	32
<b>Figura 8.</b> Principales estados productores de grano de frijol en México, por año agrícola. ...	33
<b>Figura 9.</b> Estructuras de flavonoides presentes en el grano de frijol. ....	49
<b>Figura 10.</b> Estructura y sustituyentes de las antocianinas. ....	51
<b>Figura 11.</b> Ubicación geográfica de las regiones donde fueron colectadas las tres variedades de frijol criollo cultivadas en sistema milpa de Veracruz. ....	57
<b>Figura 12.</b> Forma del grano de frijol Enredador, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie. ....	69
<b>Figura 13.</b> Forma del grano de frijol Gordo, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie. ....	70
<b>Figura 14.</b> Forma del grano de frijol Ayocote, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie. ....	71
<b>Figura 15.</b> Color de frijol Enredador, expresado con los parametros de la escala CIELAB..	72
<b>Figura 16.</b> Color de frijol Gordo, expresado con los parámetros de la escala CIELAB.....	73
<b>Figura 17.</b> Color de frijol Ayocote, expresado con los parámetros de la escala CIELAB. ....	74
<b>Figura 18.</b> Tamaño del grano de frijol Enredador, Gordo y Acajete expresado en peso de 100 semillas y densidad a granel. ....	75
<b>Figura 19.</b> Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Enredador. ....	80
<b>Figura 20.</b> Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Gordo. ....	81
<b>Figura 21.</b> Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Ayocote. ....	82
<b>Figura 22.</b> Comparación de Fenoles totales y capacidad antioxidante por DPPH por tipo de frijol y diferente localidad. ....	82
<b>Figura 23.</b> Comparación de fenoles totales y capacidad antioxidante por ABTS por tipo de frijol y diferente localidad. ....	83
<b>Figura 24.</b> Agrupamiento de los tratamientos de frijol criollo cultivado con las características analizadas por componentes principales (PCA).....	85
<b>Figura 25.</b> Dendograma del análisis de conglomerados realizado con características de frijol criollo cultivado en sistema milpa en Veracruz analizadas por PCA. Método del vecino más cercano, Euclídeana Cuadrada. ....	86

## LISTADO DE CUADROS

<b>Cuadro 1 .</b> Taxonomía del género <i>Phaseolus</i> . .....	23
<b>Cuadro 2.</b> Principales municipios productores de grano de frijol en México, ciclo agrícola 2021 .....	34
<b>Cuadro 3.</b> Comparación de perfiles nutricionales de frijoles secos, leguminosas y cereales (por 100 g). .....	42
<b>Cuadro 4.</b> Composición de vitaminas (mg 100 g peso seco) en nueve tipos de frijol comercial.....	45
<b>Cuadro 5.</b> Clasificación de compuestos fenólicos.....	47
<b>Cuadro 6.</b> Prevención de enfermedades crónicas utilizando antocianinas vegetales. ....	52
<b>Cuadro 7.</b> Clasificación de las especies de frijol criollo utilizadas. ....	56
<b>Cuadro 8.</b> Semillas de frijol utilizadas según su localidad. ....	57
<b>Cuadro 9.</b> Parámetros de la escala de color CIELAB.....	58
<b>Cuadro 10.</b> Variables para determinar forma del grano del frijol. ....	59
<b>Cuadro 11.</b> Métodos utilizados para la caracterización nutricional de muestras en frijol criollo. Normas del Instituto Mexicano de normalización y certificación (IMNC).....	63
<b>Cuadro 12.</b> Estándares para cuantificación de compuestos fenólicos por grupo. ....	65
<b>Cuadro 13.</b> Composición proximal de muestras de frijol criollo (g/100g). ....	76
<b>Cuadro 14.</b> Contenido de aminoácidos totales en harina de frijol criollo (mg/100g). ....	77
<b>Cuadro 15.</b> Contenido de compuestos fenólicos por grupo en Frijol Enredador.....	78
<b>Cuadro 16.</b> Contenido de compuestos fenólicos por grupo en Frijol Gordo. ....	79
<b>Cuadro 17.</b> Contenido de compuestos fenólicos por grupo en Frijol Ayocote.....	80
<b>Cuadro 18.</b> Concentración de antocianinas en variedades de frijol criollo (mg/100g). ....	84

## RESUMEN

El frijol es considerado como un alimento funcional, forma parte de la milpa, sistema de producción de alimento en zonas rurales que combina materiales criollos de frijol, maíz, calabaza y otros, promoviendo la identidad cultural, la biodiversidad y la sostenibilidad. **Objetivo:** Evaluar la calidad nutricional y nutracéutica de diferentes materiales genéticos de frijol criollo provenientes de cultivos en sistemas de milpa en Veracruz. **Materiales y métodos:** En 2021 se cosechó frijol criollo Enredador (*Phaseolus vulgaris* L.), Gordo (*Phaseolus dumosus*) y Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), en Ayahualulco, Xico y Acajete, Veracruz en milpas de montaña. Mediante análisis de componentes principales (PCA) y agrupamiento de 27 características: semilla, compuestos fenólicos totales F-C y por grupo, capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) y composición proximal, se establecieron las diferencias entre las especies de frijol criollo, así como por localidad. **Resultados:** Tamaño de semillas: Gordo>Ayocote>Enredador ( $67.57 \pm 3.82 - 72.39 \pm 3.73$ ;  $47.37 \pm 2.05 - 55.51 \pm 1.41$ ;  $18.31 \pm 1.09 - 24.52 \pm 1.19$  g/100 semillas). Fenólicos totales F-C ( $\bar{x} = 0.51 \pm 0.07$ ,  $0.3 \pm 0.01$ ,  $0.33 \pm 0.01$  mg EAG/g) y capacidad antioxidante DPPH Ayocote>Gordo>Enredador ( $450.27 \pm 10.27 - 582.82 \pm 43.67$ ;  $279.19 \pm 10.20 - 407.59 \pm 30.62$ ;  $233.54 \pm 15.21 - 353.43 \pm 24.77$   $\mu\text{mol ET/g}$ ). El frijol Enredador fue el que presentó las mayores cantidades de flavonoides ( $0.93 \pm 0.08 - 1.27 \pm 0.14$  mg ERUT/g) y Ayocote la menor en proteínas (18.3–18.7 g/100 g) para la mayor en fibra (6.38–6.42 g/100 g). El 89% de la variación es representada por tres componentes: el componente 1 (C1) (40%) tamaño, color y compuestos fenólicos totales por grupo: ésteres tartáricos, flavonas y flavonoides. El componente 2 (C2) (36%) densidad, fenólicos totales F-C, capacidad antioxidante, humedad, proteína y carbohidratos. El componente 3 (C3) (13%) forma de semilla, cenizas, lípidos y fibra. El PCA permitió distinguir los tres grupos de cada especie incluyendo sus respectivas zonas de cultivo. **Conclusiones:** La diversidad fenotípica de los frijoles criollos en apariencia física constituye características preferenciales de consumo, presentando diferencias en compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y proteína, y entre sitios de cultivo. Su asociación a la milpa permite mantener *in situ* su riqueza genética, permanecer a través del tiempo, y complementar la calidad de la alimentación.

**Palabras claves:** *nutraceútico, funcional, nutricional, antioxidante, fenólico, frijol criollo.*

## ABSTRACT

The bean is considered a functional food, it is part of the milpa, a food production system in rural areas that combines native materials of beans, corn, pumpkin and others, promoting cultural identity, the biodiversity and sustainability. **Objective:** To evaluate the nutritional and nutraceutical quality of different genetic materials of Creole beans from crops in milpa systems in Veracruz. **Materials and methods:** In 2021, Enredador (*Phaseolus vulgaris* L.), Gordo (*Phaseolus dumosus*) and Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) Creole beans were harvested in Ayahualulco, Xico and Acajete, Veracruz in mountain cornfields. Through principal component analysis (PCA) and grouping of 27 characteristics: seed, total phenolic compounds F-C and by group, antioxidant capacity (DPPH and ABTS) and proximal composition, differences were established between the landrace bean species, as well as by locality. **Results:** Seed size: Gordo>Ayocote>Enredador ( $67.57 \pm 3.82 - 72.39 \pm 3.73$ ;  $47.37 \pm 2.05 - 55.51 \pm 1.41$ ;  $18.31 \pm 1.09 - 24.52 \pm 1.19$  g/100 seeds). Total phenolics F-C ( $\bar{x} = 0.51 \pm 0.07$ ,  $0.3 \pm 0.01$ ,  $0.33 \pm 0.01$  mg EAG/g) and antioxidant capacity DPPH Ayocote>Gordo>Enredador ( $450.27 \pm 10.27 - 582.82 \pm 43.67$ ;  $279.19 \pm 10.20 - 407.59 \pm 30.62$ ;  $233.54 \pm 15.21 - 353.43 \pm 24.77$   $\mu\text{mol ET/g}$ ). The Enredador bean was the one that presented the highest amounts of flavonoids ( $0.93 \pm 0.08 - 1.27 \pm 0.14$  mg ERUT/g) and Ayocote the lowest in proteins (18.3–18.7 g/100 g) and the highest in fiber (6.38–6.42 g /100g). 89% of the variation is represented by three components: component 1 (C1) (40%) size, color and total phenolic compounds per group: tartaric esters, flavones and flavonoids. Component 2 (C2) (36%) density, total phenolics F-C, antioxidant capacity, moisture, protein and carbohydrates. Component 3 (C3) (13%) forms seed, ash, lipids and fiber. The PCA allowed us to distinguish the three groups of each species including their respective growing areas. **Conclusions:** The phenotypic diversity of landrace beans in physical appearance constitutes preferential consumption characteristics, presenting differences in phenolic compounds, antioxidant capacity and protein, and between cultivation sites. Its association with the cornfield allows its genetic wealth to be maintained in situ, to persist over time, and to complement the quality of the diet.

**Key words:** nutraceutical, functional, nutritional, antioxidant, phenolic, creole bean.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos provenientes de vegetales, aparte de contener nutrientes esenciales, también incluyen elementos denominados fitoquímicos, los cuales ofrecen ventajas suplementarias para la salud humana, estos componentes se encuentran presentes en los cereales, las frutas y las leguminosas (Guzman-Maldonado *et al.*, 2002). Las leguminosas son miembros de la familia Fabaceae o Leguminosae e incluyen leguminosas de grano económicamente importantes (Singh *et al.*, 2007), que se consideran esenciales dentro de una dieta balanceada, ya que no solo aportan una cantidad significativa de proteínas y carbohidratos de absorción lenta, sino también una variedad de minerales, fibra y compuestos bioactivos en cantidades minoritarias, estos alimentos desempeñan un papel crucial en la prevención de enfermedades asociadas con una dieta deficiente, lo que resulta en mejoras significativas en la salud cardiometabólica (Guerrero-Wyss, & Durá-Agüero, 2020). Las leguminosas conforman una amplia familia de plantas que se distinguen por el desarrollo de su fruto en forma de legumbre, dentro del cual se encuentran las semillas, algunas variedades se consumen en estado verde, aprovechando tanto el grano tierno como la vaina, mientras que otras se dejan secar, se desprenden de la vaina y se consumen los granos una vez rehidratados, lo que se conoce comúnmente como legumbres (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2010). Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) son miembros de las Leguminosae, familia Phaseoleae, subfamilia Papilionoideae (Hayat *et al.*, 2014), destacan cinco especies que se han domesticado: *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol comba), *Phaseolus dumosus* (frijol gordo) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari) (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2010; Chacón-Sánchez, 2018). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante (Morales-Santos *et al.*, 2017) y ocupa un lugar significativo en la agricultura mexicana debido a la extensión de terreno destinado a su siembra y cantidad de cosecha obtenida (Ayala-Garay *et al.*, 2021).

La riqueza genética del frijol se ve afectada por cambios en los patrones de consumo, factores como la urbanización, la modernización y la sofisticación a menudo han dado lugar a dietas caracterizadas por un elevado consumo de azúcares y grasas, así como un aumento en la ingesta de sal, estos hábitos nutricionales adversos, adoptados por

la mayoría de las personas, han contribuido al incremento de enfermedades crónicas, cuyas consecuencias, si no se abordan a tiempo, pueden ser fatales (Gómez-Delgado & Velázquez Rodríguez, 2019).

La ingesta de alimentos de origen vegetal ofrece una diversidad de flavonoides que, al interactuar de manera sinérgica, pueden desempeñar funciones como agentes anticancerígenos y antiinflamatorios (Tirdil'ová *et al.*, 2022). La evidencia epidemiológica indica que el consumo regular de frijoles comunes conlleva numerosos beneficios para la salud, como el control del peso, la regulación de la glucosa y la insulina, así como la reducción de los niveles de lípidos y colesterol malo (Lipoproteína de Baja Densidad (LDL)) en la sangre, estos efectos positivos se atribuyen a las propiedades antioxidantes y otras características propias de los frijoles (Lin *et al.*, 2020; Suarez-Martínez *et al.*, 2016). Los antioxidantes están asociados con la reducción de enfermedades crónicas, ya que tienen la capacidad de neutralizar las especies reactivas de oxígeno, previniendo así los procesos oxidativos que pueden resultar en la degeneración celular, estos compuestos confieren beneficios significativos para la salud gracias a su capacidad para contrarrestar los efectos perjudiciales de la oxidación (Pérez-Pérez *et al.*, 2020). El frijol ha adquirido relevancia en el campo médico debido a la evidencia que respalda las propiedades nutraceuticas de muchos de sus componentes (Teniente-Martínez *et al.*, 2016). Es por ello, que se planteó el objetivo de evaluar la calidad nutricional y nutraceutica de diferentes materiales genéticos de frijol criollo de las especies *P. vulgaris* o frijol común, *P. coccioneus* o ayocote y *P. dumosus* o frijol gordo, que se consumen en México provenientes de cultivos en sistemas de milpa en tres localidades del estado de Veracruz. En la actualidad, se ha utilizado el frijol como un alimento en la prevención y/o tratamiento de enfermedades crónico degenerativas, de esta manera se busca que los resultados de esta investigación puedan servir para crear información científica de que clase de frijol puede tener la mejor composición nutraceutica y nutricional para incorporarlo en futuros proyectos biomédicos.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Dieta y Salud en México

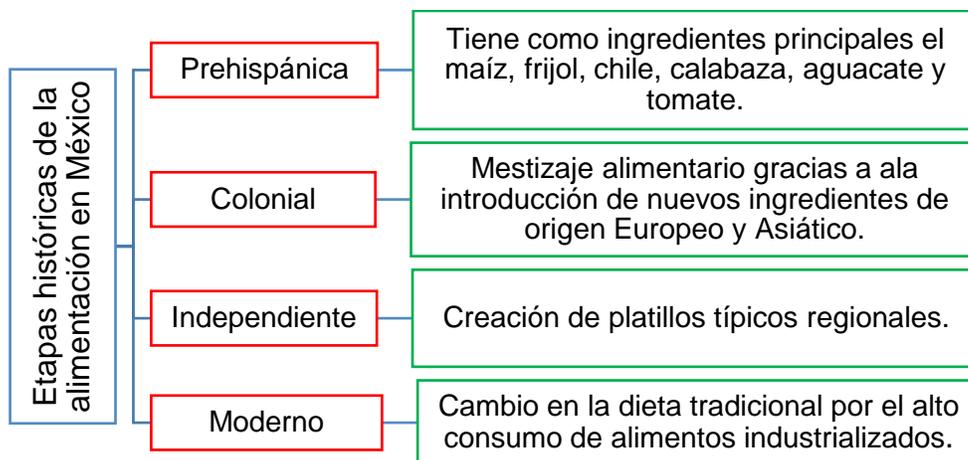
Durante las últimas décadas se ha observado en México un proceso de desarrollo económico acompañado de cambios socioculturales significativos, factores como la globalización, la disminución de la biodiversidad, la creciente preferencia por alimentos industrializados en detrimento de los platos étnicos tradicionales, y la migración de zonas rurales a urbanas han contribuido a una transformación radical en nuestro estilo de vida (Román *et al.*, 2013). Esta situación ha ocasionado una transformación en la cultura alimentaria de nuestro país, repercutiendo en la nutrición, calidad de vida y hábitos de la población, estos cambios han dado lugar a un nuevo perfil de salud-enfermedad, caracterizado por un marcado aumento de enfermedades crónicas degenerativas asociadas con la alimentación, como la diabetes y la obesidad, entre otras (Ibarra, 2016).

Se observa una variación en los hábitos alimentarios de la población mexicana, donde se está abandonando la dieta tradicional, caracterizada por su equilibrio, variedad y riqueza en nutrientes (Gómez-Delgado & Velázquez-Rodríguez, 2019) e incorporándose estilos de vida sedentarios y un aumento en el consumo de alimentos que incluyen más productos animales, aceites vegetales, edulcorantes y alimentos procesados, mientras que se reduce el consumo de granos entero (Popkin, 2002). Este cambio de la cultura alimentaria ha ocasionado problemas de salud, un gran número de personas han adquirido una alimentación con menor calidad proteica y de vitaminas, lo que se ve exacerbado por la disminución de la actividad física causada por la automatización de muchas actividades que solían requerir esfuerzo físico, dando como resultado que los genes relacionados con la interacción de la dieta y el medio ambiente actúen facilitando la aparición de enfermedades crónicas (Tovar-Palacio *et al.*, 2020).

### 2.1.1. Historia de la Alimentación en México a Través del Tiempo

La historia de la alimentación en México se encuentra relacionada con la evolución del hombre, los cambios demográficos y los procesos rápidos de urbanización, de manera que las costumbres y las tradiciones están vinculadas con las adaptaciones evolutivas en relación con la dieta y la cultura, las cuales se transmiten de generación en generación, aunque están sujetas a cambios con el paso del tiempo (Marín-Marín *et al.*, 2004).

La agricultura mesoamericana tuvo una domesticación prodigiosa con maíz, frijol y calabaza, mejor conocidas como la “triada mesoamericana” obteniendo una sólida base cultural junto a otros cultivos menores, siendo algunos los ingredientes básicos de la alimentación tradicional mexicana (Siddiq & Uebersax, 2021). En las últimas décadas, la atención de los estudios arqueológicos se ha dirigido hacia Mesoamérica, en gran parte debido a su rica diversidad cultural y al papel fundamental que el frijol desempeña en la dieta de sus habitantes (Figura 1), los estudios de los restos vegetales descubiertos en cuevas de Oaxaca, Puebla y Tamaulipas ha sugerido que el frijol común fue la última de las tres plantas de mayor importancia (maíz, calabaza, frijol) en ser domesticadas en la región de Mesoamérica (Hernández-López *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Etapas históricas de la alimentación en México. Fuente: Gómez-Delgado & Velázquez-Rodríguez (2019).

La comida prehispánica sufrió cambios tras la conquista en 1521, los ingredientes de la dieta prehispánica se vieron modificados significativamente, pero no fueron completamente reemplazados, debido a la introducción de ganado vacuno, caprino, porcino y ovino, así como de gallinas, huevos y pollos; granos como arroz, garbanzo, judías y lentejas, además de manzanas (Román *et al.*, 2013), lo que conllevó a un mestizaje de alimentos, mezclándose tanto los ingredientes como las técnicas culinarias con la cultura española.

A partir del siglo XIX, cuando México era un país recién independizado, abrió sus puertas a los visitantes e incluso a inmigrantes extranjeros no españoles, quienes trajeron influencias de las cocinas de Italia y Francia, de igual manera se inicia la influencia de hábitos estadounidenses (Ramírez-Rodríguez, 2019).

En la actualidad, México ha experimentado una transición alimentaria y nutricional marcada por la substitución del consumo de alimentos tradicionales por el de alimentos industrializados, los cuales poseen alta densidad energética y escasa calidad nutricional, debido a los mestizajes realizados durante los dos siglos del México independiente se refleja hoy en día en numerosos platillos con elevada cantidad de grasa total, colesterol y carbohidratos refinados, además de bajos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (Islas-Vega *et al.*, 2020).

### **2.1.2. Salud y Alimentación en México**

La malnutrición es un problema que afecta a las personas de distintas maneras. Por un lado, la desnutrición infantil, causada por la ausencia de una dieta equilibrada, puede tener efectos adversos en el desarrollo cognitivo y motor, así como en la inmunidad, y posiblemente aumentar el riesgo de enfermedades crónicas degenerativas (Shamah-Levy *et al.*, 2018). Por otro lado, el exceso de consumo de alimentos poco saludables puede provocar cambios metabólicos clave que aumentan la posibilidad de presentar diabetes, que se define como un exceso de glucosa en el cuerpo, lo cual puede tener efectos perjudiciales para la salud, los estudios epidemiológicos la relacionan con diversas condiciones cardiovasculares como la hipertensión y los infartos, así como con diferentes tipos de cáncer, enfermedades de

la vesícula, depresión, trastornos musculoesqueléticos y síntomas respiratorios (Torres & Rojas, 2018).

Según una investigación llevada a cabo por Calvo-Molina et al. (2019), se identificó que la sobrealimentación y la falta de actividad física fueron los principales factores vinculados al sobrepeso, lamentablemente, la dieta moderna occidental ha facilitado el acceso a alimentos con altos niveles de grasas y carbohidratos simples (Queseda et al., 2022). Así mismo, con el transcurso del tiempo, ha ocurrido un incremento en el tamaño de las raciones y en el número de comidas diarias, lo que ha resultado en un aumento en la ingesta diaria de calorías (González-Jiménez, 2011). Se puede observar una reducción en el gasto individual en alimentos recomendados como frutas, verduras, lácteos y carnes, mientras que aumenta el gasto en alimentos ricos en calorías y bebidas azucaradas (Albala et al., 2002).

La falta de acceso a alimentos saludables y accesibles, particularmente en las zonas rurales y en las áreas urbanas empobrecidas, se considera una de las principales causas de la mala salud y la malnutrición en México (Ortiz-Gómez et al., 2005). Aunque hay suficiente evidencia de los peligros para la salud causados por la exposición constante a alimentos con alto contenido energético, grasa y azúcares añadidos, la población los sigue eligiendo debido a su sabor atractivo y a que han estado expuestos a ellos desde una edad temprana, dando como resultado una población vulnerable a largo plazo, con deficiencias nutricionales y efectos negativos en el crecimiento adecuado (Monroy-Torres et al., 2021).

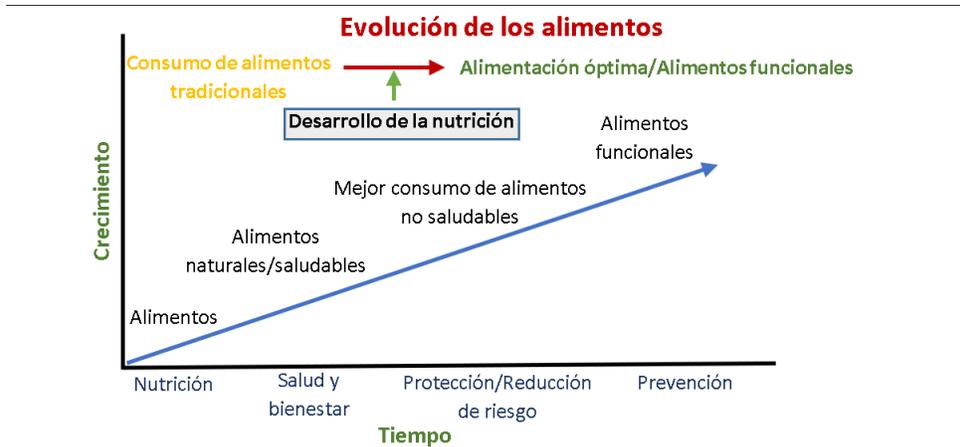
El sistema de salud pública de México está siendo sobrecargado debido a la epidemia de obesidad y las enfermedades relacionadas con ella, por su parte Islas-vega et al. (2020) informan que en el país más del 70% de los adultos padecen sobrepeso u obesidad, así como el 35% de los adolescentes y cerca del 10% de los niños menores de 5 años. La obesidad está vinculada con el fallecimiento de aproximadamente 170 mil mexicanos cada año, siendo una de las cinco principales causas de muerte en México y la diabetes mellitus se posiciona como la segunda causa de muerte en México, con alrededor de 100 mil fallecimientos anuales (Calvillo & Székely, 2018).

La problemática alimentaria es preocupante, una nutrición adecuada puede atenuar estos factores, siendo la alimentación apropiada una clave para la supervivencia, la salud y el crecimiento saludable del ser humano, pero las dietas deficientes continúan aumentando las tasas de enfermedades crónicas, aumentar el consumo de frijoles secos y otras legumbres puede ser una alternativa sostenible para ayudar a combatir dicho problema, por ser una fuente importante de antioxidantes. Moreno-Espinoza et al. (2021) hacen mención de que el consumo de leguminosas está vinculado a una reducción en el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (ECV), así como de algunos factores asociados, como la obesidad, hipertensión arterial y diabetes tipo 2 (DT2).

## **2.2. Antecedentes y Conceptualización de los Alimentos Funcionales**

Durante la primera mitad del siglo XX, el estudio de los nutrientes esenciales había tenido un enfoque primordial para los nutricionistas, pues se centraban solo en los beneficios aportados a la sociedad mediante su ingesta, lo que era comúnmente conocido como una nutrición adecuada, mientras que, durante la segunda mitad del mismo siglo, no solo se centraba en la importancia de una alimentación adecuada para la prevención de determinados problemas de salud, si no que el interés se empezó a orientar mayormente hacia los compuestos bioactivos que contenían dichos alimentos y con ello, se empezó a analizar el papel que cumple la alimentación en la promoción de la salud, lo que hoy es definido como una óptima nutrición (Figura 2) (Rodríguez & Mejía, 2003).

Con el transcurso de los años, el término alimento funcional (AF) ha despertado el interés de la comunidad científica, propuesto por primera vez en Japón en la década de 1980, el cual, estableció fundamentos sanitarios encaminados a mejorar la salud de la población mediante su consumo, esto a través de la publicación de la reglamentación de alimentos para uso específico de salud (FOSHU, por sus siglas en inglés), refiriéndose a estos alimentos, que contienen ingredientes de gran valor nutrimental y un beneficio adicional, desempeñando funciones específicas dentro del organismo humano, encaminados al objetivo de una mejora de la salud y reducción de riesgo ante diversas enfermedades (Zamora-Intriago, & Barbosa, 2019).



**Figura 2.** Desarrollo de los alimentos funcionales. Fuente: Valenzuela et al. (2014).

Por otro lado, muchas de las enfermedades crónicas que afligen a la sociedad hoy en día, como diferentes tipos de cáncer, obesidad, hipertensión, trastornos cardiovasculares, entre otros, poseen una estrecha relación con la ingesta alimenticia diaria y el estilo de vida, de ahí el lema "deja que la alimentación sea tu medicina y la medicina sea tu alimentación", frase propuesta por Hipócrates hace casi 2500 años y retomada actualmente en este campo, puesto que, la preocupación existente entre el estado de salud personal y la alimentación ha incrementado en los últimos años, con un gran auge en las ciencias de la investigación médica (Flórez-Flórez, *et al.*, 2015).

En relación a la legislación en materia de estos macronutrientes y micronutrientes, con soporte científico que avale los beneficios a la salud de los componentes funcionales, se destacan los esfuerzos encabezados por Japón, con la legislación FOSHU, y Estados Unidos de América, con las modificaciones a la Ley de etiquetado y educación nutricional (NLEA, por sus siglas en inglés) y la Ley de suplementos dietarios, salud y educación (DSHEA, por sus siglas en inglés), siendo estas asociaciones, las que permitieron dar pie al consecuente crecimiento en la industria alimentaria, contribuyendo a su producción, consumo y mercado a los alimentos funcionales, creando nuevas alternativas económicas, que para muchos países pueden constituir, además, una excelente alternativa en la lucha por mejorar la nutrición y salud en la sociedad (Zamora-Intriago & Barbosa, 2019).

### **2.2.1. Etiquetado de Alimentos**

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la etiqueta alimentaria, se refiere a cualquier elemento gráfico o descriptivo, como marbetes, rótulos, marcas o imágenes, que se haya escrito, impreso, estarcido, marcado en relieve o en huecograbado o adherido al envase de un alimento o producto alimentario (Carballo Herrera *et al.*, 2012).

Se ha recomendado el etiquetado de alimentos como una política pública para proteger el derecho a la salud, de esta manera, se espera que el etiquetado contribuya a la promoción de una alimentación saludable al permitir que el consumidor tome decisiones más informadas sobre su dieta (Sierra-Tobón, 2021).

Los factores de riesgo nutricionales son uno de los principales determinantes conductuales de las enfermedades crónicas y se han propuesto diversas estrategias para mejorar el comportamiento alimentario de la población, una de ellas es el etiquetado frontal de paquetes (EFP), el cual tiene como objetivo promover una alimentación más saludable y reducir la carga de enfermedades y, a su vez, incentiva a la industria alimentaria a reformular sus productos con una mejor calidad nutricional (Hernández-Nava *et al.*, 2020).

Desde el año 2014, se han establecido en México ciertas reglas que indican qué información deben incluir los productores de alimentos y bebidas no alcohólicas en el área frontal de sus envases, además, se ha creado un manual que contiene valores de referencia sobre los nutrientes y energía presentes en estos productos, con el fin de que los consumidores puedan conocer el contenido nutricional y aporte energético de los alimentos y bebidas no alcohólicas que vienen en envases preenvasados (Tolentino-Mayo *et al.*, 2018).

### **2.3. Origen del Frijol**

Durante más de un millón de años, nuestros ancestros vivieron como cazadores y recolectores. Sin embargo, entre los años 3000 y 8000 a.C., las primeras sociedades humanas sedentarias comenzaron a surgir y fueron capaces de producir sus propios alimentos mediante la domesticación de una amplia variedad de plantas y animales en diferentes partes del mundo, incluyendo las regiones de Mesoamérica y los Andes en América, la domesticación de plantas y animales fue un factor clave en lo que se conoce como "La Revolución Neolítica", un hito en la historia humana en el cual la agricultura se convirtió en la base de la economía (Smith, 2006).

Por su parte Hernández-López et al. (2013) señalan que diversos estudios con enfoques arqueológicos, morfológicos-agronómicos, bioquímicos y moleculares proporcionan pruebas de que el frijol es originario de la región de Mesoamérica, específicamente en el occidente y sur de México, que se extiende desde Jalisco hasta Oaxaca, además, estas investigaciones señalan que hubo dos centros de domesticación del frijol: uno primario en Mesoamérica y otro secundario en la región Sur Andina.

#### **2.3.1. Generalidades**

Dentro del grupo de plantas conocido como leguminosas, se encuentra el género *Phaseolus* (García-Díaz, 2016), se conoce como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la semilla madura (lista para germinar) de la planta perteneciente a la clase de las *magnoliopsida*, del orden de las *Fabales* y de la familia *Leguminosae* (Cuadro 1).

**Cuadro 1 .** Taxonomía del género *Phaseolus*.

<b>Clasificación Taxonómica</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Tribu	<i>Phaseoleae</i>
Genero	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris L</i>

Fuente: Rubio-Landa (2017).

Existen diversas maneras de clasificar las variedades de frijol, cada país clasifica sus variedades de frijol en función de las características de su grano, especialmente en relación a su tamaño y color (Figura 3), en cuanto al color, Ulloa et al. (2011) mencionan que existen variedades de frijol clasificadas en distintos grupos: blanco, crema, amarillo, café marrón, rosado, rojo, morado, negro, entre otros, mientras el tamaño se determina por el peso de 100 granos, y los materiales se clasifican en tres grupos: pequeños (hasta 25 g/100 semillas), medianos (entre 25 y 40 g/100 semillas) y grandes (desde 40 g/100 semillas), por otra parte, en función de su consumo se pueden distinguir aquellas que se utilizan como grano seco y aquellas que se consumen en vaina verde.



**Figura 3.** Variedades de frijol por color y forma. Fuente: Delgado & Gama-López (2015).

### **2.3.2. Domesticación del frijol**

Se considera que en total existen alrededor de 70 especies; de las cuales más de 50 se encuentran en México, destacando cinco especies que se han domesticado *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol lima), *Phaseolus dumosus* (frijol gordo) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari) (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2010).

Las cinco especies mencionadas se cultivan en la mayoría de los continentes, siempre y cuando el clima sea similar al de su lugar de origen o a su distribución geográfica en los centros de variabilidad genética (Ayala-Garay *et al.*, 2021). Investigaciones recientes han demostrado que las semillas de estas especies tienen un gran potencial biológico y funcional, lo que las convierte en beneficiosas para la salud (Alcázar-Valle *et al.*, 2020).

#### *2.3.2.1. Especies domesticadas*

En México, gran parte del frijol que se cultiva y consume proviene de variedades nativas o criollas y en menor nivel de variedades mejoradas, las cuales presentan ventajas agronómicas y también de calidad, en ambos casos, pero particularmente en los genotipos nativos, cuya siembra tradicionalmente es para autoconsumo, es común,

además de la producción de grano seco, aprovechar el cultivo para obtener ejote (Muñoz-Velázquez *et al.*, 2009). Dentro de las especies domesticadas con calidad nutrimental se encuentran:

***Phaseolus vulgaris* L (frijol común).** Es una especie nativa de los trópicos de América, es la leguminosa alimenticia más importante en el mundo, este cultivo se produce en sistemas, regiones y ambientes diversos en América Latina (Morales-Santos *et al.*, 2017). Así mismo es considerado uno de los componentes principales de la dieta de la población mexicana junto con el maíz, desde hace tiempo, la producción y consumo del frijol es una tradición arraigada en la cultura mexicana y es un cultivo de gran importancia económica (Teniente-Martínez *et al.*, 2016).

Se trata de una planta herbácea que pertenece a la familia de las fabáceas, sus tallos son delgados y débiles, con una forma cuadrangular y, en ocasiones, rayados de púrpura, con hojas trifoliadas, ápice acuminado y laterales que pueden ser más o menos tubulosos, y su estandarte es redondeado, puede llegar a medir entre 50 y 70 cm de altura y sus raíces tienen una raíz pivotante principal y muchas ramificaciones, el fruto es una vaina suavemente curvada y dehiscente, es decir, que se abre naturalmente cuando está madura (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019).

Esta vaina puede medir de 10 a 12 cm y puede ser de color verde, morado o casi negro, en su interior, las semillas pueden tener diferentes formas (oblongas, ovals o redondeadas) y ser poco comprimidas (Figura 4), también pueden tener diferentes colores como café, negro, moteadas de café, rojo o negro, dependiendo de la variedad de la planta (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2017).



**Figura 4.** Vaina o ejote y semillas de frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*). Fuente: SAGARPA (2017).

***Phaseolus coccineus L.* (frijol ayocote).** Nativo de las zonas montañosas de Mesoamérica, ha sido cultivado desde la época precolombina e Investigaciones recientes indican que se domesticó hace unos 2200 años en el Valle de Tehuacán, Puebla, México, aunque se cultiva anualmente, su crecimiento natural es perenne en áreas húmedas a una altitud de más de 1800 metros sobre el nivel del mar, esta es la segunda especie más importante en la alimentación de los mexicanos, después del frijol común (Vargas-Vázquez *et al.*, 2012).

Es una planta enredadera y perenne que es herbácea y trepadora, tiene inflorescencias que miden hasta 20 centímetros y más de 20 ramillas fructíferas, sus flores pueden variar en color desde rojo brillante, escarlata, blanco, morado y naranja, pero raramente son de dos colores, la planta se distingue por sus tallos largos de varios metros que se originan a partir de una raíz primaria gruesa y carnosa que tiene prominencias capaces de generar nuevos brotes (Figura 5) (Ayala-Garay *et al.*, 2021).



**Figura 5.** Planta *Phaseolus coccineus* L. Fuente: Naturalista México (2022).

En un estudio realizado por Alvarado-López et al. (2019), se resaltó la importancia de los frijoles ayocote como una valiosa fuente de componentes nutricionales, ricos en antioxidantes y otros micronutrientes benéficos para la salud, todas las variedades de estos frijoles se caracterizan por tener bajos niveles de lípidos y altos niveles de carbohidratos.

***Phaseolus dumosus* (frijol gordo).** Se puede distinguir fácilmente de otras especies por su germinación epigea (tipo de germinación en la que la plántula emerge del suelo con las primeras hojas completamente desarrolladas y expuestas al aire y a la luz), sus raíces fasciculadas y fibrosas, sus inflorescencias con 6 a 16 ramas fructíferas, sus brácteas primarias y bractéolas alargadas y estrechas, que le dan un aspecto de espiga, sus flores blancas o lila (rosado morado en la forma silvestre) y su estigma terminal, por otra parte, su semilla presenta un peso entre de 70 a 100 gramos por cada 100 semillas en la forma domesticada y de 16 a 25 gramos en las formas silvestres, tiene un hilo elíptico y amplio, y el parahilo a menudo está fracturado (Figura 6) (Ayala-Garay et al., 2021).



**Figura 6** . Planta y vaina de *Phaseolus dumosus*. Fuente: Naturalista (2020); Ayala-Garay et al. (2021).

En comparación con las formas silvestres y otras especies, *P. dumosus* parece estar menos evolucionada, lo que sugiere que ha sido domesticada recientemente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

De acuerdo con datos proporcionados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en la región mixe se cultivan diversos frijoles en el sistema milpa, dentro de los cuales destaca el ‘frijol gordo’ (*Phaseolus dumosus*) que también se aprovecha en ejotes.

#### **2.4. Frijol Cultivado (criollo)**

El frijol cultivado se divide en dos grupos: el criollo y el mejorado, ambos destinados para el consumo humano, por su parte, el frijol criollo es el resultado natural del proceso de domesticación, sin manipulación genética, históricamente ha sido sembrado por campesinos de forma local en casi todos los estados de la República Mexicana, lo que ha dado lugar a una amplia variedad en la morfología y color de las semillas (Espinosa-Alonso, 2006).

México es un centro de origen del frijol, y cuenta con un vasto acervo de poblaciones criollas, con diversas características físicas y químicas del grano, así como también en

su tolerancia a envejecerse durante el almacenamiento (Sagerman-Jarquín *et al.*, 2010). Se estima que existen 70 variedades criollas de frijol que se distribuyen en siete grupos principales: negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados y que se han utilizado para generar más de 150 variedades mejoradas (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA], 2016).

Las semillas criollas, también conocidas como semillas nativas o locales, corresponden a semillas domesticadas que han sido seleccionadas debido a sus características físicas y agronómicas, y que generalmente son cultivadas localmente y poseen características específicas determinadas por el entorno donde se desarrollan y son principalmente aprovechadas por los agricultores locales como fuente de alimento de autoconsumo y como material para cultivar sus propias parcelas (Rivas-Platero *et al.*, 2013). El preservar las semillas criollas representa una estrategia fundamental para garantizar la Soberanía y Seguridad Alimentaria de las familias campesinas, estas semillas constituyen la herencia de nuestros antepasados que han sido cuidadosamente conservadas a lo largo de generaciones (Rivera-Jarquín & Zamora-Blandón, 2014).

Cultivar frijol criollo no solo es una práctica cultural heredada, sino que también representa una forma de independencia frente a la agricultura comercializada, las variedades de frijol que los campesinos siembran son aquellas que han sido cultivadas por sus antepasados y que llevan consigo prácticas agrícolas y hábitos culinarios tradicionales, la elección de incluir estas variedades criollas en medio de la diversidad de cultivos y tipos de frijol es una muestra de que los campesinos aún tienen la libertad de decidir qué sembrar, consumir y compartir con la comunidad, incluso en medio de situaciones adversas en el campo mexicano (León-Rojas *et al.*, 2020).

Los cultivares criollos tienen la ventaja de estar adaptados a las condiciones ambientales propias del trópico húmedo, que se caracteriza por bajas altitudes y elevadas temperaturas y precipitaciones, estos cultivares se ajustan eficientemente a sistemas de producción que utilizan bajos insumos, convirtiéndolos en valiosos donadores potenciales de genes, esto resulta fundamental para el desarrollo y

sostenimiento de variedades modernas, así como para su mejora continua y su uso directo por los agricultores de la región (Vidal-Barahona *et al.*, 2006).

Las variedades criollas exhiben una adaptación más destacada a diversos climas, mostrando resistencia frente a plagas, enfermedades y sequías, logrando rendimientos satisfactorios, además, los agricultores utilizan su propia semilla de siembra, lo que reduce sus gastos al evitar la compra de semillas mejoradas, esto se debe a que las semillas mejoradas demandan un manejo agronómico más avanzado y una mayor cantidad de fertilizantes, lo que incrementa los costos de producción (Herrera *et al.*, 2014).

La composición química de los granos de frijol secos varía según el tipo de cultivo, la ubicación geográfica y las condiciones ambientales en las que se desarrollen, pero en términos generales, el contenido promedio de proteínas oscila entre el 20% y el 25% del peso, los hidratos de carbono entre el 50% y el 60%, la grasa entre el 0.5% y el 2.5%, y la fibra entre el 4% y el 5%, además, se observa una presencia significativa de minerales como hierro (4 y 8 mg/100 g), calcio (25-50 mg/100 g), y magnesio (50-150 mg/100 g) (Dios-Espinobarrios, 2012).

El tiempo de cocción representa uno de los factores críticos de calidad más significativos en el grano de frijol, según Pérez-Herrera *et al.* (2002), con una inclinación hacia la obtención de frijoles que requieran el menor tiempo de cocción. En un estudio realizado por Dios-Espinobarrios (2012), en total el 64% de los frijoles criollos analizados presentaron suavidad a la cocción, el 26% cocción intermedia y el 10% dureza a la cocción y en promedio los frijoles presentaron un tiempo de cocción igual a 68 minutos.

## **2.5. Producción de Frijol**

### **2.5.1. Producción Anual de Frijol**

Diversas clases de frijol se encuentran en todas las regiones agrícolas del país, lo que conlleva a que más de 570 mil productores participen de manera directa en su cultivo, generando miles de empleos permanentes, siendo alrededor de 13 mil millones de pesos el valor anual de la producción (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022).

#### **Producción mundial.**

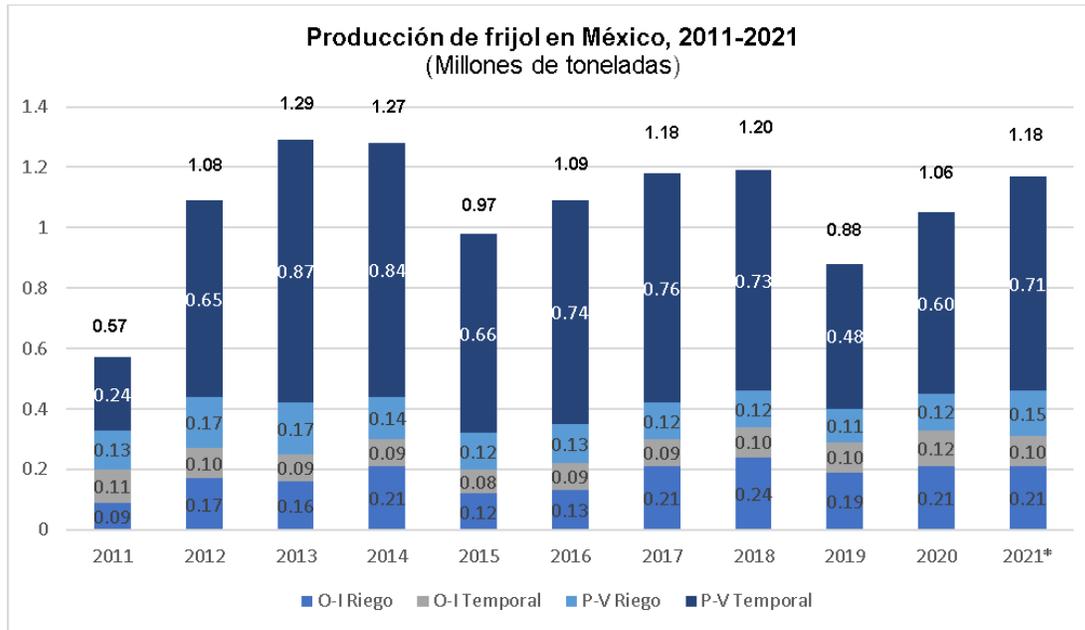
El cultivo representa una actividad económica relevante para las familias campesinas y consumidores, según las Organizaciones de las Naciones Unidas (FAO, 2024), el área cosechada de frijoles secos en el mundo fue en promedio de 36,792,490 millones de toneladas (mdt), con una producción de 28,346,198.86 mdt durante el año 2022, en donde México ocupó el octavo lugar en producción mundial de frijoles con una cantidad de 1.002 mdt, sin embargo, los cinco países con la mayor producción de frijoles en ese año fueron principalmente India con 6.6 mdt, Brasil (2.8 mdt), Myanmar (2,6 mdt), República Unida de Tanzania (1.37 mdt), y Uganda (1.30 mdt).

#### **Producción nacional.**

De acuerdo con datos oficiales, en el año agrícola 2021 la producción nacional de frijol tuvo un alza de 11.3% con respecto al año agrícola anterior, generando en total un valor de 1.176 millones de toneladas (Figura 7), en el ciclo otoño-invierno se cosecho 311.64 miles de toneladas (26.5%), y 864.36 miles de toneladas (73.5%) en el ciclo primavera-verano, mientras que la producción del ciclo otoño-invierno disminuyó 3.5% a tasa anual, la del ciclo primavera-verano se incrementó 18.0% (SIAP, 2022).

Con el fin de conocer la relación entre el rendimiento del frijol a través de los años, se puede deducir con los datos publicados por SIAP-SADER en el año 2022, que a pesar de haber un incremento de 34% en la producción total de frijol en México desde el año 2019 al 2021, aún no se pueden superar los valores obtenidos en el año 2013, esto se debe a diversos factores, como la fuerte afectación a las siembras en el ciclo agrícola

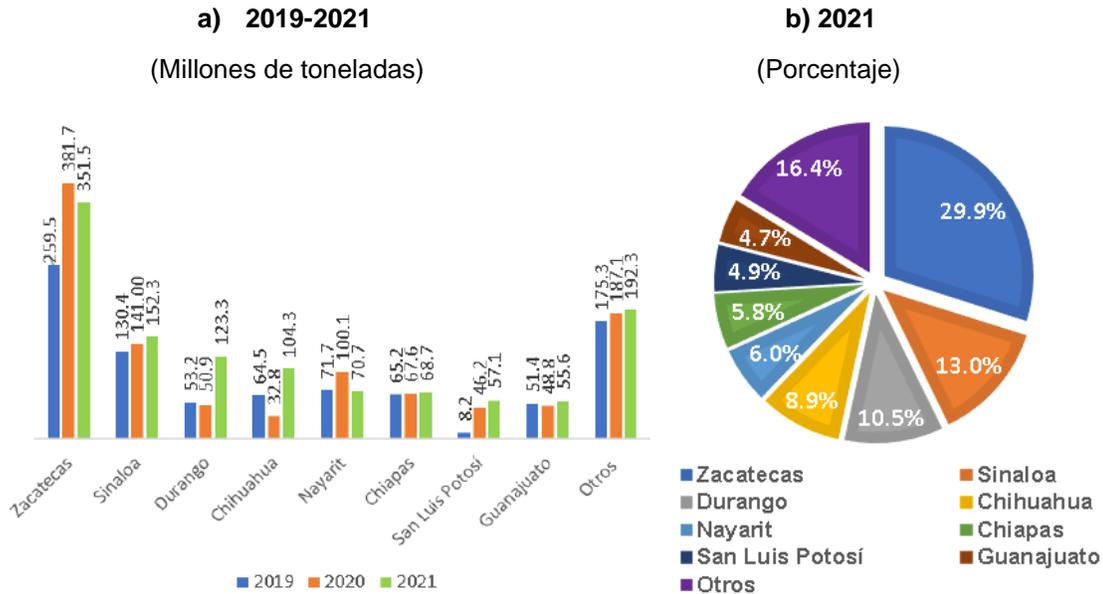
2019 debido a la escasa y errática precipitación, mientras que en 2020 la escasez de humedad afectó los rendimientos en el cultivo en las principales regiones productoras de temporal (Prieto-Cornejo *et al.*, 2019).



**Figura 7.** Comparación de la producción nacional de frijol en México, 2011-2021. Fuente: SIAP (2022).

Del total de producción de frijol en México en el año 2021 (Figura 8), el 29.9% se obtiene en el estado de Zacatecas con 351.5 mil toneladas, siendo el primer productor nacional, sin embargo, ocurrió una disminución anual de 7.9%, debido a que la irregularidad en las lluvias afectó las siembras de temporal, seguido de Sinaloa con 13.0%, que corresponde a 152.3 mil toneladas, en este caso incrementó a una tasa anual de 8.0%, y el tercer estado con mayor producción Durango con 10.5% de producción (123.3 mil toneladas), y un incremento anual de 142.4% (SIAP, 2022).

## Principales estados productores de frijol



**Figura 8.** Principales estados productores de grano de frijol en México, por año agrícola. Fuente: SIAP (2022).

En los diez principales municipios productores de frijol en el país se concentró 37.1 del volumen cosechado de frijol en México en el año agrícola 2021 (Cuadro 2), Fresnillo, Zacatecas se posiciona como el municipio con mayor producción de frijol, con un total de 68.270 mil toneladas, el segundo municipio con 54.854 mil toneladas fue Sombrerete, Zacatecas y en tercer posición el municipio de Guasave, Sinaloa con una producción de 47,919 mil toneladas, mientras que en el estado de sinaloa predomina el cultivo de frijol con riego, por otro lado, en los estados de Zacatecas, Durango y Chihuahua, predomina el cultivo de temporal (SIAP, 2022).

**Cuadro 2.** Principales municipios productores de grano de frijol en México, ciclo agrícola 2021

Municipio	Superficie sembrada	Superficie cosechada	Superficie siniestrada	Producción	Rendimiento
	(Hectáreas)			(Toneladas)	(t/ha)
Fresnillo, Zacatecas	85,976	85,940	36	68,270	0.79
Sombrerete, Zacatecas	95,700	95,700	0	54,854	1
Guasave, Sinaloa	27,140	27.14	0	47,919	1.77
Ahome, Sinaloa	21,383	21,383	0	39,617	1.85
Río Grande, Zacatecas	63,295	63,295	0	34,397	0.54
Namiquipa, Chihuahua	31,580	31,580	0	27,137	0.86
Miguel Auza, Zacatecas	44,380	44,380	0	25,187	0.57
Cuecamé, Durango	39,594	39,594	0	23,290	0.59
Pinos, Zacatecas	49,665	49,665	0	22,441	0.45
Villa de Ramos, San Luis Potosí	47,305	42,775	4,530	21,118	0.49
Otros	1,109,857	1,094.68	15,180	811,486	0.74
<b>Total</b>	<b>1,615,875</b>	<b>1,596,130</b>	<b>19,746</b>	<b>1,175,715</b>	<b>0.74</b>

Fuente: SIAP (2022).

## 2.5.2. Condiciones de cultivo

El frijol es un cultivo adaptable a diferentes condiciones de suelo y clima, lo que lo ha llevado a tener presencia en todas las entidades federativas del país, de manera que para su correcto desarrollo, es importante considerar las temperaturas óptimas que van desde los 10 hasta los 27 °C, ya que es muy sensible a condiciones extremas y requiere de suelos bien drenados y de textura ligera, asimismo, el pH adecuado para su cultivo se encuentra entre 6.5 y 7.5, puesto que en este rango la mayoría de los nutrientes del suelo están disponibles para la planta, aunque también puede adaptarse a suelos con un pH de 4.5 a 5.5 (SAGARPA, 2017).

La Secretaría de Economía menciona que el frijol es cultivado en la mayoría de las regiones del país y se adapta a diversas condiciones de suelo y clima, lo que lo convierte en el segundo cultivo más importante después del maíz en términos de superficie sembrada, sin embargo, la principal barrera para su producción es la escasez de agua (Ayala-Garay *et al.*, 2021).

## 2.6. Sistema Milpa

### 2.6.1. ¿Qué es el Sistema Milpa?

En México, se utiliza el término milpa (proveniente del náhuatl "*milpan*", que significa "parcela sembrada" y "*pan*", que significa "encima de") para referirse a un sistema agrícola tradicional que se compone de múltiples cultivos y que representa un espacio dinámico de recursos genéticos, el cultivo principal es el maíz, acompañado de otras especies como frijoles, calabazas, chiles y tomates, que varían dependiendo de la región (SADER, 2020b).

El sistema milpa es un caso representativo de una técnica agrícola eficiente que consiste en el cultivo de varias especies en un mismo espacio, esto lo convierte en un sistema altamente eficiente y productivo en el uso de recursos como la luz, nutrientes y agua, por su parte, este tipo de cultivo resulta más productivo en comparación con los sistemas de monocultivo debido a su capacidad de complementariedad, competencia y facilitación entre las distintas especies cultivadas (López-Ridaura *et al.*, 2021).

La milpa, al contar con una gran variedad de especies, se convierte en un ecosistema en el que se aprovechan de forma complementaria los distintos recursos disponibles, como el agua, la luz y el suelo, este ecosistema promueve interacciones ecológicas beneficiosas, tales como el control biológico de insectos, la fertilidad del suelo y la polinización, lo cual brinda ventajas no solo a las especies que habitan en ella, sino también a las comunidades humanas que la cultivan, de hecho, los productos obtenidos de la milpa son una fuente de alimentación esencial en algunas regiones del país, ya que favorecen una dieta equilibrada y saludable (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2016).

### **2.6.2. Beneficios del Sistema Milpa**

Durante aproximadamente 5 mil años, la milpa ha sido un ecosistema cultivado por las sociedades mesoamericanas que ha logrado mantenerse a lo largo del tiempo, su capacidad de adaptación y su eficiencia han servido de modelo para el diseño de sistemas agrícolas más sustentables en diferentes partes del mundo, de acuerdo con estudios realizados en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2020) tiene ciertos beneficios como:

- El cultivo de milpa permite obtener un mayor rendimiento en comparación con un área equivalente sembrada en monocultivo, lo que se conoce como Tasa de Tierra Equivalente.
- La milpa promueve al menos dos mecanismos beneficiosos para los cultivos: el primero es la facilitación, que se manifiesta de diversas formas, como cuando el maíz sirve como soporte físico para el crecimiento del frijol. El segundo mecanismo es la competencia, que permite a las raíces de los cultivos explorar de manera más extensa el suelo y, por ende, mejorar su nutrición.

Por otra parte, SADER (2022) menciona que, se ha identificado que la milpa ofrece una dieta saludable, destacando los productos centrales de la milpa (maíz, frijol, chile y calabaza) que tienen un valor nutricional y cultural significativo, entre las ventajas que ofrece esta dieta se encuentran que:

- Promueve un balance proteico adecuado.
- Proporciona una combinación de fibra soluble e insoluble, lo cual contribuye a inhibir la absorción de colesterol.
- Favorece el equilibrio entre los niveles de acidez y alcalinidad en el cuerpo.
- Se caracteriza por un menor contenido de grasas.
- Propicia un balance oxidativo saludable.
- Ayuda en la eliminación de toxinas del organismo.

### **2.6.3. ¿Dónde se siembra la milpa?**

Un adecuado manejo del suelo constituye como un elemento crucial dentro del marco de la agricultura sostenible y provee además un recurso valioso para regular el clima y preservar tanto los servicios ecosistémicos como la biodiversidad, de esta manera los suelos saludables se convierten en un requisito primordial para satisfacer una amplia gama de necesidades, incluyendo alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos, de la misma manera son esenciales para garantizar la provisión continua de los servicios ecosistémicos fundamentales en todas las regiones del mundo (FAO, 2015).

La preparación del terreno para la milpa varía según la topografía del lugar, la extensión de tierra disponible y el nivel económico de los productores, en grandes áreas, la preparación del terreno se realiza de forma mecanizada con un tractor y en terrenos irregulares como las sierras, se utiliza un arado tirado por bueyes para la labranza del terreno, en otros tipos de terrenos, se emplean técnicas como la roza o quema y la labranza cero, pero en algunos casos, la fertilización es necesaria para mejorar la productividad de los cultivos, especialmente en suelos sueltos (FAO, 2018).

Un informe realizado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo destaca a la milpa como un sistema tradicional que debe ser conservado y fomentado para lograr una mejor nutrición en las comunidades (CIMMYT, 2022). En la milpa se siembra maíz, frijol y calabaza, cultivos que son especialmente significativos a nivel nacional debido a su relevancia en la dieta de la población mexicana, gracias al sistema de milpa se consiguen cerca del 70 por ciento del maíz con que se elaboran las tortillas y el 60 por ciento del frijol que se consume (SADER, 2016), en donde el frijol además de desempeñar un papel fundamental en la nutrición, constituye un elemento importante en la conservación y producción de semillas criollas para asegurar la identidad alimentaria.

En ciertos municipios de México, se conservan prácticas tradicionales del sistema de cultivo de milpas, las cuales albergan una amplia variedad de materiales nativos con un gran potencial para la soberanía alimentaria, como señalan Zamora et al. (2023). Sin embargo, la influencia de la globalización y el desarrollo ha puesto en peligro la

preservación del conocimiento tradicional y la autonomía alimentaria, ya que el uso extendido de agroquímicos y semillas mejoradas ha desplazado a muchas especies nativas cruciales en la dieta campesina, pero a pesar de estos desafíos, muchas prácticas de manejo y saberes ancestrales de campesinos e indígenas han perdurado y adaptado, enfrentando esta situación, por ende, siguen siendo recursos vitales para garantizar la alimentación básica y la preservación de la biodiversidad, especialmente en cultivos esenciales como el frijol, como apunta Ortiz-Timoteo et al. (2014).

Es fundamental destacar que, en la agricultura, la milpa despliega una función multifacética, ya que no solo genera alimentos, sino que también brinda productos como forraje, plantas medicinales y ornamentales, este sistema beneficia especialmente a los productores de pequeña escala, pues les proporciona una fuente de producción garantizada, incluso en momentos de crisis ambiental o económica (SADER, 2020a).

## **2.7. Importancia del Consumo de Frijol**

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*), es de gran importancia en la alimentación humana debido a su alto contenido de proteínas, minerales como hierro y zinc, y carbohidratos en forma de fibra dietética y oligosacáridos. Además de sus nutrientes esenciales, el frijol contiene compuestos fitoquímicos derivados de su metabolismo secundario, como los polifenoles, fitoesteroles y saponinas, que también aportan beneficios para la salud (Ayala-Garay et al., 2021).

A lo largo de la historia se ha convertido inclusive en un alimento de identificación cultural, además es uno de los cultivos de mayor relevancia económica. Actualmente la importancia del frijol se ha extendido al área médica, ya que se ha demostrado que muchos de sus componentes presentan propiedades nutraceuticas, es decir, que aportan beneficios a la salud, más allá de la nutrición, por lo que se usan en la prevención o tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas (Teniente-Martínez, et al., 2016).

### **2.7.1. Consumo *per-cápita* de Frijol**

El consumo es uno de los indicadores más comunes para medir los cambios de una alimentación de manera muy práctica, *per-cápita* es una locución latina de uso actual que significa literalmente por cada cabeza (está formada por la preposición *per* y el acusativo plural de *caput*, *capitis* 'cabeza'), esto es, por persona o individuo (Federación Nacional de Avicultores de Colombia Fondo Nacional Avícola [FENAVI], 2020), este dato se refiere a la cantidad promedio de un determinado producto o recurso que se consume por cada persona en una determinada población o área geográfica en un período específico de tiempo, es una medida útil para analizar patrones de consumo y tendencias en una sociedad o economía.

El frijol representa un alimento básico para los mexicanos y un cultivo clave en la dieta nacional, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, el consumo anual *per-cápita* en México durante 2021 fue de 11 kg (SIAP, 2022b). El consumo de frijol en México ha disminuido considerablemente en los últimos 40 años, en la década de 1980 el mexicano consumía en promedio alrededor de 16 kg, sin embargo, para 2023 el consumo ha caído a los 7.6 kg (SIAP, 2023).

Desde el punto de vista comercial, se observa un incremento del precio del frijol, lo que ha contribuido a la caída del consumo *per cápita*, aunado a esto, muchos agricultores dependen únicamente de tener una buena época de lluvias para la subsistencia de la agricultura, pero las sequías causadas por cambios climáticos globales afectan negativamente la productividad de los cultivos de frijol al reducir la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, ocasionando que haya una disminución en el rendimiento por hectárea, además el precio de compra ofrecido por los coyotes (individuos que fungen como intermediarios entre los campesinos y el mercado de las grandes ciudades) es muy poco en comparación a la reventa, por lo que algunos agricultores ya no lo ven como un negocio (Congreso de la Unión, 2021).

A pesar del contenido o las propiedades del frijol, estas no han sido importantes para incrementar el consumo en México, el decremento de este grano se atribuye en gran medida a la percepción estigmatizada de que es un componente básico en la dieta de personas de bajos recursos, existiendo una preferencia por consumir alimentos

procesados en lugar de este producto (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2022).

Actualmente la ingesta de frijol se enfrenta a modificaciones, debido a que las tendencias de consumo están encaminadas a la adquisición de productos disponibles en mercado (alimentos industrializados) o les dan más importancia a proteínas de origen animal, como el huevo, la carne y la leche, esto debido a las modificaciones ante una sociedad cambiante, la migración, el urbanismo, el empleo y economía global (Ayala-Garay *et al.*, 2021).

### **2.7.2. Hábitos o Preferencias del Consumo de Frijol**

Los consumidores reconocen el vínculo entre el frijol y su origen social, geográfico y cultural, privilegian el frijol de la región para su consumo, conocen la ubicación de las localidades productoras en los municipios aledaños, la diversidad de variedades que son diferenciadas por su sabor y tiempo de cocción, los usos de cada variedad y algunos valoran el trabajo del campesino para llevar ese frijol a su mesa (León-Rojas *et al.*, 2020).

En un estudio de preferencia se determinó la calidad de las variedades para el comercio, consumo e industria con base en atributos del grano crudo, cocido y enlatado, dando como resultados que las características más importantes en frijol crudo fueron: color, brillo, tamaño y forma de la semilla, las amas de casa prefieren los frijoles cocidos con caldo de color café, granos suaves para la masticación y apariencia aceptable (Rosales-Serna *et al.*, 2014). Por otro lado, resultados de una encuesta nacional concretaron que una variable para la selección entre tipos de frijol es el costo, ya que ante un aumento en el precio de la variedad de su preferencia o una variación en el ingreso los consumidores pueden optar por adquirir una de menor precio (Licea *et al.*, 2010).

## **2.8. Calidad Nutricional del Frijol**

Los frijoles son uno de los alimentos básicos más variados y nutritivos que existen, siendo una rica fuente de proteína vegetal, se considera que los frijoles criollos son más saludables, sabrosos y nutricionalmente más ricos que los frijoles agroindustriales importados o nacionales (León-Rojas *et al.*, 2020), un gran porcentaje de la población se enfrenta a la obesidad o sobrepeso, problemas generados debido a un mal hábito alimenticio, de tal manera que la incorporación de frijoles criollos en la alimentación cotidiana puede generar impactos positivos en la salud de las personas.

### **2.8.1. Aporte Nutrimental**

El frijol común es la leguminosa más importante para el consumo humano en el mundo, nutricionalmente posee un alto contenido de proteína, el doble de cantidad que los cereales de grano entero (trigo, avena y cebada) y el triple que el arroz, tiene una elevada proporción de vitaminas del grupo B como el folato, tiamina o niacina (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios [ASERCA], 2018), y su cultivo constituye en México una tradición productiva y de consumo que cumple con diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico (Ayala-Garay *et al.*, 2021).

La comparación entre la composición de los frijoles secos y los principales cultivos de granos de cereales se muestra en el Cuadro 3, donde se puede observar que los frijoles contienen mayores niveles de proteínas y fibra dietética en comparación con estos granos de cereales, además de mostrar bajos niveles de carbohidratos y grasas (Siddiq *et al.*, 2022).

**Cuadro 3.** Comparación de perfiles nutricionales de frijoles secos, leguminosas y cereales (por 100 g).

Perfil nutricional	Frijoles secos	Garbanzo	Lentejas	Trigo	Avena	Maíz
<b>Energía (kcal)</b>	341	378	352	339	389	361
<b>Proteína (g)</b>	21,97	20,47	24,63	13,7	16,89	6,93
<b>Carbohidrato (g)</b>	61,74	62,95	63,35	72,57	66,27	76,85
<b>Fibra dietética</b>	15,38	12,2	10,70	12,2	10,6	7,3
<b>Lípidos/ grasas totales (g)</b>	1,30	6,04	1,06	1,87	6,9	3,86
<b>Hierro (mg)</b>	5,57	4,31	6,51	3,88	4,72	2,38
<b>Potasio (mg)</b>	1355	718	677	405	429	315
<b>Folato (µg)</b>	432	557	479	44	56	25

Fuente: Siddiq et al. (2022).

El frijol es una fuente importante de **proteína** en la dieta de muchas personas, especialmente en zonas rurales y áreas urbanas marginales (Jacinto-Hernández *et al.*, 2019). El contenido de proteínas en los frijoles varía del 14% al 33%, dependiendo del tipo de frijol, son ricos en aminoácidos como la lisina, que se encuentra en una cantidad de 6.4 a 7.6 g/100 g de proteína, y la fenilalanina más tirosina, que se encuentra en una cantidad de 5.3 a 8.2 g/100 g de proteína. Sin embargo, los frijoles tienen deficiencias en los aminoácidos azufrados de metionina y cisteína, a pesar de esto, las evaluaciones biológicas han demostrado que la calidad de la proteína del frijol cocido puede llegar a ser del 70% en comparación con una proteína animal de referencia a la que se le asigna el 100% (Ulloa *et al.*, 2011). En términos generales, se ha relacionado el contenido de proteína de los frijoles con los beneficios nutricionales que aportan a la dieta humana, se estima que una porción de 90 gramos de frijoles cocidos proporciona alrededor de 8 gramos de proteína, lo que representa casi el 15% del consumo diario recomendado para un adulto de 70 kilogramos, además la digestibilidad de esta proteína es de aproximadamente del 79% (Ayala-Garay *et al.*, 2021).

El frijol crudo es una buena fuente de **carbohidratos**, que varía entre 52 y 76 g por cada 100 g, dependiendo de la variedad, la fracción más importante de los carbohidratos es el almidón, que es la principal fuente de energía en este alimento, sin embargo, durante el proceso de cocción, una parte del almidón se transforma en

almidón resistente a la digestión, lo que hace que no esté disponible para el cuerpo (Ulloa *et al.*, 2011), este aspecto puede ser de gran interés para las personas con dietas especiales, que cuidan su consumo de carbohidratos. El frijol contiene principalmente carbohidratos complejos como almidón y fibra dietética, con una menor cantidad de azúcares como mono, di y oligosacáridos (Serrano & Goñi, 2004). El índice glucémico (IG) mide la respuesta glucémica e insulinémica ante la ingestión de carbohidratos en distintos alimentos, contrastándola con la respuesta provocada por un alimento de referencia, generalmente el pan blanco o la glucosa, este índice refleja la calidad de los carbohidratos consumidos (Hernández *et al.*, 2013) y emerge como una herramienta valiosa para evaluar los beneficios nutricionales de granos, legumbres y ciertos vegetales (Haeussler-Herrera, 2002). De acuerdo con Torres *et al.* (2011), el índice glucémico del frijol resulta ser bajo y lo convierte en un componente significativo para la salud, especialmente cuando se combina con alimentos de alto índice glucémico, ya que su presencia contribuye a reducir el índice glucémico total de la comida. Además, la proteína presente en el frijol parece tener un efecto beneficioso en los niveles de lípidos tanto en la sangre como en el hígado, posiblemente mediante la reducción de la producción de lípidos en el hígado.

La **fibra dietética** está presente en el frijol en grandes cantidades y está compuesta por una variedad de azúcares que no pueden ser digeridos por el cuerpo humano, esta fibra tiene propiedades importantes como la reducción de los niveles de azúcar en la sangre y la absorción de colesterol en el sistema digestivo, lo que ayuda a disminuir los riesgos de enfermedades como la diabetes tipo 2, obesidad, cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares (Vilcanqui-Pérez & Vílchez-Perales, 2017). Además, la fibra existente en esta leguminosa optimiza el tránsito intestinal al mejorar la microbiota intestinal (microorganismos benéficos que se encuentran en el colon) y la absorción de agua, lo que aumenta el volumen de las evacuaciones, es importante destacar que el contenido de fibra en el frijol también ha demostrado ser capaz de disminuir problemas relacionados con la colitis (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [CONACYT], 2019). Según Rubio-Landa (2017), el contenido de fibra en los frijoles tiene un efecto hipocolesterolémico, lo que significa que puede reducir hasta en un 10% los niveles de colesterol en la sangre, y este papel se atribuye

a los fitoquímicos presentes en ellos, el frijol negro, en particular, es una excelente fuente de fibra, tanto soluble como insoluble, mientras la fibra soluble puede reducir los niveles de colesterol y regular los niveles de azúcar en la sangre, lo que lo hace beneficioso para las personas que sufren de diabetes, por otro lado, la fibra insoluble ayuda a regular el sistema digestivo y prevenir el estreñimiento (Herrera-Salguero & Gutiérrez-Grijalva, 2020).

El contenido de micronutrientes de los frijoles consiste en una variedad de **vitaminas** y **minerales** necesarios para la nutrición humana, la composición mineral es bastante notable, con cantidades de calcio, magnesio, fósforo, cobre, manganeso, selenio, hierro, zinc y potasio, lo que respalda aún más el perfil nutricional de alta calidad de los frijoles (Mullins & Arjmandi, 2021). Estos micronutrientes son compuestos esenciales para el mantenimiento adecuado de las funciones del cuerpo y se requieren en pequeñas cantidades, este grupo de nutrientes incluye 13 vitaminas y 15 minerales, los cuales no pueden ser sintetizados por el organismo y, por lo tanto, deben ser suministrados a través de la dieta para prevenir enfermedades y mantener un estado de salud óptimo, la presencia adecuada de estos micronutrientes es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de los procesos biológicos en el cuerpo humano (Gómez-Salas, 2009). En un estudio realizado por Rebello et al. (2014) se evaluó la variación del contenido de vitaminas en nueve clases comerciales de frijol (*Phaseolus vulgaris*), lo cual dio como resultado que las muestras de frijoles crudos contenían 0.99 mg de tiamina, 0.20 mg de riboflavina, 1.99 mg de niacina, 0.49 mg de vitamina B12, 0.30 mg de ácido fólico, pero solo el 70-75 % de las vitaminas solubles en agua se retuvieron en las semillas cocidas (Cuadro 4). En el mismo sentido, el estudio de Serrano y Goñi (2004) se encontró que consumir 70.5 gramos de frijol negro diariamente puede proveer una cantidad significativa de nutrientes importantes, que son expresados como porcentajes de consumo diario recomendados, tales como 0.447 mg de ácido fólico, 4.82 mg de hierro, 195.6 mg de magnesio y 3.96 mg de zinc, estos resultados demuestran que el frijol es una fuente rica en vitaminas y minerales, los cuales son esenciales para el correcto funcionamiento del cuerpo humano. Por otra parte, el ejote es una variedad del frijol que se come cuando aún está verde con todo y vaina, su consumo, en el aspecto nutricional, aporta importantes cantidades de

vitaminas como A y C, que ayudan a mantener sano el sistema inmunológico, pero también contiene minerales como sodio, potasio, calcio, yodo, fósforo, magnesio y hierro (SADER, 2016a).

Cuadro 4. Composición de vitaminas (mg 100 g peso seco) en nueve tipos de frijol comercial.

	<b>Crudo</b>	<b>Cocido</b>
<b>Tiamina</b>	0.81–1.32	0.64–1.06
<b>Riboflavina</b>	0.112–0.411	0.086–0.246
<b>Niacina</b>	0.85–3.21	0.59–1.96
<b>Vitamina B6</b>	2.99–0.659	0.200–0.515
<b>Ácido fólico</b>	0.148–0.676	0.088–0.521

Fuente: Campos-Vega (2010).

Dentro de los macronutrientes del frijol, la fracción correspondiente a los **lípidos** es la más pequeña (1.5 a 6.2 g/100 g), constituida por una mezcla de acilglicéridos cuyos ácidos grasos predominantes son los mono y poli-insaturados (Ulloa *et al.*, 2011). A pesar de que el contenido de grasa del frijol es bajo (14%), contiene una alta proporción de fosfolípidos (25-35% del contenido graso), los cuales han demostrado tener un efecto hipolipemiente potente incluso a bajas concentraciones. El ácido linoleico es el ácido graso más común en el frijol, por esta razón, la Asociación Americana del Corazón recomienda limitar la ingesta de ácidos grasos saturados y trans para reducir los niveles de colesterol LDL y, por lo tanto, disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Serrano & Goñi, 2004).

### **2.8.2. Compuestos Nutraceuticos del Frijol**

Los alimentos nutraceuticos han surgido como resultado de los avances en laboratorios de química analítica y biotecnología, impulsados por la creciente preocupación por mantener la salud a través de una alimentación adecuada, el término "nutraceutico" fue acuñado en 1989 por el médico estadounidense Stephen de Felice, se refiere a alimentos que contienen uno o más componentes fitoquímicos que brindan

beneficios para la salud, mejorando funciones fisiológicas, previniendo o tratando enfermedades y mejorando la calidad de vida (González-Grandón *et al.*, 2020).

El frijol posee compuestos bioactivos que ofrecen beneficios para la salud que van más allá de su valor nutricional, estos compuestos incluyen polifenoles, taninos, ácido fítico, saponinas y flavonoides, los cuales exhiben propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, se ha observado una relación entre el consumo de frijoles y la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, así como de la incidencia de diabetes y ciertos tipos de cáncer (Peña-Borrayo *et al.*, 2022).

Los compuestos bioactivos, especialmente los polifenoles en el frijol, incluyen flavonoides, ácidos fenólicos y procianidinas que funcionan como captadores de radicales libres, agentes reductores y quelantes de metales y poseen características hipocolesterolémicas, antiaterogénicas, anticancerígenas e hipoglucémicas (Hanis *et al.*, 2017).

### **Polifenoles**

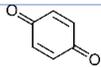
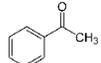
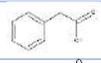
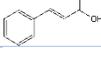
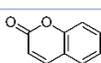
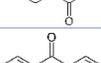
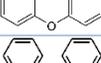
Son una categoría de compuestos bioactivos que han sido ampliamente estudiados, constituyen un extenso grupo de sustancias que se encuentran presentes en nuestra dieta diaria y abarcan miles de estructuras diferentes en el reino vegetal, se caracterizan por tener al menos un anillo de benceno al que está unido al menos un grupo hidroxilo, a partir de esta estructura básica, se generan una gran variedad de estructuras que se clasifican principalmente en cuatro familias principales: flavonoides (que incluyen flavanoles, flavonas, flavonoles, antocianinas e isoflavonas), ácidos fenólicos (que se dividen en ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos), estilbenos y lignanos, estos polifenoles han sido objeto de numerosos estudios debido a sus potenciales beneficios para la salud y se consideran componentes clave en la dieta rica en frutas, verduras, granos enteros y otros alimentos vegetales (Pérez-Jiménez, 2019).

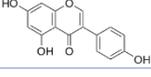
Los polifenoles están representados principalmente por taninos y flavonoides, son mayormente acumulados en la capa o testa de semillas donde contribuyen a la determinación del color, los compuestos encontrados en el frijol común de característica fenólica, han sido reportados como antioxidantes, anticancerígenos,

antimutagénicos y con efectos antiinflamatorios, los cuales son compuestos naturales de grupos fenilo hidroxilados, que se encuentran en formas glucosiladas, esterificados o polimerizados (Pérez-Pérez *et al.*, 2020), así mismo participan en la señalización intracelular, mediante su interacción con receptores celulares o proteínas, modulando de esta manera la expresión génica y determinando respuestas fisiológicas beneficiosas. (Urquiaga *et al.*, 2017).

Pueden clasificarse en al menos diez clases diferentes según su estructura química básica (Cuadro 5). La clase más extensa de polifenoles es la de los flavonoides, que incluye más de 5,000 estructuras químicas agrupadas en 13 clases distinta, algunas de estas clases son las chalconas, dihidrochalconas, flavonas, flavonoles, flavanonas, isoflavonoides, antocianidinas, proantocianidinas y taninos condensados, entre otras (García-Salas *et al.*, 2010).

**Cuadro 5.** Clasificación de compuestos fenólicos.

Clase	Formula condensada básica	Estructura
Fenoles simples	C6	
Benzoquinonas	C6	
Ácidos fenólicos	C6-C1	
Acetofenonas	C6-C2	
Ácidos fenilacéticos	C6-C2	
Ácidos hidroxicinámicos	C6-C3	
Fenilpropenos	C6-C3	
Cumarinas, isocumarinas	C6-C3 C6-C	
Cromonas	C6-C3	
Naftoquinonas	C6-C4	
Xantonas	C6-C1-C6	
Estilbenos	C6-C2-C6	

<b>Antroquinonas</b>	C6-C2-C6	
<b>Flavonoides</b>	C6-C3-C6	
<b>Lignan, neolignan</b>	(C6-C3) <sub>2</sub>	
<b>Ligninas</b>	(C6-C3) <sub>n</sub>	

Fuente: García-Salas et al. (2010).

El interés en los compuestos fenólicos se centra en su capacidad para estabilizar los radicales libres, estos se generan de forma natural en el organismo como resultado de procesos químicos y exposición a factores ambientales, entre otras causas; sin embargo, una producción excesiva de radicales libres se ha relacionado con el desarrollo de enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Garzón-García, 2019).

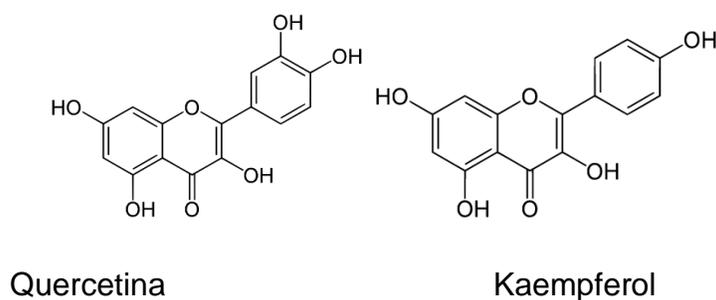
Los compuestos polifenólicos más prominentes en las legumbres, como el frijol común, son los taninos, ácidos fenólicos y flavonoides, estos compuestos bioactivos se consideran responsables de los posibles beneficios para la salud, entre los que se encuentran las propiedades antioxidantes, que se atribuyen a la presencia de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos (Campos-Vega *et al.*, 2010).

### Flavonoides

Los flavonoides son los metabolitos secundarios más comunes en las plantas, representan una amplia familia de compuestos fenólicos de bajo peso molecular que se pueden clasificar en diferentes clases estructurales según el nivel de oxidación y el patrón de sustitución del anillo C central, debido a su contribución al color y sabor de frutas, verduras, frutos secos y semillas, los flavonoides forman parte de la dieta humana (García-Díaz, 2016).

Los flavonoides presentes en testa frijol negro y rosa son quercetina y kaempferol (Figura 9) (Oomah et al., 2010). La quercetina es un compuesto polifenólico que pertenece al grupo de los flavonoides, existe evidencia que muestra su gran potencial terapéutico en la prevención y tratamiento de enfermedades. Se le atribuyen diversas

propiedades, como antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, antiagregantes y vasodilatadoras, con aplicaciones prometedoras en las industrias de alimentos funcionales, cosméticos y farmacéuticos, es conocida por ser un antioxidante eficaz, puede proteger a las células epiteliales gástricas del daño oxidativo y además regula el equilibrio entre los compuestos oxidantes y antioxidantes en el organismo, lo que puede brindar protección a las células contra la toxicidad genética y el daño causado por la radiación (Azúa-Araya, 2022). Por otra parte, el frijol es rico en kaempferol, un flavonoide de bajo peso molecular formado por la combinación de derivados de fenilalanina y ácido Acético con un esqueleto de Difenilpirano (Rubio-Landa, 2017).



**Figura 9.** Estructuras de flavonoides presentes en el grano de frijol. Fuente: García-Díaz (2016).

Los flavonoides que se encuentran en el frijol exhiben una actividad antioxidante destacada, dado que, las antocianinas como los flavonoides tienen sustituciones 3' 4' ortodihidroxi en el anillo B, otra característica que contribuye a su actividad antioxidante es la disposición meta de los carbonos 5 y 7, estos aspectos estructurales permiten que los flavonoides presentes en el frijol actúen como agentes protectores contra el estrés oxidativo al neutralizar los radicales libres y prevenir el daño oxidativo a las células (Rubio-Landa, 2017).

## **Ácidos fenólicos**

Los ácidos fenólicos son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal, se clasifican en ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos, una de las principales propiedades biológicas de estos compuestos es su alta actividad antioxidante, que se debe a su estructura química, que contiene un núcleo fenólico y una cadena lateral insaturada que les permite formar un radical fenoxilo estabilizado por resonancia, el cual tiene actividad como agente secuestrador de radicales libres, por lo que los ácidos fenólicos están relacionados con la protección del ADN y los lípidos de la membrana celular contra las especies reactivas de oxígeno, sugiriéndose su uso como agentes preventivos de enfermedades ligadas al estrés oxidativo (Urías-Orona *et al.*, 2016). Los ácidos fenólicos juegan un papel relevante en la reducción del riesgo de desarrollo de cáncer y también en la incidencia de otras enfermedades de la civilización, por lo tanto, la integración de las leguminosas en los patrones dietéticos es importante para promover la salud humana (Tirdil'ová *et al.*, 2022). Ácido gálico y el protocatéuico son los ácidos fenólicos comunes que se encuentran en los frijoles (Singh *et al.*, 2017).

## **Taninos condensados**

Los taninos son flavonoides poliméricos, constituyen una fracción minoritaria dentro del amplio y heterogéneo conjunto de compuestos fenólicos sintetizados por las plantas como metabolitos secundarios, pueden precipitar las proteínas y formar complejos con el hierro en la luz gastrointestinal, reduciendo la absorción, digestibilidad y disponibilidad de estos nutrientes (Díaz *et al.*, 2010).

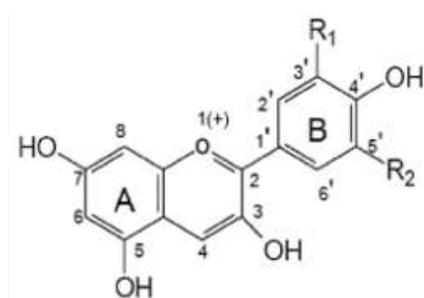
Los taninos condensados son compuestos de alto peso molecular que exhiben una capacidad antioxidante superior a la de los compuestos fenólicos simples, por consiguiente, es probable que los taninos sean los principales responsables de la capacidad antioxidante en los granos de frijol, además, se ha observado que los taninos poseen propiedades antibacterianas, antivirales, antiinflamatorias, así como vasodilatadoras, y pueden inducir la apoptosis en células cancerosas específica, por tanto, el consumo de frijoles podría ayudar a prevenir diversas enfermedades crónico-degenerativas (Rochin-Medina *et al.*, 2021).

Los taninos condensados e hidrolizables de alto peso molecular han mostrado ser antioxidantes más más potentes en comparación con los fenoles simples (Bolaños-Silvestre, 2011). Se reporto que los taninos de frijol negro inhiben la actividad mutagénica de la aflatoxina B1, del benzo (a) pireno y de la ciclofosfamida en ratones (Reynoso-Camacho *et al.*, 2007).

## Antocianinas

Las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que está unida un azúcar a través de un enlace  $\beta$ -glucosídico. La estructura básica contiene un núcleo de flavona que consta de dos anillos aromáticos: un benzopirilio (A) y un grupo fenólico (B), ambos unidos por una unidad de tres carbonos (Rabanal-Atalaya, 2021).

Variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianidinas conocidas, el color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula (Figura 10), e incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas (Garzón, 2008).



Aglicona	substitución		$\lambda$ max (nm)
	R1	R2	Espectro visible
<b>Pelargonidina</b>	H	H	494 (naranja)
<b>Cianidina</b>	OH	H	506 (naranja-rojo)
<b>Delfinidina</b>	OH	OH	508 (azul-rojo)
<b>Peonidina</b>	OCH3	H	506 (naranja-rojo)
<b>Petunidina</b>	OCH3	OH	508 (azul-rojo)
<b>Malvidina</b>	OCH3	OCH3	510 (azul-rojo)

Figura 10. Estructura y sustituyentes de las antocianinas Fuente: Garzón (2008).

En el caso del frijol común, se ha identificado que el grupo de genes responsable de las vías biosintéticas de los flavonoides y las antocianinas también controla el color de la testa de la semilla, se ha observado que el color de la testa tiene un impacto en la composición fitoquímica y en la actividad antioxidante de distintos genotipos de frijol común, comprobándose que las variedades de frijol negro presentan una mayor concentración de antocianinas totales en comparación con otras variedades (Ayala-Garay *et al.*, 2021). Las antocianinas están presentes en frijoles negros, rojos y pintos (Rebello *et al.*, 2014).

La presencia de antocianinas en el grano de frijol negro, lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales, pelargonidina-3-glucósido, cianidina-3-glucósido y delfinidina-3-glucósido aislados de la testa de la semilla de frijol negro, así como sus agliconas estándar, tienen una fuerte actividad antioxidante en un sistema liposomal y una formación reducida de malondialdehído por irradiación UVB (Khoo *et al.*, 2017).

### **Beneficios potenciales para la salud de las antocianinas**

Las antocianinas han sido identificadas como compuestos con propiedades antiinflamatorias, vasotónicas y antioxidantes, lo cual les confiere un papel relevante en la prevención de enfermedades degenerativas como el cáncer, la enfermedad de Alzheimer y enfermedades cardiovasculares, estos compuestos han demostrado capacidad para reducir la inflamación en el organismo, mejorar la salud vascular y proteger contra el estrés oxidativo (Cuadro 6), factores que están asociados con el desarrollo de dichas enfermedades (Díaz *et al.*, 2010).

**Cuadro 6.** Prevención de enfermedades crónicas utilizando antocianinas vegetales.

<b>Condición</b>	<b>Beneficio</b>
<b>Enfermedad cardiovascular</b>	Agregación plaquetaria inhibida (propiedades antitrombóticas <i>in vitro</i> ). Disminución de la susceptibilidad a la lesión por isquemia-reperusión y tamaño del infarto con aumento de la enzima antioxidante miocárdica. Mejor perfil lipídico y función plaquetaria en voluntarios sanos.
<b>Efecto anticancerígeno</b>	Proliferación celular suprimida, inflamación y angiogénesis y apoptosis inducida en tejido esofágico de ratas.

	<p>Potencial antiinvasivo significativo demostrado en líneas celulares de cáncer de mama (MDA-MB-231 y MCF7).</p> <p>Crecimiento inhibido de células de cáncer de colon humano HT-29.</p> <p>Apoptosis promovida en ratas con hiperplasia prostática benigna.</p> <p>Señalización inhibida de Akt-mTOR, lo que induce la maduración de las células de leucemia mieloide aguda.</p>
<b>Diabetes</b>	<p>Mejóro la hiperglucemia y la sensibilidad a la insulina a través de la activación de la proteína quinasa activada por AMP en ratones diabéticos.</p> <p>Dislipidemia mejorada, capacidad antioxidante mejorada y resistencia a la insulina prevenida en sujetos humanos con diabetes tipo 2.</p> <p>Angiogénesis glomerular aliviada de riñones diabéticos al atenuar la inducción de VEGF y HIF-1<math>\alpha</math> en ratones estudiados.</p> <p>Adiponectina derivada del tejido adiposo activado para defenderse de la disfunción endotelial relacionada con la diabetes en ratones</p>
<b>Salud visual</b>	<p>Función visual mejorada en pacientes con glaucoma de tensión normal.</p> <p>Prevención del deterioro de la función de las células fotorreceptoras durante la inflamación de la retina.</p> <p>Muerte celular suprimida de HLE-B3 (línea celular epitelial del cristalino) bajo estrés oxidativo inducido por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</p> <p>Aumento del flujo sanguíneo ocular, pero sin cambios significativos en la presión intraocular.</p>
<b>Anti-obesidad</b>	<p>Aumento de peso mejorado y perfil de lípidos en ratas obesas.</p> <p>Se suprimió el aumento de peso corporal y se mejoró el perfil de lípidos en sangre en ratas a las que se les indujo una dieta rica en grasas.</p> <p>Obesidad mejorada en ratones C57BL/6 alimentados con alto contenido de grasas.</p> <p>Aumento de peso suprimido, aumento de tejido graso y otros trastornos metabólicos.</p>
<b>Antimicrobiano</b>	<p>Mostró actividad antibacteriana con la mayor sensibilidad a <i>Aeromonas hydrophilia</i> y <i>Listeria innocua</i>.</p> <p>Poseía efectos antibacterianos frente a <i>Enterococcus faecium</i> resistente a la vancomicina, <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Escherichia coli</i>.</p> <p>Bacterias gramnegativas inhibidas, pero no en bacterias</p>

Fuente: Khoo et al. (2017).

### 3. HIPOTESIS

Dada la variabilidad genética entre las especies de frijol criollo (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus dumosus*) y las diferencias en las condiciones edafoclimáticas entre las tres localidades de cultivo en el estado de Veracruz (Ocoatepec, Ayahualulco y Matlalapa), existen diferencias significativas en las propiedades físicas de las semillas, así como en el aporte nutricional y nutracéutico de las semillas de frijol, cultivadas bajo el sistema milpa de alta montaña en tres localidades de Veracruz.

## **4. OBJETIVOS**

Evaluar el aporte nutricional y nutracéutico de tres especies de frijol criollo que se cultivan bajo sistemas de milpa de alta montaña, en tres zonas marginales de Veracruz.

### **4.1. Objetivos específicos**

- 4.1.1.** Describir las características del grano de tres especies de frijol criollo cultivado en tres localidades de Veracruz, mediante la evaluación física de semillas.
- 4.1.2.** Analizar la composición nutricional de tres especies de frijol criollo cultivado en tres localidades de Veracruz, a través de un análisis proximal y de aminoácidos.
- 4.1.3.** Determinar el valor nutraceutico de tres especies de frijol criollo cultivado en tres localidades de Veracruz, mediante la evaluación de los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Material Biológico

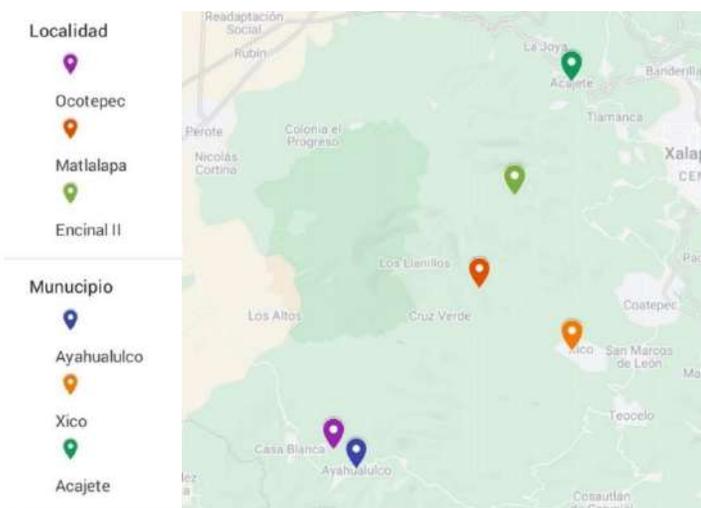
Se colectaron ocho materiales de frijol criollo cultivadas bajo el sistema milpa de montaña en el periodo otoño-invierno del 2021, en tres localidades de diferentes municipios del estado de Veracruz: el Encinal II, del municipio Acajete, Matlalapa, municipio de Xico y Ocotepéc, municipio de Ayahualulco, correspondientes a tres especies de frijol: enredador (*Phaseolus vulgaris*), gordo (*Phaseolus dumosus*) y ayocote (*Phaseolus coccineus*) (Figura 11). Cabe mencionarse, que no se contó con la colecta de frijol ayocote proveniente de la localidad de Acajete. Después de ser cosechados, y trasladados al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa (CIIDIR-IPN), los granos de frijol fueron almacenados a 8 °C, protegidos de luz, hasta su análisis. Para la composición química y componentes nutraceuticos, los granos de frijol fueron molidos con un molino para café (Hamilton Beach 80335RV) hasta obtener una harina fina y homogénea, se pasó la muestra de harina a un tubo de polipropileno de 15 mL donde se guardaron en ausencia de luz, para posteriores ensayos. Estas muestras fueron clasificadas de acuerdo con su localidad de origen como se presenta en los Cuadros 7 y 8.

**Cuadro 7.** Clasificación de las especies de frijol criollo utilizadas.

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Localidad</b>
<b><i>Phaseolus vulgaris L.</i></b>	Frijol enredador	Acajete El encinal II
	Frijol enredador	Matlalapa Xico
	Frijol enredador	Ocotepéc Ayahualulco
<b><i>Phaseolus dumosus</i></b>	Frijol gordo	Acajete El encinal II
	Frijol gordo	Matlalapa Xico
	Frijol gordo	Ocotepéc Ayahualulco
<b><i>Phaseolus coccineus L.</i></b>	Frijol ayocote	Matlalapa Xico
	Frijol ayocote	Ocotepéc Ayahualulco

**Cuadro 8.** Semillas de frijol utilizadas según su localidad.

Localidad	el Encinal II, Acajete	Matlalapa, Xico	Ocoatepec, Ayahualulco
Frijol enredador			
Frijol gordo			
Frijol ayocote	NA		



**Figura 11.** Ubicación geográfica de las regiones donde fueron colectadas las tres variedades de frijol criollo cultivadas en sistema milpa de Veracruz.

## 5.2. Evaluación física del grano de frijol

**Color.** El color del grano de la semilla fue registrado usando un colorímetro (Chroma meter CR-400), tomando los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E^*$ ,  $C^*$  y  $h$  de la escala de color CIELAB (Cuadro 9), usando un mosaico blanco de referencia ( $Y = 87.1$ ,  $x = 0.3147$ ,  $y = 3209$ ).

**Cuadro 9.** Parámetros de la escala de color CIELAB.

Parámetro	Significado
$L^*$	Recibe el nombre de Luminosidad y puede tomar valores entre 0 y 100.
$a^*$	Define la desviación del punto acromático correspondiente a Luminosidad, hacia el rojo si $a^* > 0$ , hacia el verde si $a^* < 0$ .
$b^*$	Define la desviación hacia el amarillo si $b^* > 0$ , hacia el azul si $b^* < 0$ .
$\Delta E^*$	Define la magnitud de la diferencia de color existente entre dos muestras.
$C^*$	Definido como Croma $C^*$ . Tiene el valor 0 para estímulos acromáticos y, por lo general, no pasa de 150 aunque puede superar ese valor para estímulos monocromáticos
$H$	El Tono angular, $h^*$ , varía entre $0^\circ$ y $360^\circ$ y para estímulos acromáticos es una magnitud no definida.

Fuente: Ibañez-Martínez (2011).

**Forma del grano de frijol.** La forma del grano es una variable que está determinada por la variedad de frijol; estas pueden ser desde oblongas, ovales o redondeadas. Es importante conocer sus características físicas para diferenciar una variedad de otra. La forma se determinó mediante las mediciones de longitud (a), ancho (b) y espesor (c), tomadas de 50 semillas con un vernier, a partir de ellas se calculó el diámetro geométrico (Gg), con lo cual se estimó la esfericidad ( $\phi$ ), que una característica de los granos que se refiere a las proporciones relativas de los 3 ejes principales de la partícula (ver Cuadro 10) (Asoiro *et al.*, 2011).

**Cuadro 10.** Variables para determinar forma del grano del frijol.

Dimensiones	Procedimiento
<b>Longitud (a)</b>	Esta medición se realizó con vernier desde el ápice del grano hasta la corona del mismo.
<b>Ancho (b)</b>	Se midió en mm la parte más ancha de los costados del grano.
<b>Espesor (c)</b>	Es la distancia en mm comprendida entre la cara del grano donde se encuentra el germen y la cara opuesta de este.
<b>Diámetro geométrico (Dg)</b>	Con las dimensiones ortogonales (a, b y c) medidas se aplicó la ecuación: $Dg=(abc)^{1/3}$
<b>Esfericidad (<math>\phi</math>)</b>	A partir de las mediciones anteriores se aplicó la siguiente ecuación: $\phi=Dg/a$

**Peso de 100 semillas.** Es una magnitud que refleja el tamaño del grano de frijol. Los pesos de granos o semillas se determinaron con una balanza analítica (Mettler Toledo AB204-S), recabando el peso de 100 semillas, pesos en gramos con cuatro decimales con una precisión de  $\pm 0.2$  mg.

**Volumen a granel.** Se colocó la semilla en una probeta graduada hasta registrar un volumen de 100 mL y se determinó el peso en gramos.

**Densidad aparente de la semilla.** Es una magnitud del tamaño del grano, que relaciona el peso aparente y el volumen a granel, expresando el resultado en g/mL.

### 5.3. Caracterización Nutricional de Muestras de Frijol

La composición nutricional de los materiales criollos analizados se realizó mediante un servicio externo especializado, en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) para un análisis de composición proximal y determinación de contenido de aminoácidos esenciales y totales contenidos en cada colecta de frijol criollo de diferente localidad (Cuadro 11). El servicio se llevó a cabo, bajo los siguientes métodos oficiales.

### 5.3.1. Determinación de la composición proximal

**Humedad:** Se pesaron 5g de harina de frijol en la cápsula previamente secada a peso constante; se colocó la cápsula y la tapa en la estufa y se mantuvo la temperatura a 105 °C por 5 horas. Posteriormente se tapó la cápsula y se transfirió al desecador; se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó. Se repitió el procedimiento indicado hasta obtener peso constante.

Cálculos:

$$\% \text{ en humedad} = \frac{P - P1}{P2} \times 100$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P1= Peso del recipiente con la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra en gramos.

**Cenizas:** En un crisol llevado previamente a peso constante, se colocaron 20 g de harina de frijol. Se colocó el crisol con muestra en una parrilla para quemar lentamente el material, Al día siguiente el crisol se llevó a la mufla para calcinarla completamente a 600 °C durante 24 horas, después de que se enfrió la mufla, se transfirió la cápsula a un desecador para que se enfriara completamente y así determinar por diferencia de peso, la masa del crisol con cenizas.

Cálculos:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

Donde:

P= masa del crisol con las cenizas en gramos

p= masa del crisol vacío en gramos

M=masa de la muestra en gramos

**Grasas (extracto etéreo):** La muestra seca y molida, en un recipiente poroso, es colocada en la cámara de extracción. Después el disolvente se coloca en un matraz (de peso conocido), se ajusta la cámara de extracción y sobre ésta un condensador. Luego el matraz se calienta y el disolvente se evapora y condensa sobre la cámara de extracción. Cuando el disolvente, que realiza la extracción por contacto con la muestra, llega al nivel de los vasos comunicantes, se descarga. Posteriormente el disolvente se evapora y condensa, quedando los lípidos en el matraz. Después de las descargas necesarias, del matraz se elimina el disolvente y los lípidos se pesan.

Cálculos:

$$\% \text{ de grasa} = \frac{PG - PB}{PM} \times 100$$

En donde:

PG = Peso del matraz con grasa seca en gramos (g)

PB = Peso del matraz con cuerpos de ebullición a peso constante en gramos (g)

PM = Peso de la muestra en gramos (g)

**Proteínas (N x 6,25):** El método Kjeldahl consiste en una digestión con ácido sulfúrico concentrado y una mezcla catalítica para acelerar la reacción, seguida de una destilación con hidróxido de sodio para liberar el ion amonio que se encuentra retenido (generalmente) en el ácido bórico.

El último paso es la titulación con ácido fuerte estandarizada para cuantificar el nitrógeno total presente en la muestra. Luego, el contenido de proteína se estima indirectamente a través del cálculo multiplicando el contenido de nitrógeno por un factor de conversión (6,25).

**Fibra Cruda:** Se pesaron 2 g de muestra pulverizada, seca y desengrasada, se colocaron en un matraz de bola de 500 mL y se agregaron 100 mL de ácido sulfúrico al 1.25 % y perlas de ebullición. Esta mezcla se puso a ebullición con reflujo durante media hora, después de la cual la solución se filtró al vacío y se enjuagó con agua hirviendo hasta que el agua de lavado alcanzó pH neutro. El residuo se transfirió al

matraz de bola y se adicionaron 100 mL de hidróxido de sodio al 1.25% y se puso a ebullición con reflujo durante media hora. Nuevamente se filtró la solución (a través de un papel filtro pesado previamente) y se enjuagó con 10 mL de ácido sulfúrico al 1.25% y luego con agua hirviendo hasta que el agua de lavado alcanzó un pH neutro. Este residuo, junto con el papel filtro, se colocó en un crisol a peso constante y se dejó secar en la estufa a 130 °C durante 2 horas. El crisol con la muestra se dejó enfriar en un desecador y se pesó. Finalmente, se calcinó en la mulla durante 30 minutos a 600 °C, se dejó enfriar y se pesó.

Cálculos:

$$\% \text{ de fibra} = \frac{M1 - M2 - \text{peso del papel}}{M} \times 100$$

Donde:

M = peso de la muestra en gramos

M1 = peso de la muestra, el papel y el crisol después del secado en la estufa en gramos

M2 = peso del crisol con las cenizas en gramos

**Extracto Libre de Nitrógeno (ELN):** Fracción que representa principalmente los carbohidratos presentes en la muestra. Se calculo por diferencia, usando la siguiente ecuación:

$$\text{ELN} = 100 - (\% \text{Proteína} + \% \text{Extracto etéreo} + \% \text{Fibra cruda} + \% \text{Cenizas})$$

### 5.3.2. Determinación de aminoácidos

Se pesaron 300 mg de muestra pulverizada, desengrasada y seca, se colocaron en un matraz de dos bocas de 500 mL y se agregaron 300 mL de HCl 6 N. El matraz se conectó a un refrigerante y se le hizo pasar una corriente de nitrógeno bajo la superficie del ácido. La muestra se puso a reflujo durante 24 horas manteniendo el burbujeo de nitrógeno, después de las cuales se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró al vacío a través de un papel filtro Whatman no. 2. Posteriormente, el hidrolizado se

evaporó hasta sequedad en un rotavapor a 40 °C a presión reducida. El concentrado se lavó con agua y se reevaporó dos veces para eliminar el ácido, se disolvió en un buffer de citrato de sodio pH 2.2 y su volumen se ajustó a 25 mL con el mismo buffer.

Por otro lado, se hidrolizó bajo las mismas condiciones un estándar que contenía 3 mg de cada aminoácido a analizar para poder calcular posteriormente su porcentaje de recuperación.

Los hidrolizados disueltos en el buffer de citrato de sodio se mantuvieron a 4 °C hasta el momento de su análisis.

**Cuadro 11.** Métodos utilizados para la caracterización nutricional de muestras en frijol criollo. Normas del Instituto Mexicano de normalización y certificación (IMNC).

Determinación	Unidad	Método
Humedad	% en peso	NMX-F-083-1986
Cenizas	% en peso	NMX-F-607-NORMEX-2020
Grasas (extracto etéreo)	% en peso	NOM-096-SSA1-1994 Apéndice Normativo C, Numeral 1
Proteínas (N x6,25)	% en peso	NMX-F-608-NORMEX-2011
Fibra Cruda	% en peso	NMX-F-613-NORMEX-2017
ELN	% en peso	NOM-051-SCFI/SSA1-2010 Por diferencia de análisis proximal
Aminoácidos	mg/100g	(Método INS-SM/US-260)

## 5.4. Compuestos Fenólicos De Extractos De Frijol

### 5.4.1. Obtención de extractos hidrofílicos para compuestos fenólicos.

Se pesaron 500 mg de harina de frijol y se depositaron en un tubo de polipropileno de 15 mL, enseguida se adicionaron 8 mL de etanol al 80%. Se mezcló en vórtex, por 30 segundos para homogenizar la muestra y se sónico por 15 minutos, en un baño ultrasónico (Fisher Scientific F520) a una potencia de 37 kHz. Se mezcló nuevamente para evitar que la harina se depositara en el fondo del tubo y se acomodaron de modo horizontal en una charola de plástico que fue colocada en un agitador (Thermo Fisher

Scientific TSSWB27) con agitación orbital a temperatura ambiente a 200 rpm por 2 horas. Posteriormente se colocaron en una centrifuga (Hermle, Z-366) por 20 minutos a 5000 rpm para separar el sobrenadante y colocarlo en otro tubo de polipropileno de 15 mL. Se repitió el proceso de extracción dos veces, adicionando 8 mL de etanol al 80% en cada ocasión y colectando todos los sobrenadantes, los cuales fueron concentrados por medio de un rotaevaporador (Yamato, RE300) a 45 °C. Una vez concentrados los extractos, se recuperaron en un tubo de polipropileno de 15 mL, previamente seco y pesado y se adiciono 1 mL de agua destilada al matraz bola para lavar el extracto y se recuperar todo aquello adherido a las paredes del matraz, se repitió el proceso 2 veces. Finalmente se adicionó agua destilada al extracto en proporción 3:1, para garantizar que el extracto fuera congelado y se dejó en congelación para luego colocarlos en una liofilizadora (Labconco, 7934022), posteriormente liofilizar y obtener el peso del extracto seco, para conocer el rendimiento de la extracción. La solución de trabajo para los análisis posteriores se preparó a partir de 20 mg del extracto seco, disuelto con 2 mL de etanol al 80% y se agitó en vórtex hasta su completa disolución. Los extractos fueron almacenados a -18°C protegidos de la luz, hasta su uso.

#### **5.4.2. Evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales.**

##### **5.4.2.1. Fenoles totales por Folin-Ciocalteu**

Se realizó el ensayo a partir del extracto hidrofílico para la extracción de compuestos fenólicos de acuerdo con Swain y Hills (1959) adaptado a microplaca. Se mezclaron 140 µL de agua destilada, 10 µL del extracto a evaluar, del blanco o del estándar y 10 µL del reactivo de Folin Ciocalteu recién preparado (1:1 v/v en agua), una vez mezclados se incubaron a temperatura ambiente por 3 min en la oscuridad. Finalmente se adicionaron 40 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7.5% (p/v) y la mezcla se incubó a 45 °C durante 15 min en la oscuridad, finalmente se tomó lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Multiskan GO) a  $\lambda=760$  nm, y se emplearon curvas de referencia de catequina (0-300 µg/mL) y ácido gálico (0-200

µg/mL) como estándares. Los resultados se expresaron como equivalentes de mg de catequina y equivalentes de ácido gálico por gramo de harina de frijol.

#### Contenido de compuestos fenólicos por grupos

El análisis se realizó a partir de los extractos de compuestos fenólicos previamente descritos, con el objetivo de identificar grupos de compuestos fenólicos totales (Cuadro 12). La determinación se realizó de acuerdo con la metodología sugerida por Oomah et al. (2005). Se prepararon curvas estándar y los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de catequina (CAE)/ gramo de muestra, miligramos equivalentes de ácido cafeico (CAF)/ gramo de muestra, miligramos equivalentes de quercetina (QUE)/ gramo de muestra, miligramos equivalentes de rutina (RUT)/ gramo de muestra, para fenoles totales, ésteres totales, flavonoles totales y flavonoides totales, respectivamente.

**Cuadro 12.** Estándares para cuantificación de compuestos fenólicos por grupo.

Método	Estándar	Concentración	Absorbancia ( λ)
<b>Fenoles</b>	Catequina	0-100 mg/L	280 nm
<b>Ésteres</b>	ácido cafeico	0-20 mg/L	320 nm
<b>Flavonoles</b>	Quercetina	0-30 mg/L	360 nm
<b>Flavonoides</b>	Rutina	0-10 mg/L	404 nm

Para el estándar de fenoles totales, se pesaron 125 mg de catequina y se diluyeron en 50 mL de EtOH al 80% en un matraz volumétrico, se sónico para disolver la catequina. Para el estándar de ésteres tartáricos se pesaron 25 mg de ácido cafeico y se diluyeron con 50 ml de ETOH al 80% en un matraz volumétrico. Para flavonoles se pesaron 37.5 mg de quercetina y diluyeron a 50 ml con EtOH al 95 %. La reacción se llevó a cabo en una microplaca UV de fondo plano con capacidad de 250 mL. Se adicionaron 250 µL del blanco de EtOH 80%; para el estándar, 10 µL de cada concentración de los estándares y 240 µL de EtOH 80% acidificado (HCL 2%). Finalmente, para las muestras se adicionó 100 µL del extracto y 150 µL de EtOH 80% acidificado. Se agitó la placa antes de leer a λ=280, λ=320 y λ=710 nm (Cuadro 12).

Para la cuantificación de flavonoides se pesaron 100 mg del estándar de 2-Aminoetil difenil borinato (Diphenylboric acid 2-aminoethyl ester), y se diluyó con 10 mL con

EtOH 80%. Para la preparación del estándar de rutina, se pesaron 2.5 mg de rutina y diluyó con 50 mL con EtOH 80%. La reacción se llevó a cabo en una microplaca UV de 250 mL. Se adicionaron 50  $\mu$ L EtOH 80% para el blanco, así como de los estándares de cada concentración, seguidos de 180  $\mu$ L de agua desionizada y 20  $\mu$ L de solución al 1% de 2-aminoetil difenilborinato. Para la muestra se adicionaron 100  $\mu$ L del extracto de compuestos fenólicos, 130  $\mu$ L de agua desionizada y 20  $\mu$ L de solución al 1% de 2-aminoetil difenilborinato. Se mezclaron y se tomó lectura a la placa inmediatamente en un espectrofotómetro a  $\lambda=404$  y  $\lambda=700$  nm.

## **5.5. Capacidad Antioxidante del Frijol**

### **5.5.1. Capacidad antioxidante por el método 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)**

La capacidad antioxidante de los extractos hidrofílicos provenientes de la extracción de compuestos fenólicos de frijol se determinó de al método de Cardador-Martínez et al. (2006) con modificaciones. Se pesaron 1.5 mg de DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazil), se adicionaron 20 mL de metanol (MeOH) al 80%, posteriormente se sónico por 10 minutos y finalmente se aforó a un volumen final de 25 mL. Se tomó la lectura del DPPH recién preparado en una microplaca y se ajustó a 0.8 de absorbancia, diluyendo de ser necesario con MeOH al 80%.

En una placa previamente preparada con 20  $\mu$ L de la muestra, del blanco y de Trolox (0-500  $\mu$ g/mL), se le añadieron 200  $\mu$ L de DPPH, registrando la absorbancia después de 30, 60,75 y 90 min, a  $\lambda=515$  nm. Los resultados se expresaron como  $\mu$ mol equivalentes de Trolox (TE)/g de muestra y en % de inhibición.  $\%INH = 100 * (1 - Abs\ muestra / Abs\ blanco)$ .

### **5.5.2. Capacidad antioxidante por 2, 2'-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid (ABTS).**

La capacidad antioxidante fue evaluada con el extracto de compuestos fenólicos de frijol, previamente descrito, empleando el método de Re et al. (1999). A partir de la muestra stock de 10 mg/mL se preparó una solución de trabajo de 5 mg/mL, disolviendo con EtOH 80%. Posteriormente, se preparó una curva de calibración de Trolox de (0–500 µg/mL), a partir de un stock de Trolox de 800 µM preparado con 10 mg Trolox disuelto en 50 mL de MeOH absoluto, se disolvió en 40 mL de MeOH y se sónico por 15 min y posteriormente se aforó a 50 mL. La solución stock de ABTS se preparó pesando 96 mg de ABTS y 16.55 mg de persulfato de potasio, ambos se añadieron a un matraz volumétrico de 25 mL y se disolvieron con 20 mL de agua destilada. Se sónico por 10 minutos y se aforó. Se preparó una solución de trabajo de ABTS, diluyendo 0.5 mL de la solución stock de ABTS en 25 mL de agua destilada y se tomó la lectura del ABTS recién preparado en una microplaca y se ajustó a 0.7 de absorbancia, diluyendo de ser necesario con agua. Se utilizó inmediatamente después de su preparación. Se hicieron reaccionar 20 µL del extracto a evaluar, del blanco o del estándar y 200 µL de la solución de ABTS, en una placa de 96 pozos e inmediatamente después se tomó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a  $\lambda = 735$  nm. Los resultados se expresaron en µM Trolox equivalentes/ g de muestra y en % de inhibición. %INH=  $100 * (1 - \text{Abs muestra}/\text{Abs blanco})$ .

### **5.5.3. Determinación de antocianinas por método de pH diferencial**

La determinación de antocianinas en frijol fue evaluada mediante el método del pH diferencial de acuerdo con el método de Glust y Wrolstad (1996). Para esto se realizó una extracción de antocianinas de frijol, se mezclaron 500 mg de harina de frijol pulverizada y se mezclaron con 10 mL de una solución de EtOH al 70%, acidificada con HCL al 0.5% (v/v). Se mantuvo en sonicación por 10 minutos y posteriormente la mezcla se agitó por 3 horas a 30°C y 200 rpm, se centrifugó a 5000 rpm durante 15 minutos, enseguida se recuperó el sobrenadante, se repitió el proceso de extracción

con otros 10 mL de solución extractora y se mantuvo protegida de la luz. Una vez obtenidas las extracciones, se prepararon dos diluciones por cada muestra a analizar, una dilución pH 1 con buffer de cloruro de potasio, KCl, en proporción 1:5 (v/v) y una dilución pH 4.5 con buffer de acetato de sodio  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ , en proporción 1:5 (v/v). Finalmente se realizó el llenado de celda de cuarzo de  $1\text{ cm}^3$  y se tomó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a  $\lambda=520$  y  $\lambda=700\text{nm}$ .

## **5.6. Análisis de Datos**

Los cálculos estadísticos de cada variable cuantitativa evaluada en los granos de frijol se realizaron en Excel®; los parámetros estadísticos empleados para describir las variedades fueron promedio ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar (DE).

Los datos se analizaron aplicando un análisis de varianza (ANOVA), mediante el paquete estadístico Minitab 18.1, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% ( $p \leq 0.05$ ).

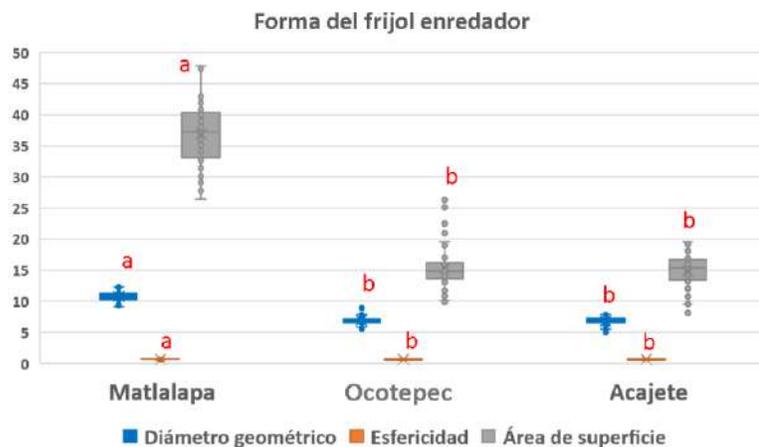
Una vez obtenidos los datos, se analizaron bajo la metodología de componentes principales, de acuerdo a la matriz de correlaciones entre los parámetros obtenidos de cada tipo de frijol, para distinta localidad, con el fin de identificar las variables de mayor representatividad y con mayor aporte para el análisis de caracterización de las accesiones. Finalmente, se realizó un análisis de clasificación por conglomerados, utilizando el programa SAS, para agrupar los individuos de acuerdo con la similitud de las variables analizadas.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Características fisicoquímicas del grano de frijol.

#### 6.1.1. Forma del Frijol

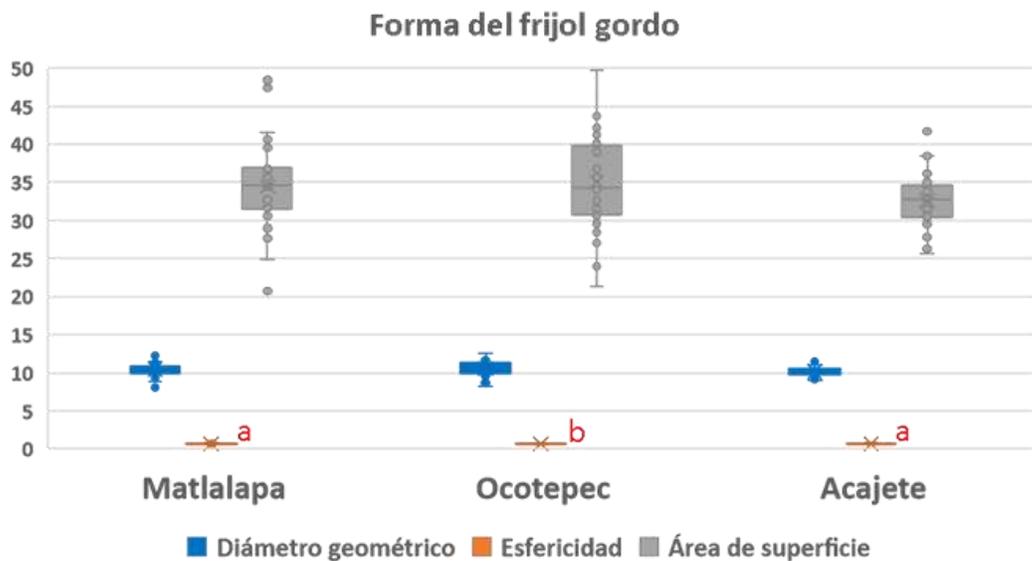
El frijol **Enredador** (*Phaseolus vulgaris* L.), representa al frijol común, es un grano chico con forma ovalada, su superficie externa es lisa y brillante de color oscuro. La forma del grano del frijol enredador (Figura 12), reflejado con el diámetro geométrico evaluado (n=50), osciló entre 5.099 a 12.348 mm, siendo el proveniente de Matlalapa, el que presenta en promedio, el mayor diámetro geométrico del grano, seguido de Ocoatepec y Acajete; mientras que al calcular la esfericidad de los granos, se encontro un rango de 0.652 a 0.706, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos Acajete y Ocoatepec, los cuales obtuvieron un promedio menor de esfericidad,  $0.652 \pm 0.03$  y  $0.666 \pm 0.05$  respectivamente, en este caso, el valor promedio sugiere que los granos pueden tener cierta variabilidad en su forma y pueden ser más alargados o irregulares en comparación con una esfera perfecta, a quien se le asigna 1, como el valor máximo de esfericidad. Matlalapa fue el de mayor, con un valor de esfericidad promedio de  $0.706 \pm 0.04$ , lo cual indica que los granos tienen una forma más cercana a una esfera en comparación con una forma alargada o irregular.



**Figura 12.** Forma del grano de frijol Enredador, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie.

El área de la superficie de las semillas osciló entre 14.930 a 36.886 mm<sup>2</sup>, Matlalapa mostró el valor más alto (36.886 ± 4.50 mm<sup>2</sup>), mientras que Acajete y Ocoatepec presentaron un promedio de 14.930 ± 2.56 y 15.406 ± 3.33 mm<sup>2</sup>, respectivamente.

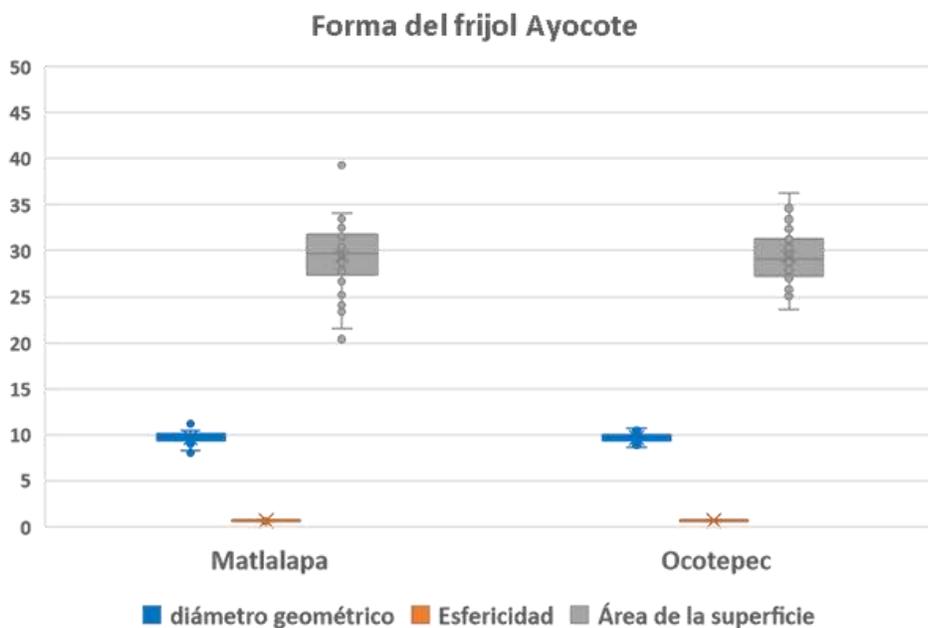
El frijol Gordo (*Phaseoulus dumosus*) se caracteriza por tener un tamaño mayor, como lo indica su nombre común, en comparación con otras especies de frijol, puede ser aproximadamente el doble o incluso más grande que los frijoles comunes, generalmente, el frijol Gordo tiene una forma ovalada o redondeada, aunque puede haber ligeras variaciones dependiendo de la variedad específica. La forma del grano del frijol Gordo es muy homogénea (Figura 13), mostrando un diámetro geométrico en cincuenta semillas entre 8.058 a 12.572 mm, sin mostrar diferencias estadística entre las localidades. La esfericidad osciló entre 0.689 a 0.718, con diferencias significativas para Ocoatepec, quien presenta menor esfericidad (0.689 ± 0.03).



**Figura 13.** Forma del grano de frijol Gordo, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie.

Tampoco se observaron diferencias estadísticas entre las localidades para la variable área de superficie, con un promedio general de  $34.04 \pm 1.27 \text{ mm}^2$ .

El frijol Ayocote puede variar en tamaño (Figura 14), pero tiende a ser más grande que otras variedades de frijole comun, la forma del frijol Ayocote es alargada y aplanada. La forma de este frijol no presentó diferencias significativas entre las dos localidades Matlalapa y Ocoatepec, donde fue cultivado, presentando en promedio un diámetro geométrico ( $n=50$ ) de  $9.658 \pm 0.00 \text{ mm}$ ,  $0.685 \pm 0.01$  de esfericidad y  $29.394 \pm 0.05 \text{ mm}^2$  en el área de superficie.



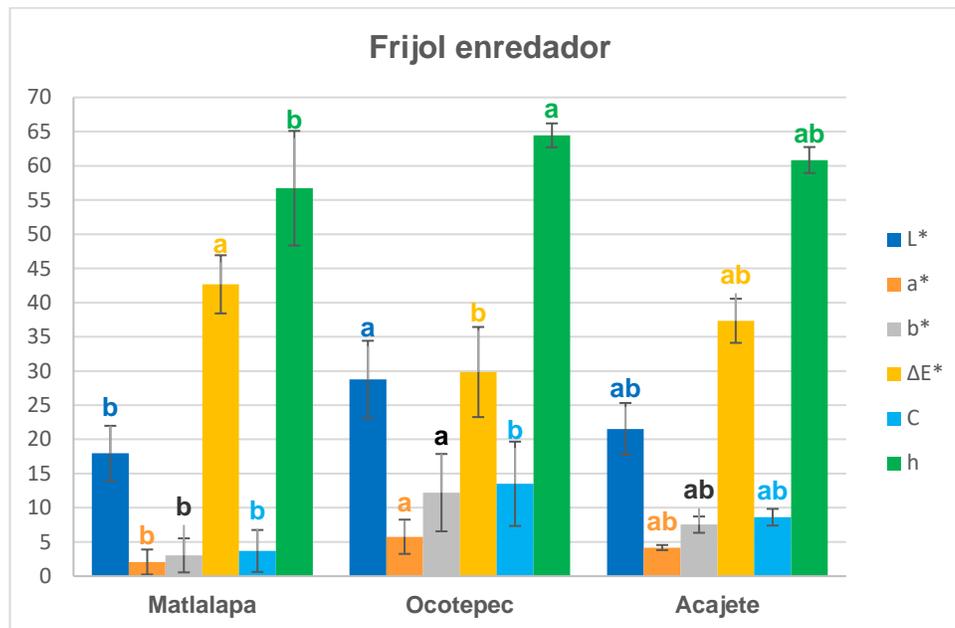
**Figura 14.** Forma del grano de frijol Ayocote, expresado en diámetro geométrico, esfericidad y área de la superficie.

### 6.1.2. Color del frijol

Los parámetros de color determinados con la escala de CIELAB fueron la luminosidad  $L^*$  (0 = negro y 100 = blanco), el valor de  $a^*$  representado por valores positivos (rojo) o negativos (verde),  $b^*$  con valores positivos (amarillo) o negativos (azul), el croma  $C^*$ , tiene el valor 0 para estímulos acromáticos,  $\Delta E^*$  define la magnitud de la diferencia de

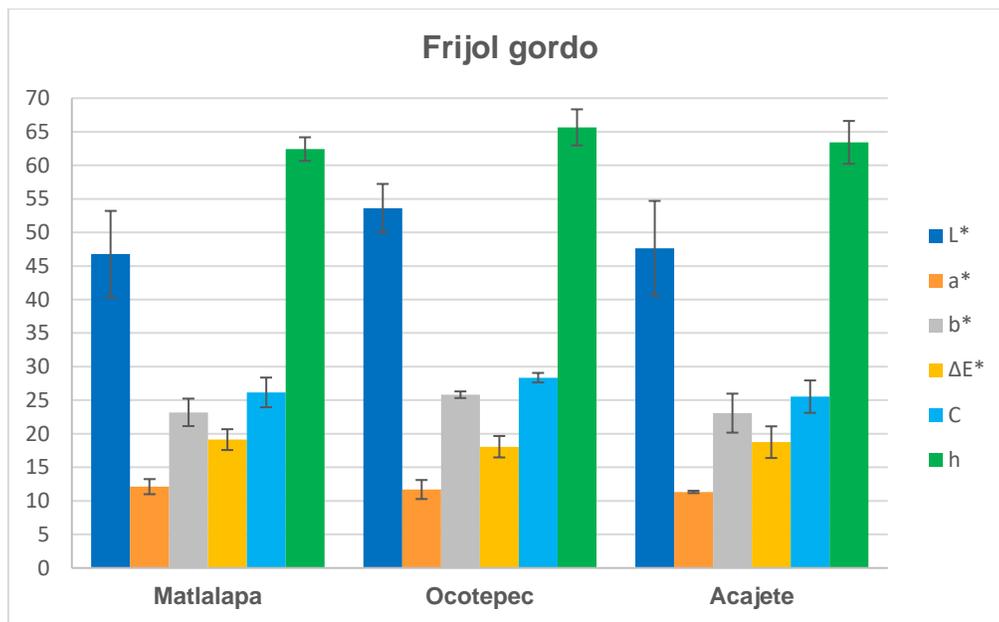
color existente entre dos muestras o bien, al compararlo con el mosaico blanco de color, como se realizó en estas evaluaciones y  $h^\circ$ , parámetro que describe el tono

El color de frijol Enredador está representado por tonos mayormente oscuros, de color negro y moteados cafés (Tabla 8), y de manera visual, cada localidad presenta diferencias, donde Matlalapa tiene un color más negro y homogéneo, Acajete presenta una mezcla homogénea de semillas negras y cafés, mientras que Ocotepéc fueron los más heterogéneos. De manera general, los valores de luminosidad ( $L^*$ ) oscilaron entre 18.0 a 28.8, mientras que los de croma fueron de 3.7 a 13.5,  $a^*$  de 2.1 a 5.8, que refleja la tonalidad del rojo al verde; mientras que la tonalidad del amarillo  $b^*$  registró de 3.0 a 12.2,  $\Delta E^*$  con valores de 29.8 a 42.7 y  $h$  56.7 a 64, los frijoles de la colecta de Matlalapa mostraron los más bajos niveles de luminosidad, croma,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $h$ , mientras que los valores más altos están presentes en Ocotepéc con excepción de  $\Delta E^*$ , los cuales se diferencian por ser más heterogéneos en su color y Acajete presenta los valores intermedios (Figura 15).



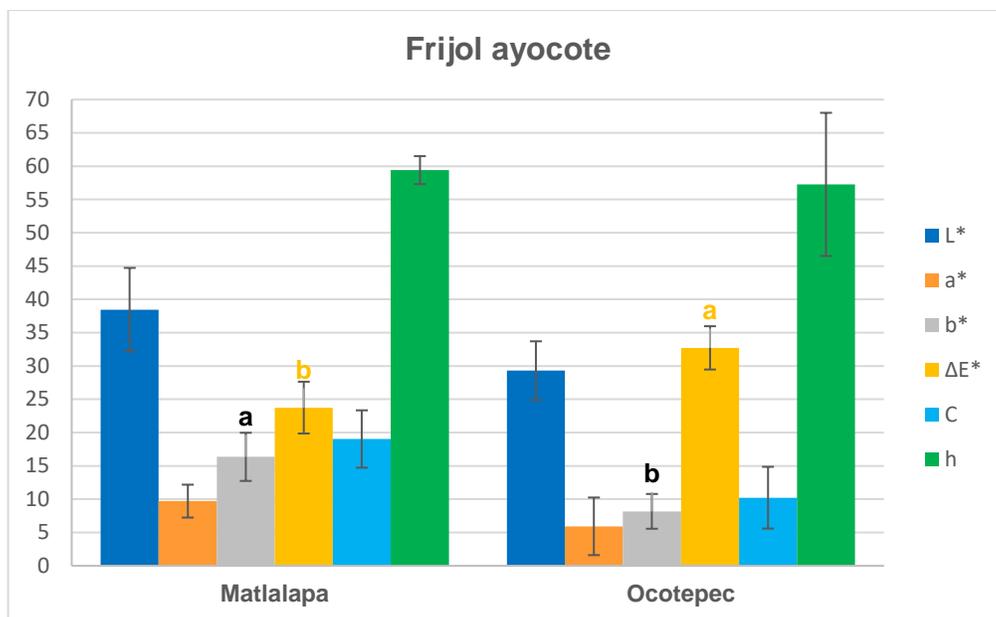
**Figura 15.** Color de frijol Enredador, expresado con los parámetros de la escala CIELAB. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

El grano del frijol Gordo descrito con testa de color café claro presenta mucha homogeneidad en las semillas analizadas, sin diferencias estadísticas significativas entre las localidades analizadas, registrando parámetros de la escala de color CIELAB: luminosidad (46.8 a 53.7),  $a^*$  (11.3 a 12.1),  $b^*$  (23.1 a 25.8), diferencia de color  $\Delta E$  (18.1 a 19.1), Cromo (25.5 a 28.4) y valores de  $h$  (62.4 a 65.7), confirmado la estabilidad del color de las semillas (Figura 16).



**Figura 16.** Color de frijol Gordo, expresado con los parámetros de la escala CIELAB.

El frijol Ayocote presenta mucha heterogenicidad en el color de sus granos, su testa tiene tonos morados-rosas, negros, amarillos y cafés, sin embargo, el proveniente de Ocotepc se percibe como con una tonalidad más amarilla (Tabla 8), sus valores expresados a partir de los parámetros de la escala de CIELAB, fueron en promedio para  $L^*$ :  $33.8 \pm 6.9$ ;  $a^*$ :  $7.8 \pm 3.7$ ,  $h$ :  $58.3 \pm 7.0$ ,  $b^*$ :  $12.2 \pm 5.3$ ,  $\Delta E^*$ :  $28.2 \pm 5.8$  y  $C$ :  $14.6 \pm 6.2$ , donde Matlalapa tiene un valor más alto en  $b^*$  ( $16.36 \pm 3.61$ ) y Ocotepc en  $\Delta E$  ( $32.73 \pm 3.25$ ) (Figura 17).

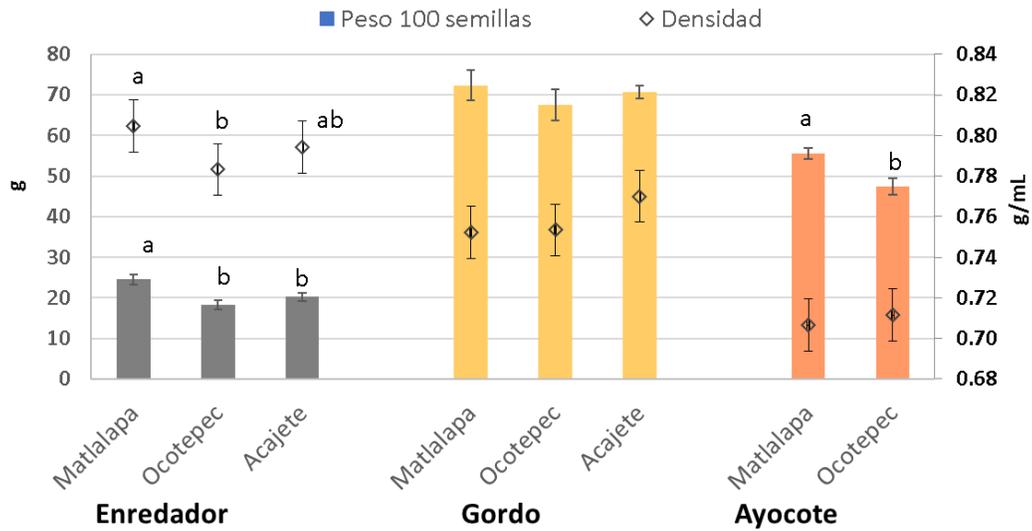


**Figura 17.** Color de frijol Ayocote, expresado con los parámetros de la escala CIELAB. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### 6.1.3. Tamaño del frijol

Las tres especies de frijol criollo cultivado en sistema milpa de Veracruz mostraron diferencias significativas en cuanto al tamaño, el frijol Gordo es una variedad que presentó mayor tamaño, el peso de 100 semillas oscilo entre 67.6 a 72.4 g, seguido de Ayocote (47.4 a 55.5 g) y de menos tamaño Enredador (18.3 a 24.5g), éste último, presentó una mayor densidad aparente de la semilla, que relaciona el peso aparente y el volumen a granel con un valor de 0.78 a 0.80 g/mL, seguido de Gordo (0.75 a 0.77 g/mL) y con menor densidad Ayocote ( 0.71 g/mL) (Figura 18).

El frijol Enredador, Gordo y Ayocote de Matalalpa poseen el mayor peso en 100 semillas, lo que indica que tiene un mayor tamaño en comparación a los otros municipios.



**Figura 18.** Tamaño del grano de frijol Enredador, Gordo y Acajete expresado en peso de 100 semillas y densidad a granel. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

## 6.2. Caracterización Nutricional de Muestras de Frijol

A partir de un análisis integral de todos los datos, se observó que la composición proximal de los diferentes tipos de frijol es muy similar, pero se observa menor contenido de proteína en frijol Ayocote. De acuerdo con los resultados el rango de humedad oscila entre 12.39-13.95 g/100 g; cenizas: 3.75-4.75 g/100 g; lípidos: 0.33-1.23 g/100 g; proteína: 18.31-21.56 g/100 g; fibra cruda: 3.82-6.42 g/100 g y ELN: 60.26-62.81 g/100 g. La variedad de frijol Ayocote destacó en presencia de un mayor contenido de fibra cruda (6.42 g/100g) en la localidad de Matlalapa, y extracto libre de nitrógeno (ELN), referidos como carbohidratos en la colecta de Ocotepec con 62.81 g/100g. Por otra parte, frijol Gordo se asocia a un mayor contenido en lípidos (1.23 g/100g) en el tratamiento Matlalapa y proteína (21.56 g/100g) y frijol Enredador Ocotepec presento 4.75 g/100g de cenizas (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Composición proximal de muestras de frijol criollo (g/100g).

Composición (g/100g)	Variedad							
	Enredador			Gordo			Ayocote	
	M	O	A	M	O	A	M	O
<b>Humedad</b>	12.89	12.89	13.22	12.53	12.39	12.9	13.95	13.83
<b>Cenizas</b>	3.75	4.75	4.65	4.22	4.4	4.12	3.84	4.06
<b>Lípidos</b>	0.86	0.67	0.33	1.23	0.82	1.03	0.75	0.99
<b>Proteínas</b>	20.65	20.3	21.54	20.77	21.56	20.01	18.7	18.31
<b>Fibra cruda</b>	3.87 <b>b</b>	6.03 <b>a</b>	6.25 <b>a</b>	6.29 <b>a</b>	3.82 <b>b</b>	4.14 <b>b</b>	6.42 <b>a</b>	6.38 <b>a</b>
<b>ELN</b>	61.88 <b>ab</b>	61.39 <b>bc</b>	60.26 <b>c</b>	61.25 <b>bc</b>	60.83 <b>bc</b>	61.94 <b>ab</b>	62.76 <b>a</b>	62.81 <b>a</b>

Nota: M: Matlalapa, O: Ocoatepec, A: Acajete, ELN: extracto libre de nitrógeno. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ANOVA/DUNCAN ( $p < 0,05$ ).

La cantidad de aminoácidos presentes en las leguminosas se expresa en miligramos por cada 100 gramos de proteína bruta, de este modo, en un análisis para determinar el contenido de aminoácidos esenciales en harina de frijol criollo, en total se determinaron veinte aminoácidos, ocho esenciales y doce no esenciales, se mostró que la lisina (Lys) fue el aminoácido esencial de mayor concentración (1479.32 a 2509.8 mg/100 g), los valores máximos de aminoácidos esenciales son para la variedad Enredador Acajete, mientras que Gordo Acajete presentó aminoácidos con menos concentración. Por otra parte, en aminoácidos no esenciales el ácido glutámico (Glu) fue el de mayor concentración (2676.28 a 4153.92 mg/100 g), la colecta de frijol Enredador Acajete y Gordo Ocoatepec fueron los tratamientos que presentaron mayores resultados en el análisis de contenido, mientras que el tratamiento Gordo Acajete mostró los valores más inferiores (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Contenido de aminoácidos totales en harina de frijol criollo (mg/100g).

<b>Aminopácidos esenciales</b>								
<b>Composición</b>	<b>Varietades</b>							
	<b>Enredador</b>			<b>Gordo</b>			<b>Ayocote</b>	
	M	O	A	M	O	A	M	O
Valina (Val)	1186.36	1089.9	1506.71	1021.36	1178.61	848.25	1007.17	970.9
Treonina (Thr)	633.22	547.55	771.36	614.32	675.06	490.35	606.78	556.94
Isoleucina (Ile)	917.65	843.71	1131.47	784.35	944.51	641.63	798.84	726.89
Leucina (Leu)	1554.89	1177.12	2276.39	1982.3	2186.27	1077.32	1902.73	1638.19
Lisina (Lys)	2249.12	1898.84	1754.26	2206.47	2509.8	1479.32	2061.1	1844.15
Metionina (Met)	<1.49	<1.49	<1.49	<1.49	<1.49	<1.49	<1.49	<1.49
Fenilalanina (Phe)	1291	1273.43	1530.06	1224.84	1408.53	1408.53	1214.3	1065.33
Triptofano (Trp)	21.35	26.17	49.55	9.47	10.36	8.76	7.52	5.16
Histidina (His)	743.81	663.9	1026.75	671.6	856.45	515.31	672.05	651.79

<b>Aminoácidos no esenciales</b>								
<b>Composición</b>	<b>Varietades</b>							
	<b>Enredador</b>			<b>Gordo</b>			<b>Ayocote</b>	
	M	O	A	M	O	A	M	O
Glicina (Gly)	868.32	702.04	697.8	821.84	933.23	550.58	803.78	763.87
Alanina (Ala)	1284.43	980.14	1241.47	1236.65	1425.06	792.59	1188.78	949.19
Serina (Ser)	1411.36	1115.72	1142.4	1469.04	1593.97	926.66	1310.17	1114.82
Prolina (Pro)	2054.77	16.70.81	2254.15	1997.01	2172.02	1416.53	1882.07	1697.07
Cisteina (Cys)	4.34	<1.21	14.43	36.28	20.25	58.38	6.61	3.65
Asparagina (Asn)	62.28	109.96	85.43	<1.32	<1.32	<1.32	<1.32	<1.32
Ácido aspártico (Asp)	2696.31	2250.94	2030.73	2746.43	2997	1697.78	2451.27	2026.04
Glutamina (Gln)	27.82	<1.46	43.93	44.15	26.07	79.34	16.25	<1.46
Ácido glutámico (Glu)	3804.25	3266.28	2704.69	3683.94	4153.92	2676.28	3449.51	3072.7
Arginina (Arg)	1437.68	1493.71	1965.48	1285.28	1442.07	927.27	1243.14	1108.12
Tirosina (Tyr)	707.92	624.97	807.7	704.83	772.48	557.28	660.49	573.22

Nota: M: Matlalapa, O: Ocotepéc, A: Acajete.

### 6.3. Componentes Nutraceuticos de Frijol

#### 6.3.1. Compuestos fenolicos del frijol

**Frijol enredador.** El contenido de compuestos fenolicos totales analizados por el método de Folin-Ciocalteu expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) y catequina (ECAT) presentó un rango de 0.32 a 0.34 mg EAG/g de harina y 0.35 a 0.38 mg ECAT/g harina, respectivamente; no encontrándose diferencias significativas.

Se realizó la evaluación por otro método de los compuestos fenolicos totales y grupos de fenolicos por un método UV-espectrofotométrico, donde la colecta de Matlalapa ( $2.84 \pm 0.15$  mg ECAT/g harina) y Ocoatepec ( $2.82 \pm 0.68$  mg ECAT/g harina) fueron ligeramente superiores, y Acajete presentó los valores más bajos de fenoles totales ( $2.25 \pm 0.14$  mg ECAT/g harina). Por su parte, Matlalapa presento mayor concentración de esterés tartáricos ( $0.28 \pm 0.02$  mg EAC/g harina) seguido de Acajete y Ocoatepec. En cuanto a los flavonoles, no se mostraron diferencias significativas, los resultados fueron de  $0.12 \pm 0.01$  mg EQUER/g a  $0.15 \pm 0.11$  mg EQUER/g harina y Matlalapa con el valor más alto en contenido de flavonoides con  $1.27 \pm 0.14$  mg ERUT/g harina, seguido de Ocoatepec y Acajete (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Contenido de compuestos fenolicos por grupo en Frijol Enredador.

	Enredador		
	Matlalapa	Ocoatepec	Acajete
Fenolicos totales mg EAG/g harina	$0.33 \pm 0.04$	$0.32 \pm 0.06$	$0.34 \pm 0.02$
Fenolicos totales mg ECAT/g harina	$0.37 \pm 0.05$	$0.35 \pm 0.07$	$0.38 \pm 0.03$
Fenolicos totales mg ECAT/g harina	$2.84 \pm 0.15$ a	$2.82 \pm 0.68$ a	$2.25 \pm 0.14$ b
Esterés tartáricos mgEAC/g harina	$0.28 \pm 0.02$ a	$0.24 \pm 0.06$ b	$0.25 \pm 0.01$ ab
Flavonoles mg EQUER/g harina	$0.13 \pm 0.01$	$0.15 \pm 0.11$	$0.12 \pm 0.01$
Flavonoides mgERUT/g harina	$1.27 \pm 0.14$ a	$1.06 \pm 0.08$ b	$0.93 \pm 0.08$ c

Promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA/Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

**Frijol Gordo.** El contenido de compuestos fenolicos totales analizado por el método de Folin-Ciocalteu expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) y catequina (ECAT), no presentaron diferencias significativas entre sus resultados.

Por otra parte, en el contenido de compuestos fenólicos totales por el método espectrofotométrico UV, Ocotepc fue superior con un valor de  $2.56 \pm 0.79$  mg ECAT/g.

Para flavonoles los rangos se encuentran con valores de 0.07 a 0.08 mg EQUER/g, siendo ligeramente mayor el resultado de Ocotepc, por otra, para flavonoides y esterés tartáricos no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Contenido de compuestos fenólicos por grupo en Frijol Gordo.

	Gordo		
	Matlalapa	Ocotepc	Acajete
Fenólicos totales mg EAG/g harina	$0.30 \pm 0.05$	$0.29 \pm 0.06$	$0.31 \pm 0.04$
Fenólicos totales mg ECAT/g harina	$0.33 \pm 0.06$	$0.32 \pm 0.07$	$0.34 \pm 0.05$
Fenólicos totales mg ECAT/g harina	$1.82 \pm 0.12$ b	$2.56 \pm 0.79$ a	$1.75 \pm 0.16$ b
Esterés tartáricos mgEAC/g harina	$0.16 \pm 0.00$	$0.17 \pm 0.02$	$0.16 \pm 0.01$
Flavonoles mg EQUER/g harina	$0.07 \pm 0.00$ b	$0.08 \pm 0.01$ a	$0.07 \pm 0.01$ b
Flavonoides mgERUT/g harina	$0.34 \pm 0.03$	$0.34 \pm 0.05$	$0.38 \pm 0.09$

Promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA/Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

**Frijol Ayocote.** En general, el contenido de compuestos fenólicos totales analizado por el método de Folin-Ciocalteau expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) y catequina (ECAT), presentó un rango superior en el tratamiento Ocotepc, de  $0.56 \pm 0.06$  mg EAG/g harina y  $0.66 \pm 0.07$  mg ECAT/g harina. En el contenido de compuestos fenólicos totales por el método espectrofotométrico UV, no se presentaron diferencias significativas.

Para esterés tartáricos no se encuentran diferencias significativas entre sus colectas y en cuanto al contenido de flavonoles, Ocotepc se muestra superior con  $0.10 \pm 0.03$  mg QUER/g harina, y en menor valor Matlalapa ( $0.07 \pm 0.00$  mg QUER/g harina). Por otra parte, Matlalapa muestra un valor más alto en flavonoides con  $0.56 \pm 0.05$  mg ERUT/g harina, a comparación de Ocotepc ( $0.48 \pm 0.09$  mg ERUT/g harina) (Cuadro 17).

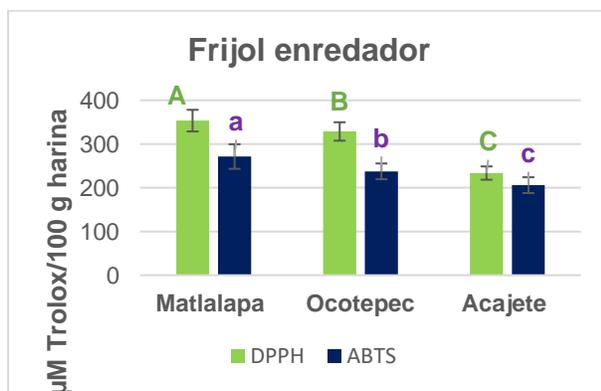
**Cuadro 17.** Contenido de compuestos fenólicos por grupo en Frijol Ayocote.

	Frijol Ayocote	
	Matlalapa	Ocoatepec
Fenólicos totales mg EAG/g harina	0.46 ± 0.03 b	0.56 ± 0.06 a
Fenólicos totales mg ECAT/g harina	0.53 ± 0.04 b	0.66 ± 0.07 a
Fenólicos totales mg ECAT/g harina	2.10 ± 0.37	1.79 ± 1.41
Esterés tartáricos mgEAC/g harina	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.06
Flavonoles mg EQUER/g harina	0.07 ± 0.00 b	0.10 ± 0.03 a
Flavonoides mgERUT/g harina	0.56 ± 0.05 a	0.48 ± 0.09 b

Promedio ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA/Duncan (p ≤ 0.05).

### 6.3.2. Análisis de la capacidad antioxidante de extractos de frijol por DPPH y ABTS

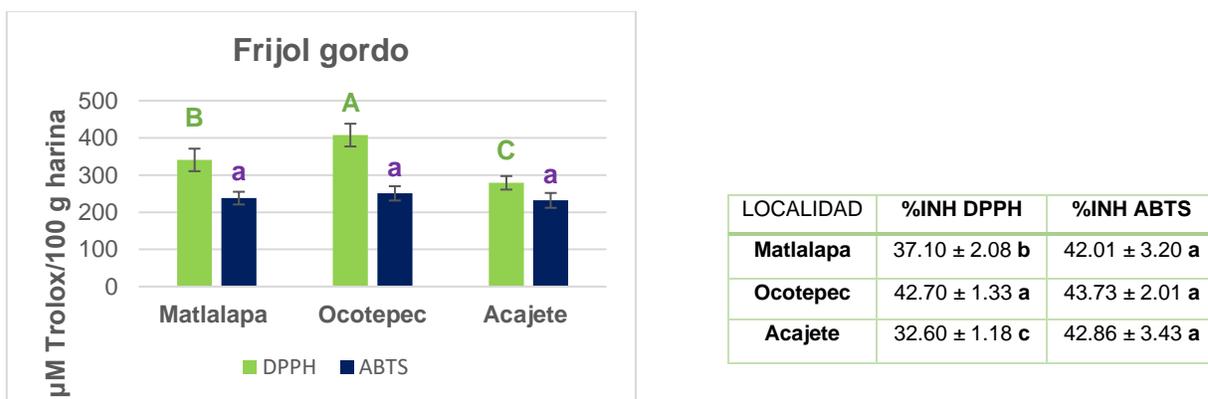
**Frijol enredador.** La capacidad antioxidante del extracto de compuestos fenólicos fue superior en la localidad de Matlalapa, mediante el método de DPPH se obtuvo un resultado de  $353.43 \pm 24.77 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$  y un porcentaje de inhibición de 43.48%, mientras que en ABTS fue de  $271.36 \pm 28.13 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$ , con un porcentaje de inhibición de 52.13%, seguido la localidad Ocoatepec, con un resultado de  $328.64 \pm 21.09 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$  (41.76 % de inhibición) en DPPH y en ABTS  $237.4 \pm 18.02 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$  (48.48% de inhibición) y con valores inferiores Acajete, en DPPH los resultados fueron  $233.54 \pm 15.2 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$  (29.43 %de inhibición) y con ABTS los valores de la capacidad antioxidante fueron de  $205.97 \pm 18.07 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g harina}$  (41.26 % de inhibición) (Figura 19).



LOCALIDAD	%INH DPPH	%INH ABTS
Matlalapa	43.48 ± 2.75 a	52.13 ± 4.85 a
Ocoatepec	41.76 ± 2.74 b	48.48 ± 4.66 b
Acajete	29.43 ± 0.81 c	41.26 ± 2.87 c

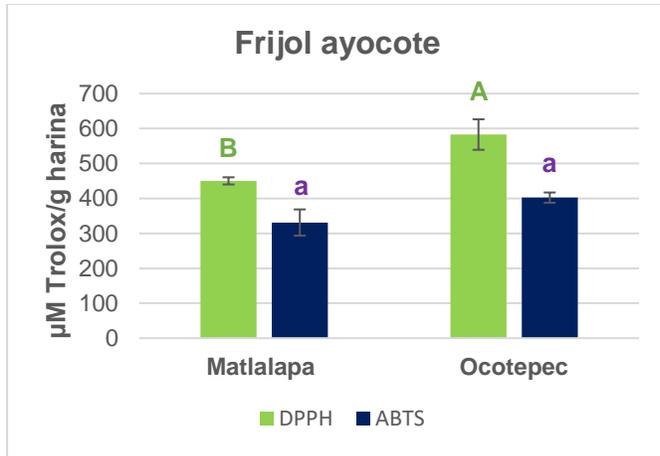
**Figura 19.** Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Enredador. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05).

**Frijol Gordo.** La capacidad antioxidante por DPPH que fue mayor en la localidad de Ocoteppec en comparación a los resultados obtenidos con frijol enredador, con valores de  $407.59 \pm 30.62 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina y con un porcentaje de inhibición de 42.70%. Por otra parte, los tratamientos Matlalapa y Acajete mostraron valores de  $340.74 \pm 30.33 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$ , 41.76 % de inhibición y  $279.19 \pm 18.20 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con 29.43% de inhibición, respectivamente. Del mismo modo, mediante el método de ABTS, se presentó el mismo comportamiento, siendo superior Ocoteppec ( $250.86 \pm 19.27 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con 43.73% de inhibición) seguido de Matlalapa ( $237.99 \pm 17.21 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con 42.01% de inhibición) y Acajete ( $231.94 \pm 20.02 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con  $42.86 \pm 3.43 \%$  de inhibición) (Figura 20).



**Figura 20.** Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Gordo. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

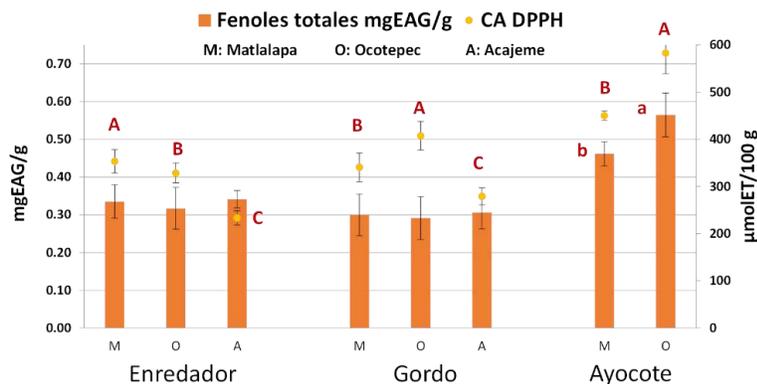
**Frijol Ayocote.** Esta variedad presentó un resultado superior en las colectas de Ocoteppec, a través del método de DPPH se obtuvo un valor de  $582.81 \pm 6.35 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, superando el 50% de porcentaje de inhibición con un total de 72.23%, mientras que en ABTS, el valor fue de  $402.39 \pm 14.69 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina y 76.83 % de inhibición. Por otra parte, Matlalapa tiene un valor de  $450.27 \pm 10.27 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con 57.66 % de inhibición de DPPH y  $331.05 \pm 37.58 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$  harina, con 65.74% de inhibición de ABTS (Figura 21).



LOCALIDAD	%INH DPPH	%INH ABTS
Matlalapa	57.66 ± 3.07 b	65.74 ± 9.37 a
Ocotepéc	72.23 ± 0.91 a	76.83 ± 3.65 a

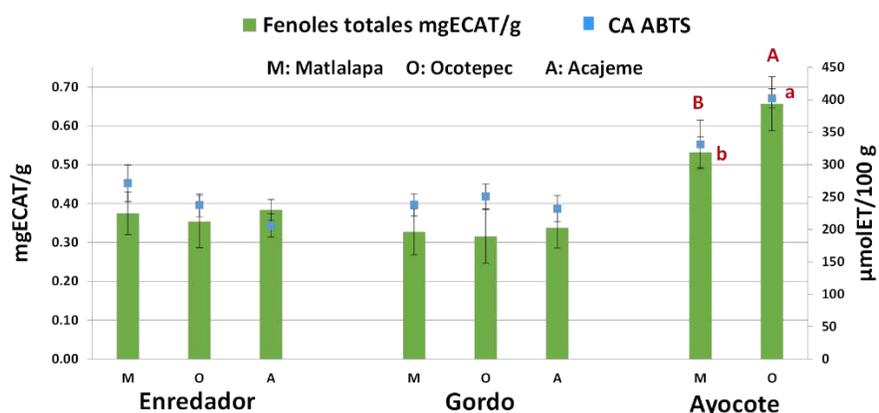
**Figura 21.** Capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en frijol Ayocote. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Estadísticamente al realizar la comparación del contenido de compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante por DPPH, de las tres variedades de frijol criollo, la colecta de frijol Ayocote mostró un resultado superior con un promedio de  $0.51 \pm 0.07$  mg EAG/g harina y  $516.54 \pm 93.72$  µM Trolox/g harina, la colecta de Gordo tuvo un promedio de  $0.30 \pm 0.01$  mg EAG/g harina y  $342.50 \pm 64.22$  µM Trolox/g harina, por su parte Enredador presentó un valor en promedio de  $0.33 \pm 0.01$  mg EAG/g harina y  $305.20 \pm 63.29$  µM Trolox/g harina, siendo esta la variedad con más baja capacidad antioxidante mediante DPPH (Figura 22).



**Figura 22.** Comparación de Fenoles totales y capacidad antioxidante por DPPH por tipo de frijol y diferente localidad. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

El contenido de compuestos fenólicos totales y su comparación con la capacidad antioxidante por ABTS mostró un comportamiento similar al de DPPH, siendo la variedad Ayocote la que presenta los valores más altos, en promedio  $0.59 \pm 0.09$  mg ECAT/g harina y  $366.72 \pm 50.44$  Trolox/g harina, mientras que Gordo presentó  $0.33 \pm 0.01$  mg ECAT/g harina y  $240.26 \pm 9.67$  Trolox/g harina, y Enredador tuvo un valor promedio de  $0.37 \pm 0.02$  mg ECAT/g harina y  $238.24 \pm 32.70$  Trolox/g harina (Figura 23).



**Figura 23.** Comparación de fenoles totales y capacidad antioxidante por ABTS por tipo de frijol y diferente localidad. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### 6.3.3. Antocianinas por método de pH diferencial

Las variedades de frijol criollo analizadas mostraron concentraciones de antocianinas en un rango de  $5.75 \pm 1.65$  mg/100 g a  $63.79 \pm 1.21$  g/100 g (Cuadro 18). Tal como se esperaba, el mayor contenido de antocianinas fue encontrado en el extracto del frijol Enredador, la colecta de Matlalapa presentó la mayor concentración ( $63.79 \pm 1.21$  g/100 g). Cabe destacar que la variedad Gordo, al ser granos claros, no mostraron concentraciones significantes para ser analizadas, por lo cual no fueron registrados sus resultados.

**Cuadro 18.** Concentración de antocianinas en variedades de frijol criollo (mg/100g).

Variedad	Localidad	Antocianinas totales (mg/100g)
Enredador	Matlalapa	63.79 ± 1.21 a
	Ocotepec	23.02 ± 11.20 b
	Acajete	30.27 ± 2.12 b
Ayocote	Matlalapa	5.75 ± 1.65
	Ocotepec	5.93 ± 1.41

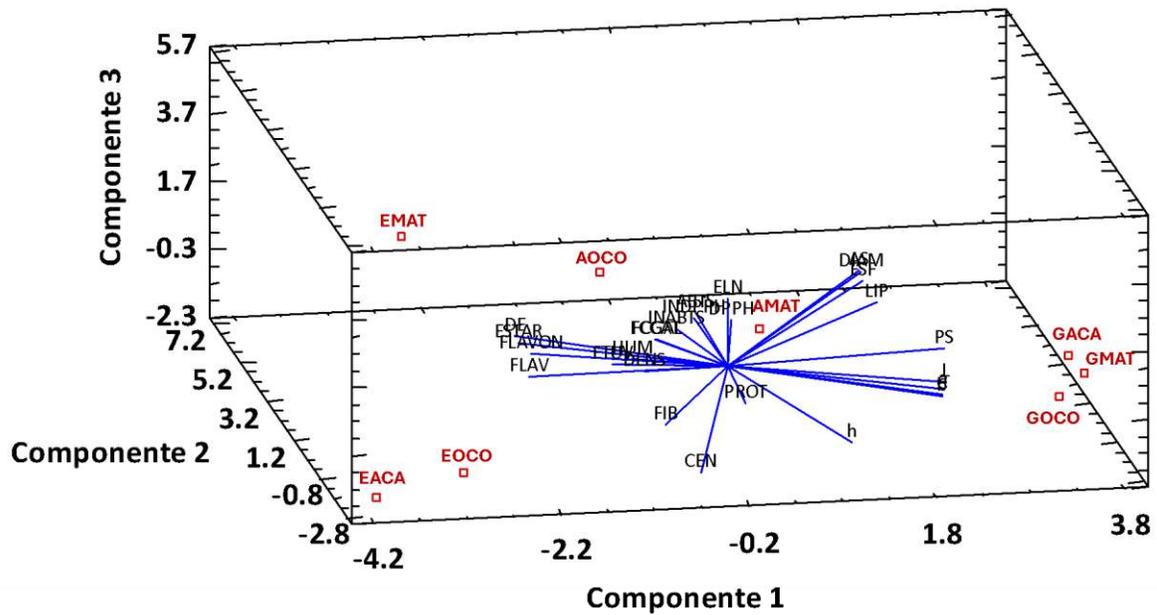
Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### **Análisis de componentes principales (PCA) de distintos tipos de frijol criollo**

Se realizó un análisis integral de todas las variables antes descritas, mediante un análisis de componentes principales (PCA). Este análisis permite establecer una relación entre los componentes fenólicos, la capacidad antioxidante y las características fisicoquímicas del grano de frijol que caracterizan a cada uno de los distintos tipos de frijol analizados, cultivadas en distintas localidades de sistema milpa de Veracruz.

El PCA con distintas variables: datos fisicoquímicos (colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ , croma y h, además del peso de 100 semillas, esfericidad y densidad); contenido de compuestos fenólicos (fenoles totales y por grupos, ésteres tartáricos, flavonoles, flavonoides del extracto de compuestos fenólicos) y capacidad antioxidante, identificó tres componentes.

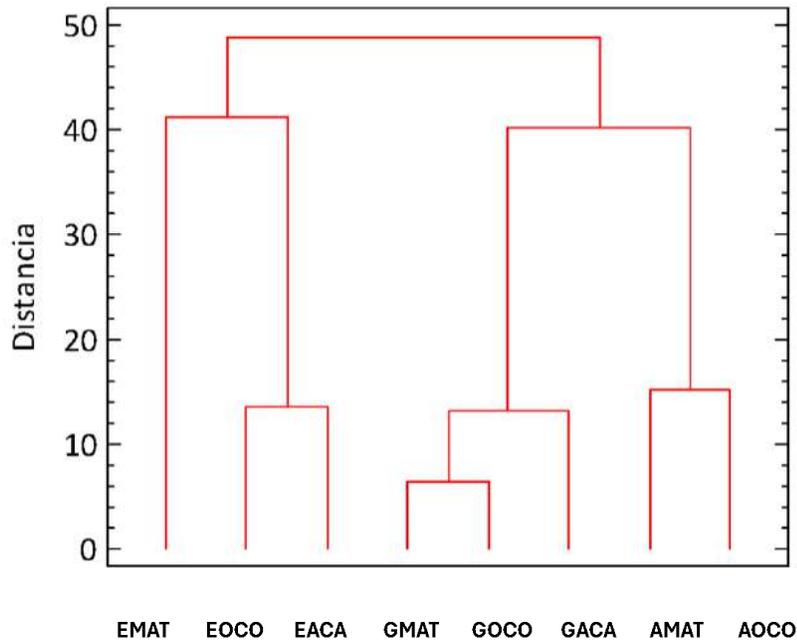
C1 (40%), C2 (36%) y C3 (13%) de la variabilidad, con un porcentaje acumulado de 89%. El C1 está asociado a tamaño, color y compuestos fenólicos por grupo: ésteres tartáricos, flavonas y flavonoides; el C2 a la densidad, fenólicos totales F-C, capacidad antioxidante, humedad, proteína y carbohidratos; mientras que el C3 se asocia a la forma de semilla, cenizas, lípidos y fibra (Figura 24).



**Figura 24.** Agrupamiento de los tratamientos de frijol criollo cultivado con las características analizadas por componentes principales (PCA). EMAT: enredador Matlalapa, Xico; EOCO: enredador Ocoatepec, Ayahualulco; EACA: enredador Acajete, el Encinal II; GMAT: gordo Matlalapa, Xico; GACA: gordo Acajete, el Encinal II; GOCO: gordo Ocoatepec, Ayahualulco; AMAT: ayocote, Matlalapa, Xico; AOCO: ayocote Ocoatepec, Ayahualulco.

De acuerdo con el agrupamiento de los componentes principales, a partir de las variables consideradas para el análisis, en la figura 34 se muestra la asociación de las distintas muestras de frijol criollo, identificándose dos grupos, I constituido por dos conjuntos, en una parte se encuentra Enredador Matlalapa, separado del conjunto que engloba a Enredador Ocoatepec y Enredador Acajete, estos últimos tienen similitud en el tamaño de grano y fenoles totales, Matlalapa se diferencia de ellos ya que presenta un tamaño de forma y una capacidad antioxidante más elevada. Los tratamientos del primer grupo comparten similitud en contenidos de tamaño de frijol (esfericidad y diámetro geométrico) y compuestos fenólicos. En el grupo II, Gordo Matlalapa y Gordo Ocoatepec forman un conjunto, ya que comparten características y capacidad antioxidante por ABTS similar, a su vez, muestran similitud con Gordo Ayocote, cuyos tratamientos son similares en cuanto a su forma y tamaño, pero este se diferencia debido a que presenta un valor más elevado en capacidad antioxidante por DPPH y

ABTS, de igual manera, estos dos subconjuntos son similares con los tratamientos Ayocote Matlalapa y Ayocote Ocoteppec, variedad que presento un mayor contenido en capacidad antioxidante por DPPH y ABTS y tienen un tamaño de grano parecido. Grupo I y II presentan una composición proximal nutricional muy similar (Figura 25).



**Figura 25.** Dendrograma del análisis de conglomerados realizado con características de frijol criollo cultivado en sistema milpa en Veracruz analizadas por PCA. Método del vecino más cercano, Euclidean Cuadrada. EMAT: enredador Matlalapa, Xico; EOCO: enredador Ocoteppec, Ayahualulco; EACA: enredador Acajete, el Encinal II; GMAT: gordo Matlalapa, Xico; GACA: gordo Acajete, el Encinal II; GOCO: gordo Ocoteppec, Ayahualulco; AMAT: ayocote, Matlalapa, Xico; AOCO: ayocote Ocoteppec, Ayahualulco.

## 7. DISCUSIÓN

Las características físicas de las semillas mostraron diferencias en cuanto a su peso y tamaño entre las distintas especies, la colecta de menor tamaño fue enredador (*Phaseolus vulgaris* L.), cuyo peso de 100 semillas osciló en 18.3 a 24.5 g y los parámetros de dimensión obtenidos de los granos muestran en promedio  $12.13 \pm 2.52$  mm de longitud,  $8.13 \pm 2.48$  mm en anchura y  $5.66 \pm 1.29$  mm de espesor, donde los resultados de estos parámetros son similares a los reportados por Corzo-Riosa et al. (2020) en variedades cultivadas en México (17.1 a 26.7 g/100 semillas,  $13.28 \pm 3.93$  mm de longitud,  $7.34 \pm 0.79$  mm de ancho y  $5.64 \pm 0.85$  mm de espesor), mientras que en los resultados de Mex-Álvarez et al. (2021) el peso de 100 semillas fue de 19.54 a 47.12 g, presentando pesos superiores a los encontrados en este estudio y con dimensiones de longitud y grosor ligeramente inferiores ( $10.6 \pm 1.0$  mm longitud,  $6.6 \pm 0.7$  mm anchura y  $4.4 \pm 0.5$  mm grosor), en semillas de frijol nativo de Guanacaste el intervalo de variación de peso es similar (17.16 a 26.52 g/100 semillas), pero con dimensiones físicas inferiores (9.70 a 10.97 mm longitud, 5.69 a 6.25 mm anchura y 3.96 a 4.81 mm grosor) (Oreamuno-Fonseca *et al.*, 2023), Morales-santos et al. (2017) también expresaron resultados de dimensiones menores en granos de frijol silvestre (6.48 a 7.06 mm longitud, 4.02 a 4.66 mm anchura y 2.6 mm grosor), por otro lado, en los datos publicados por Espinoza-Pérez et al. (2015) donde se evaluaron semillas nativas de frijol común, se registraron dimensiones similares ( $13.5 \pm 1.9$  mm longitud,  $8.7 \pm 1.3$  anchura y  $6.0 \pm 0.7$  mm grosor) y valores de peso superiores ( $44.8 \pm 12.5$  g/100 semillas), del mismo modo Castillo-Mendoza et al. (2006) y Locqueville et al. (2022) reportaron un peso mayor ( $39.14 \pm 8.95$  y  $34.6 \pm 15.1$  g/100 semillas, respectivamente). Pérez-Herrera et al. (2002) analizó diversos genotipos de frijol, donde dedujo que la especie de *P. coccineus* L., siempre es mayor en tamaño que *P. vulgaris* L., relacionando que el frijol enredador es el de tamaño más pequeño.

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) presentó un rango de peso de 47.4 a 55.5 g/100 semillas y en dimensiones físicas un promedio de  $14.13 \pm 0.91$  mm de longitud,  $9.54 \pm 0.73$  mm de ancho y  $6.71 \pm 0.53$  mm de grosor, resultados que fueron inferiores a los publicados por otros autores, por su parte Locqueville et al. (2022) informaron

que en promedio el peso fue  $81.3 \pm 42.4$  g/100 semillas, mientras que en poblaciones nativas de frijol ayocote del oriente del estado de México se reportó un intervalo de variación mayor tanto en peso (61.90 a 145.50 g/100 semillas), como en dimensiones físicas de longitud y ancho (16.5 a 23.0 mm de longitud, 10.3 a 14.2 mm de anchura y 6.7 a 8.8 mm de grosor) (Castillo-Mendoza *et al.*, 2006), Osuna-Gallardo *et al.* (2023) obtuvieron en su estudio un resultado mayor, mientras que el peso fue en promedio  $78.59 \pm 2.78$  g/100 semillas, en dimensiones  $16.21 \pm 1.41$  mm de longitud,  $10.21 \pm 0.96$  mm de ancho y  $7.11 \pm 0.81$  mm de grosor, del mismo modo que Corzo-Riosa *et al.* (2020) con dimensiones (16.1 a 20.9 mm de longitud, 10.7 a 13.7 mm de ancho y 6.8 a 8.8 mm de grosor) y peso (83.76 - 148.93 g/100 semillas) superiores, por otra parte, las características del grano de frijol Ayocote criollo recolectados en el Carso Huasteco, reportadas por Vargas-Vázquez *et al.* (2011), tienen un promedio de  $15 \pm 2.0$  mm de largo,  $10 \pm 1.0$  mm de ancho y en grosor  $6.0 \pm 1.0$  mm, los cuales son resultados con gran similitud a los registrados, además de estar relacionados con el color del grano, predominando el negro, variantes de violeta y de beige, sin embargo el peso de 100 semillas que oscilo entre 36.0 a 114.0 g/100 semillas fue mayor al resultado de esta investigación. Se puede atribuir que la diversidad en tamaños de esta especie se debe a las estrategias vinculadas con el manejo del sistema de cultivo de la milpa, que abarca múltiples especies y, dentro de estas, diversos morfotipos, los cuales podrían estar ayudando a preservar la diversidad favoreciendo la aparición de nuevas formas físicas, que ocurre debido a la coexistencia de poblaciones con distintos comportamientos de crecimiento y tiempos de maduración (Castillo-Mendoza *et al.*, 2006).

La especie con semillas de mayor tamaño fue la de frijol gordo (*Phaseolus dumosus*), sobresaliendo por su tamaño las características dimensionales fueron en promedio  $14.74 \pm 1.18$  mm de longitud,  $10.79 \pm 0.97$  mm en anchura y  $7.07 \pm 0.65$  mm de grosor, mientras que el peso de 100 semillas osciló entre 67.6 a 72.4 gramos, estos valores de peso fueron similares a los reportados por Locqueville *et al.* (2022) que presentaron en promedio  $72.3 \pm 15.5$  g/100 semillas. Basándose en la clasificación de tamaños en semillas de Singh *et al.* (1991), el frijol gordo y ayocote pueden considerarse una

variedad de semillas grandes (>40 g/100 semillas), mientras que enredador se clasifica de tamaño pequeño (25 g/100 semillas).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis proximal en las distintas variedades de frijol criollo, en frijol enredador el rango de humedad osciló entre 12.89 a 13.22; cenizas: 3.75 a 4.74; lípidos: 0.33 a 0.86; proteína: 20.30 a 21.54; fibra cruda: 3.87 a 6.25 y ELN: 60.26 a 61.88 g/100g, se muestran resultados similares de cenizas (3.60 a 4.63 g/100g) en variedades de frijol cultivados en el estado de Durango, México (Velasco-Gonzales *et al.*, 2013), asimismo Corzo-Riosa *et al.* (2020) reportan en su estudio valores parecidos en cenizas (3.58 a 5.0 g/100g) y ligeramente superiores en lípidos y proteínas (1.7 a 4.3 y 17.1 a 26.7 g/100g, respectivamente), mientras que Hernández-Melgar *et al.* (2020) mostraron resultados dentro del rango de variación de ELN (60.01 a 64.65 g/100g), inferiores en humedad y fibra cruda (8.24 a 11.19 y 3.60 a 3.99, respectivamente), y superiores para cenizas, lípidos y proteínas (6.74 a 7.49, 1.86 a 2.22 y 21.70 a 26.08 g/100g, respectivamente), Marshal-Moreno *et al.* (2021) presentó en promedio resultados similares en proteína ( $21.06 \pm 0.13$  g/100g), fibra cruda ( $3.06 \pm 0.07$  g/100g) y ELN ( $59.43 \pm 1.22$  g/100g), mientras que en cenizas ( $4.20 \pm 0.04$  g/100g) y lípidos ( $1.68 \pm 0.26$  g/100g) superiores. Por otra parte, el frijol ayocote presentó un rango de humedad: 13.83 a 13.95; cenizas: 3.84 a 4.06; lípidos: 0.75 a 0.99; proteína: 18.31 a 18.7; fibra cruda: 6.38 a 6.42 y ELN: 62.76 a 62.81 g/100g, en dos colectas de frijol ayocote proveniente del municipio de Zacatlán, se encontraron resultados similares en cenizas (3.50 a 2.77 g/100g), valores inferiores en humedad (9.36 a 9.62 g/100g) y superiores tanto en lípidos (3.50 a 3.78 g/100g), como en proteína (21.93 a 23.80) (Teniente-Martínez *et al.*, 2016), Marshal-Moreno *et al.* (2021) de igual manera reportaron un promedio para cenizas ( $3.70 \pm 0.13$  g/100g) similar al de este estudio, mientras que, en fibra cruda y ELN encontraron resultados inferiores ( $5.21 \pm 0.53$  y  $56.36 \pm 1.28$  g/100g, respectivamente), en lípidos y proteínas superiores ( $1.31 \pm 0.02$  y  $23.94 \pm 0.36$  g/100g, respectivamente), también se encontró contenido de proteína ( $18.82 \pm 0.69$  g/100g) similar en el frijol indígena (*Phaseolus coccineus*) y contenido superior de cenizas ( $4.45 \pm 0.07$  g/100g) y ELN ( $73.93 \pm 0.72$  g/100g) (Osuna-Gallardo *et al.*, 2023), de acuerdo con lo mencionado por Corzo-Riosa *et al.* (2020), en su estudio se presentaron valores dentro del rango en cenizas y proteínas

(3.9 a 4.9 y 17.7 a 18.0 g/100, respectivamente) y un valor triplicado en lípidos (2.8 a 3.6 g/100g). En general, las variedades de frijol criollo estudiadas en esta investigación muestran resultados similares a los valores presentados en la tabla de referencia (Humedad: 10.40 %; proteína: 22.70%; fibra cruda: 18.37%; ceniza: 3.70%; lípidos: 1.60 % y ELN: 61.60 %) de los parámetros de análisis bromatológico proximal del INCAP (2012), demostrando que los granos de frijol reportados en este estudio pueden consumirse y ser considerados como un recurso importante, dentro de la seguridad alimentaria y nutricional.

Dependiendo del tipo de frijol, las colectas tienen un contenido nutricional distinto, según Espinoza-Pérez et al. (2015), existe una diversidad biológica entre las colectas con relación a sus características físicas y el contenido de aminoácidos varía, en el caso de la variedad frijol enredador (*Phaseolus vulgaris L.*), el aminoácido de mayor concentración fue lisina con 2249.12 mg/100 g, y metionina en menor cantidad (<1.49 mg/100 g), coincidiendo con otros autores donde reportan a lisina como uno de los aminoácidos más abundantes en frijol común, pero deficiente en metionina (Ulloa et al., 2011), sin embargo en variedades locales chilenas se obtuvo mayor concentración de aminoácidos que otras razas de *P. vulgaris* del acervo genético de Mesoamérica, donde lisina varía de 4370 a 6162 mg/100g y el más abundante fue leucina con una variación entre 5364 a 6879 mg/ 100g (Márquez et al., 2024), la presencia elevada de leucina podría tener efectos positivos para la salud, estudios han evidenciado que la administración de dosis altas de leucina, junto con otros elementos, puede disminuir los niveles de triglicéridos, glucosa y peso corporal (Flores-Sosa, 2018), por otra parte, Fukuji et al. (2019) analizaron cinco genotipos de frijol común con hábitos de crecimiento determinados, de los cuales cuatro son del programa de mejoramiento genético de la Universidad Estatal de Londrina, Brasil y el otro un comercial cultivar, en donde el resultado para lisina fue de 7210 a 8790 mg/100 g, siendo superior a los reportados en este estudio, mientras que en aminoácidos no esenciales, el ácido glutámico fue superior con una concentración entre 2704.69 a 3804.25 mg/100 g y cisteína se encontró en menor cantidad (<1.21 a 14.43 mg/100 g), en general, la colecta de enredador acajete mostró la mayor concentración de aminoácidos en su mayoría. De acuerdo al contenido en aminoácidos esenciales en frijol ayocote

(*Phaseolus coccineus* L.) , se mostró que en todas las muestras es rico en lisina, con una concentración que varía de 1844.15 a 2061.1 mg/10 g, resultado superior a lo publicado por Alvarado-López et al. (2019) y Osuna-Gallardo et al. (2023) donde los valores obtenidos en sus investigaciones fueron 1406 a 1503 mg/100 g y  $1700 \pm 10$  mg/100 g en promedio, respectivamente, y en menor medida se presentó el aminoácido metionina con concentración  $<1.49$  mg/100 g, mientras que, en aminoácidos no esenciales el más abundante fue el ácido glutámico con concentración de 3072.7 a 3449.57 mg/100 g, resultado similar a lo obtenido por Alvarado-López et al. (2019) (3221 a 3586 mg/100 g). Globalmente la colecta de frijol gordo acajete (*Phaseolus dumosus*) mostró la menor concentración de aminoácidos totales en comparación con las variedades enredador y ayocote.

Los valores de compuestos fenólicos totales obtenidos para frijol enredador (*Phaseolus vulgaris* L.) oscilan entre 0.32 a 0.34 mg EAG/g harina de frijol, resultados similares a los reportados en genotipos de judías verdes de frijol común, con contenido entre 0.310 y 0.492 mg GAE/100 g (Fukuji *et al.*, 2019), e inferiores en los resultados encontrados en tres variedades de frijol Canario, donde los compuestos fenólicos totales tuvieron una variación de 1.41 a 2.34 mg EAG/g de muestra en base seca (Magallanes-Levano, 2021), los datos reportados por Teixeira-Guedes et al. (2019) fueron superiores, con un contenido de 0.58 a 0.90 mg EAG/g, del mismo modo que los resultados expresados por Kan et al., (2017), en 26 variedades de frijol Kidney, con una variación de 0.25 a 2.38 mg EAG/g. Las disparidades en los resultados pueden atribuirse, en ocasiones, al proceso de preparación del extracto, diversas investigaciones han empleado solventes como etanol, metanol, agua, entre otros, cuya combinación con las condiciones de extracción resulta en variadas concentraciones de compuestos fenólicos (Magallanes-Lévano, 2021).

En el frijol enredador, los niveles de capacidad antioxidante, medidos mediante el ensayo DPPH, variaron desde  $233.54 \pm 15.2$  hasta  $353.43 \pm 24.77$   $\mu$ M Trolox/100 g de harina, mientras que mediante el método ABTS los resultados oscilaron entre  $205.97 \pm 18.07$  y  $271.36 \pm 28.13$   $\mu$ M Trolox/100 g de harina. Por otro lado, Rochín-Medina y

colaboradores (2021) describen la capacidad antioxidante de diversas variedades de frijol cultivadas en Zacatecas, encontrando valores entre 243 y 560.09  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox/100 g, utilizando el método DPPH, para variedades como el Bayo, Pinto Saltillo, Alubia Chica y Alubia Grande, se atribuye la similitud de los resultados al color parecido que presentan con las variedades analizadas en este estudio. En contraste, Pérez-Pérez et al. (2020) hallaron que el frijol peruano en México mostró una capacidad antioxidante de 105  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g en el ensayo con DPPH y de 130  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g en el ensayo con ABTS, utilizando metanol al 80% como solvente de extracción, valores inferiores a los descritos en esta investigación. Por otra parte, en variedades de frijol canario, la capacidad antioxidante fue superior. Se registró un rango de 690 a 914  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g de muestra en base seca mediante el ensayo DPPH, y un rango de 1044 a 1364  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g de muestra en base seca mediante el ensayo ABTS (Magallanes-Lévano, 2021). De acuerdo con Shahidi & Zhong, (2015), las disparidades en los resultados de la capacidad antioxidante se atribuyen a la técnica de extracción utilizada, así como al tipo y la cantidad de solvente empleados, la presencia, concentración y las condiciones específicas del reactivo utilizado. De acuerdo el estudio realizado por Salinas-Moreno et al. (2005), en el cual se determinó la composición de antocianinas en 15 variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México, el contenido de antocianinas totales en las muestras de grano entero y testa de frijol que analizaron varió entre 37.7 a 71.9 mg/100 g, resultados similares a los obtenidos en este estudio ( $23.02 \pm 11.20$  a  $63.79 \pm 1.21$  mg/100g), lo que muestra que las variedades de frijol negro son una fuente importante de antocianinas que pueden usarse como antioxidantes naturales.

La especie *Phaseolus coccineus* exhibe un mayor contenido de fenólicos totales en comparación con las otras variedades estudiadas, como *Phaseolus vulgaris* y *dumosus*. El contenido de compuestos fenólicos totales, analizado mediante el método de Folin-Ciocalteu y expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) y catequina (ECAT), varió entre 0.46 y 0.56 mg EAG/g de harina y entre 0.53 y 0.66 mg ECAT/g de harina, respectivamente. Sin embargo, en cuatro variedades mexicanas de frijol

ayocote se determinó una concentración que oscilaba entre 1.29 y 2.07 mg EAG/g de harina (Alvarado-López *et al.*, 2019), resultados superiores a los reportados en esta investigación. Bedoya & Maldonado (2022) exhibieron resultados mayores con granos de frijol petaco (*Phaseolus coccineus L.*) en estado verde y seco de color violeta (1.09 a 3.64 mg EAG/g). La capacidad antioxidante medida por DPPH se presentó en un rango de 450.27 a 582.81  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g y en ABTS 331.05 a 402.39  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g, valores más bajos que los reportados por Alvarado-López *et al.*, (2019) en DPPH (1220 a 1704  $\mu\text{M}$  Trolox/100g). La diferencia en los resultados podría atribuirse a la agrupación de las variedades de frijol por colores (negro, púrpura, marrón y blanco) en otros estudios, mientras que, en nuestro análisis, las variedades de frijol Ayocote presentaban una mezcla de colores. El contenido de antocianinas totales de frijol ayocote osciló entre 5.75 a 5.93 mg/100 g, mientras que Alvarado-López *et al.*, (2019) presentaron resultados que con un rango de 0.22 a 119.32 mg/100g, detectando una baja presencia de antocianinas en la variedad de color blanco, debido a que estas son un conjunto de pigmentos que desempeñan un papel importante en la tonalidad rojo-azul de los tejidos vegetales. En una investigación realizada Quiróz-Sodi *et al.*, (2018) examinaron la cantidad total de antocianinas en tres variedades de frijol Ayocote de México, encontrando valores que oscilaron entre 44 mg/100g y 122 mg/100 g, cifras superiores a las reportadas en este estudio. Esto podría explicarse por el hecho de que las semillas eran predominantemente negras con manchas marrones.

Varios estudios han señalado la valoración entre el color del frijol y el contenido de compuestos fenólicos, en este sentido, los frijoles de tonalidades claras han demostrado tener una menor cantidad de fenoles en comparación con sus contrapartes de colores oscuros (Xu *et al.*, 2009). Sin embargo, en la presente investigación, la variedad de frijol Ayocote, que tiene una totalidad heterogénea en colores; tonos morados, negros, amarillos y cafés, presentó un mayor contenido de compuestos fenólicos que la colecta mayoritaria en color negro. Observándose que se encuentra una variación significativa en las características físicas y químicas de la planta entre variedades criollas de frijol debido a la amplia zona geográfica (Pliego-Marín *et al.*, 2013)

Es interesante notar cómo, a pesar de la relativa escasez de datos sobre la composición nutricional y los compuestos fenólicos del frijol gordo, su importancia no puede pasarse por alto. Si bien la información específica puede ser limitada, esto resalta la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor el potencial nutricional y los posibles beneficios para la salud de esta variedad de frijoles. La falta de datos nutricionales detallados del frijol gordo sugiere una brecha en el conocimiento que merece atención. Explorar la composición nutricional y los compuestos fenólicos de esta variedad podría revelar valiosos hallazgos sobre su valor como alimento saludable y su potencial para contribuir a una dieta equilibrada y nutritiva. Al resaltar esta falta de información, se subraya la importancia de seguir investigando y recopilando datos sobre diversas variedades de frijoles, incluido el frijol gordo. Esta investigación podría tener implicaciones significativas para la salud pública, la seguridad alimentaria y la diversidad de cultivos, ofreciendo una visión más completa de las opciones disponibles para una alimentación saludable y sostenible.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La diversidad fenotípica de los frijoles criollos en apariencia física constituye características preferenciales de consumo. La asociación del frijol criollo a la milpa permite mantener su riqueza genética *in situ* y permanecer a través del tiempo, brindando un complemento valioso a la calidad de la alimentación en las zonas marginales, esto es importante tanto desde una perspectiva cultural como para la seguridad alimentaria global, ya que algunas variedades de frijoles pueden contener genes únicos y adaptaciones importantes.

Los frijoles son una excelente fuente de nutrientes esenciales, como proteínas, carbohidratos, lípidos, cenizas, fibra dietética, vitaminas y aminoácidos. La relevancia nutricional de los frijoles radica en su composición variada y los efectos beneficiosos que sus componentes tienen en la salud. Incorporar frijoles en la dieta puede contribuir significativamente a satisfacer las necesidades nutricionales diarias.

Los compuestos fenólicos presentes en los frijoles, como los flavonoides y los ácidos fenólicos, poseen propiedades antioxidantes que pueden ayudar a neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo, estos compuestos tienen un potencial nutracéutico significativo, con efectos antiinflamatorios, anticancerígenos, cardiovasculares y neuroprotectores. Su inclusión en la dieta puede ser una estrategia importante para mejorar la salud y reducir el riesgo de enfermedades crónicas.

Los resultados destacados en las poblaciones de *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus dumosus* y *Phaseolus coccineus* L., revelan una diversidad notable en cuanto a su composición nutricional y contenido de compuestos fenólicos, lo que subraya la importancia de la variabilidad genética en estas especies de frijoles. En el caso de *Phaseolus vulgaris* L., la población Matlalapa resalta por su alto contenido de antocianinas totales y compuestos fenólicos mediante el método Omah, lo que sugiere un potencial significativo en términos de beneficios para la salud y propiedades antioxidantes. Por otro lado, en *Phaseolus dumosus*, la población Matlalapa se distingue por su mayor tamaño, lo que puede tener implicaciones importantes en la productividad y rendimiento de esta especie, por otra parte, la población Ocotepic

contiene la mayor concentración del aminoácido esencial lisina y el aminoácido no esencial ácido glutámico, lo que sugiere un perfil proteico más completo y equilibrado, que podría contribuir a la calidad nutricional de esta variedad de frijoles, además de poseer la superioridad en los resultados de compuestos fenólicos totales, medidos mediante el método Folin-Ciocalteu. En cuanto a *Phaseolus coccineus* L., muestra una concentración mayor de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, lo que resalta su valor nutricional y su potencial para promover la salud digestiva. Además, la población Ocotepéc exhibe una capacidad antioxidante superior, lo que sugiere beneficios adicionales para la salud.

Cada población puede ofrecer características nutricionales y beneficios para la salud únicos, resaltando la importancia de conservar y estudiar la diversidad genética en las especies de *Phaseolus*, además, estos resultados pueden tener implicaciones significativas para la selección de variedades de frijoles con características deseables en términos de nutrición y salud. Considerando la significativa importancia nutricional del frijol y sus múltiples características positivas que favorecen su aceptación, así como su amplia difusión en nuestro país, se recomienda encarecidamente su consumo como una alternativa alimentaria beneficiosa.

## 9. REFERENCIAS

- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA). (2018). El frijol alimento nutritivo y básico en la dieta mexicana. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/el-frijol-alimento-nutritivo-y-basico-en-la-dieta-mexicana?idiom=es>
- Albala, C., Vio, F., Kain, J., & Uauy, R. (2002). Nutrition transition in Chile: determinants and consequences. *Public Health Nutrition*, 5(1), 123–128. <https://doi.org/10.1079/PHN2001283>
- Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, J.N., & García-Morales, S. (2020). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Antinutritional Content of Legumes: A Comparison between Four Phaseolus Species. *Molecules*, 25(15), 3528. <https://doi.org/10.3390/molecules25153528>.
- Allende-Arrarás, G., de Luna, M. M. R., Serna, R. R., Godínez, M. G. A., & Makek-Pérez, N. (2006). Calidad bioquímica del frijol cultivado en distintas condiciones de humedad del suelo. *Investigación y Ciencia*, 14(34), 12-18. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67403403.pdf>
- Alvarado-López, A. N., Gómez-Oliván, L. M., Heredia, J. B., Baeza-Jiménez, R., García-Galindo, H. S., & Lopez-Martinez, L. X. (2019). Nutritional and bioactive characteristics of Ayocote bean (*Phaseolus coccineus* L.): An underutilized legume harvested in Mexico. *CyTA - Journal of Food*, 17:1, 199-206. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1571530>
- Asoiro, F. U., & Ani, A. O. (2011). Determination of some physical properties of African yam beans. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 12(1), 374-380. [https://www.akamai.university/files/theme/AkamaiJournal/PJST12\\_1\\_374.pdf](https://www.akamai.university/files/theme/AkamaiJournal/PJST12_1_374.pdf)
- Ayala-Garay A.V., Acosta-Gallegos J.A. y Reyes-Muro Luis (2021). *El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Azúa-Araya, C. S. (2022). *Evaluación del efecto de la adsorción de los flavonoides quercetina y rutina en la estabilidad química de emulsiones pickering o/w emulsificadas con nanopartículas de sílice mesoporosas* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191536>
- Bedoya, R. A., & Maldonado, M. E. (2022). Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*). *Revista chilena de nutrición*, 49(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182022000100034>
- Bolaños-Silvestre, E. (2011). *Evaluación de las características físico químicas en frijol (Phaseolus vulgaris) variedad; Pinto Saltillo de dos periodos 2009 y 2010*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Autónoma Agraria]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/476>

- Calvillo, A., & Székely, A. (2018). *La trama oculta de la epidemia. Obesidad, industria alimentaria y conflicto de interés*. [PDF]. <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2018/02/la-trama-oculta-d-la-epidemia-obesidad-2018.pdf>
- Calvo-Molina, K., Fernández-Rojas, X., Flores-Castro, O., González-Urrutia, R., Madriz-Bonilla, D., Martínez-Izaguirre, A., Villalobos-Alfaro, N. & Villalobos-Leal, N. (2019). Factores obesogénicos en el entorno escolar público costarricense durante 2015-2016. *Población y Salud en Mesoamérica*, 17(1), 225-257. <https://doi.org/10.15517/psm.v17i1.37858>
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Oomah, D. (2010). Componentes menores de las legumbres y su impacto potencial en la salud humana. *Investigación alimentaria internacional*, 43, 461–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>
- Carballo Herrera, A. R., Villarreal Gómez, A., & del Toro Martínez, J. J. (2012). La etiqueta nutricional, política de seguridad alimentaria. *Investigación y desarrollo*, 20(1), 168-189. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-32612012000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-32612012000100006&script=sci_arttext)
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(24), 6975-6980. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12428946/>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (17 de octubre del 2022). *Milpa, un sistema fundamental para la seguridad alimentaria*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/milpa-un-sistema-fundamental-para-la-seguridad-alimentaria/>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (9 de noviembre del 2020). *La milpa, tradición que impulsa el futuro*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-milpa-tradicion-que-impulsa-el-futuro/>
- Chacón-Sánchez, M. I. (2018). The domestication syndrome in *Phaseolus* crop plants: A review of two key domestication traits. Origin and evolution of biodiversity, 37-59. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95954-2\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95954-2_3)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016). La milpa. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa>
- Congreso de la Unión. (2021). *Iniciativa con proyecto de decreto por el que se declara el día 14 de noviembre de cada año como el día nacional del frijol*. [PDF]. [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/1/2021-11-30-1/assets/documentos/Ini\\_Morena\\_Sen\\_Narro\\_Dia\\_Nacional\\_Frijol.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/1/2021-11-30-1/assets/documentos/Ini_Morena_Sen_Narro_Dia_Nacional_Frijol.pdf)
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2019). El frijol algo más que proteína. <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=199>
- Delgado, A., & Gama-López, S. (2015). Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. *Revista digital universitaria UNAM*, 16 (2), 1607- 6079. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872017000100012>



- García-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*, 15(12), 8813-8826. <https://doi.org/10.3390/molecules15128813>
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta biológica colombiana*, 13(3), 27-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028004002>
- Garzón-García, A. K. (2019). *Polifenoles, aminoácidos y actividad antioxidante en ejote y flor de poblaciones nativas de Phaseolus vulgaris L. y P. coccineus L.* [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/handle/1944/50803>
- Gomez-Delgado, Y., & Velázquez-Rodríguez, E. B. (2019). *Salud y cultura alimentaria en México. Revista Digital Universitaria*, 20(1). <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6>.
- Gómez-Salas, G. (2009). Micronutrientes y enfermedades crónicas: ¿hacia dónde apunta la evidencia científica? *Acta médica costarricense*, 51(3), 147-154. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0001-60022009000300005&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0001-60022009000300005&script=sci_arttext)
- González Grandón, X. A. (2020). Autocuidado y prevención del cáncer: de los nahuas prehispánicos a los nutraceuticos contemporáneos. *Revista de Salud Pública*, 22(3). <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2020.v22n3/360-367/es>
- González-Jiménez, E. (2011). Genes y obesidad: una relación de causa-consecuencia. *Endocrinología y Nutrición*, 58(9), 492-496. <https://doi.org/10.1016/j.endonu.2011.06.004>
- Guerrero Wyss, L., & Durán-Agüero, S. (2020). Consumo de legumbres y su relación con enfermedades crónicas no transmisibles. *Revista chilena de nutrición*, 47(5), 865-869. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182020000500865>
- Haeussler-Herrera, M. F. (2002). Influencia de los polifenoles en la respuesta glicémica del frijol negro y frijol blanco (Tesis Doctoral, Universidad del Valle de Guatemala). <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/2301>
- Hanis, Y., Hasnah, H., & Dang, T. N. (2017). Total phenolic content and antioxidant capacity of beans: organic vs inorganic. *International Food Research Journal*, 24(2): 510-517. [http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20\(02\)%202017/\(6\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(02)%202017/(6).pdf)
- 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://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2011.596639>
- Hernández, P., Mata, C., Lares, M., Velazco, Y., & Brito, S. (2013). Índice glicémico y carga glucémica de las dietas de adultos diabéticos y no diabéticos. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 26 (1), 5-13. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-07522013000100002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522013000100002)

- Hernández-López, Víctor M., Vargas-Vázquez, Ma. Luisa P., Muruaga-Martínez, José S., Hernández-Delgado, Sanjuana, & Mayek-Pérez, Netzahualcóyotl. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018773802013000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802013000200002&lng=es&tlng=es).
- Hernández-Melgar, M.A., Martínez-Hernández, E. G., Carranza-Estrada, F. A., Bonilla-de Torres, B. L., Cuadra-Soto, J. A., & Vivar-de Figueroa, M. E. (2020). Análisis bromatológico proximal y calidad culinaria del frijol negro criollo (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado en la zona occidental de El Salvador. *Revista Agrociencia*, 3(15), 46-54. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/176>
- Hernández-Nava, L. G., Egnell, M., Aguilar-Salinas, C. A., Córdova-Villalobos, J. Á., Barriguete-Meléndez, J. A., Pettigrew, S., & Galán, P. (2020). Impacto de diferentes etiquetados frontales de alimentos según su calidad nutricional: estudio comparativo en México. *Salud Pública de México*, 61(5), 609-618. <https://doi.org/10.21149/10318>
- Herrera, E. V., Mairena-Mairena, E. & Valdivia-Gonzales, F. J. (2014). *Evaluación de variedades criollas de frijol común (Phaseolus vulgaris), en tres ambientes del departamento de estelí*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/1732/1/15063.pdf>
- Herrera-Salguero, M. F., & Gutiérrez-Grijalva, E. P. (2020). Frijol Negro: un alimento accesible, nutritivo y antioxidante. *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo*. <https://www.ciad.mx/frijol-negro-un-alimento-accesible-nutritivo-y-antioxidante>
- Ibáñez Martínez, G. (2011). Comportamiento de las diferentes técnicas pictóricas ante los principales agentes de deterioro. [PDF]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12441>
- Ibarra, L. S. (2016). Review: Transición Alimentaria en México. *Razón y Palabra*, 20(94), 162-179. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199547464012>.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) (2012). Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. Guatemala. p.30, 35, 137.
- Islas-Vega, I., Reynoso-Vázquez, J., Hernández-Ceruelos, M. C. A., & Ruvalcaba-Ledezma, J. C. (2020). La alimentación en México y la influencia de la publicidad ante la debilidad en el diseño de políticas públicas. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5, (8), 2020, 853-862. <https://doi.org/10.19230/ionnpr.3259>
- Jacinto-Hernández, C., Coria-Peña, M., Contreras-Santos, G., Martínez-López, L., Zapata-Martelo, E., & Ayala-Carrillo, M. D. R. (2019). Azúcares totales y proteína en frijol nativo de la región Triqui Alta, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1667-1674. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.2114>
- Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Cui, SW, Li, Y., ... y Xie, M. (2017). Nutrientes, fitoquímicos y actividades antioxidantes de 26 cultivares de frijol. *Toxicología alimentaria y química*, 108, 467-477. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691516303210>

- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & nutrition research*, 61(1), 1361-779. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5613902/>
- León-Rojas, G. I., Rodríguez-Soto, C., & Padilla-Loredo, S. (2020). La conservación in situ del frijol criollo: construyendo soberanía alimentaria en el sureste del Estado de México. *Revista CoPaLa. Construyendo Paz Latinoamericana*, (9), 125-141. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=668170996011>
- Licea, G. R., Salazar, J. A. G., Rebollar, S., & Contreras, A. C. C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma económico*, 2(1), 121-145. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5961682>
- Lin, T., O'Keefe, S., Duncan, S., Fernández-Fraguas, C. (2020). Manipulación de la matriz de frijol seco (*Phaseolus vulgaris* L.) mediante tratamientos hidrotermales y de alta presión: impacto en la capacidad de unión de sales biliares in vitro. *Química de Alimentos*, 3(10), 125-699. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125699>
- Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna-Ramirez, C. A., Sum, C., Palacios-Rojas, N., & Gerard, B. (2021). Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82784-2>
- M Mullins, A. P., & Arjmandi, B. H. (2021). Health benefits of plant-based nutrition: focus on beans in cardiometabolic diseases. *Nutrients*, 13(2), 519. <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/2/519>
- Magallanes-Lévano, K. J. (2021). *Caracterización fisicoquímica, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de tres variedades de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) de cinco localidades, Lima-Ica*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4671>
- Maldonado, S. H. G., Gallegos, J. A. A., Muñoz, M. D. L. Á. Á., Delgado, S. G., & Piña, G. L. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 28(2), 159-173. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60828206.pdf>
- Marín-Marín, G. A., Álvarez de Uribe, M. C., & Rosique-Gracia, J. (2004). Cultura alimentaria en el municipio de Acandí. *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia*, 18(35), 51-72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55703503>
- Márquez, K., Arriagada, O., Pérez-Díaz, R., Cabeza, R. A., Plaza, A., Arévalo, B., ... & Carrasco, B. (2024). Nutritional Characterization of Chilean Landraces of Common Bean. *Plants*, 13(6), 817. <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/6/817>
- Mex-Álvarez, R. M. D. J., Garma-Quen, P. M., Yanez-Nava, D., Guillen-Morales, M. M., & Novelo-Pérez, M. I. (2021). Caracterización morfométrica de *Phaseolus vulgaris* en Campeche, México. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 52(1), 32-38. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2221-24502021000100032&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2221-24502021000100032&script=sci_arttext)

- Monroy-Torres, R, Castillo-Chávez A. M., & Ruiz-González, S. (2021). Inseguridad alimentaria y su asociación con la obesidad y los riesgos cardiometabólicos en mujeres mexicanas. *Nutrición Hospitalaria*, 38(2), 388-395. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.03389>
- Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000100043](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043)
- Moreno-Espinoza, R. J., Reyes-Moreno, C., Gutiérrez-Dorado, R., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., MoraRochín, S., Gómez-Favela, M. A., & Perales-Sánchez, J. X. K. (2021). Alimento funcional para adultos mayores producido por extrusión a partir de granos integrales de maíz/frijol común. *Acta universitaria*, 31, 1-18. <http://doi.org/10.15174.au.2021.3217>
- Muñoz-Velázquez, E. E., Rubio-Hernández, D., Bernal-Lugo, I., Garza-García, R., & Jacinto-Hernández, C. (2009). Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. *Agricultura técnica en México*, 35(4), 429-438. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812274008>
- Naturalista (2020). Frijol gordo (*Phaseolus dumosus*). [imagen]. <https://www.naturalista.mx/photos/17585441>
- Naturalista (2022). Ayocote (*Phaseolus coccineus*). [imagen]. <https://www.naturalista.mx/photos/235927769>
- Olmedilla-Alonso, B., Farré, R., Asensio-Vegas, C., & Martín Pedrosa, M. (2010). The role of pulses in the present-day diet. *Departamento de Tecnología de Alimentos*, 14 (2), 74-76. <https://digital.csic.es/handle/10261/294274>
- Oomah, BD, Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Fenólicos y actividades antioxidantes en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Ciencias de la Alimentación y la Agricultura*, 85 (6), 935-942. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>
- Oomah, BD, Corbé, A. & Balasubramanian, P. (2010). Actividades antioxidantes y antiinflamatorias de la cáscara de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de química agrícola y alimentaria*. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf1011193>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Las amenazas a nuestros suelos*. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/326259/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Legumbres: Pequeñas semillas, grandes soluciones*. [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>
- Organizaciones de las Naciones Unidas. (2024). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>

- Ortiz-Gómez, A. S., Vázquez-García, V., & Montes-Estrada, M. (2005). La alimentación en México: enfoques y visión a futuro. *Estudios Sociales*, 13(25), 8-34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41702501>
- Ortiz-Timoteo, J., Sánchez-Sánchez, O. M., & Ramos-Prado, J. M. (2014). Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*, (38), 173-191. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682014000200010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682014000200010)
- Peña-Borrayo, A. M., Castillo-Hernández, S. L., García-Márquez, E., & Báez-González, J. G. (2022). Importancia del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) como alimento funcional en la prevención y tratamiento de la anemia ferropénica. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 359-365. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume7/7/11/59.pdf>
- Pérez Herrera, P., Esquivel Esquivel, G., Rosales Serna, R., & Acosta-Gallegos, J. A. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(2), 172-180. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222002000200009](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000200009)
- Pérez-Jiménez J. (2019). Polifenoles de la dieta y enfermedades cardiometabólicas. *ANALES RANM. Real Academia Nacional de Medicina de España*, 136(03), 298-307. <http://dx.doi.org/10.32440/ar.2019.136.03.rev11>
- Pérez-Perez, L. M., Toro Sánchez, C. L. D., Sánchez Chavez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., & Flores-Cordova, M. A. (2020). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biotecnía*, 22(1), 117-125. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>
- Pliego-Marín, L., López-Baltazar, J., & Aragón-Robles, E. (2013). Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1197-1209. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263128353011.pdf>
- Popkin, B.M. (2002). An overview of the nutrition transition and its health implications: The Bellagio Meeting. *Public Health Nutrition*, 5(1): 93–103. <https://doi.org/10.1079/PHN2001280>
- Prieto-Cornejo, M. R., Matus-Gardea, J. A., Gavi-Reyes, F., Omaña-Silvestre, J. M., Brambila-Paz, J. J., Sánchez-Escudero, J., & Martínez-Damián, M. Á. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista fitotecnía mexicana*, 42(2), 173-182. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802019000200173](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200173)
- Quesada, D., Hernández-Solano M.I., Brenes, J.C. y Vindas-Smith, R. (2022). Modelo preclínico de obesidad basado en alimentos altamente procesados y de alta palatabilidad. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2). <https://doi.org/10.15517/psm.v0i19.48138>

- Quiróz-Sodi, M., Mendoza-Díaz, S., Hernández-Sandoval, L., & Carrillo-Ángeles, I. (2018). Characterization of the secondary metabolites in the seeds of nine native bean varieties (*Phaseolus vulgaris* and *P. coccineus*) from Querétaro, Mexico. *Botanical Sciences*, 96(4), 650-661. <https://doi.org/10.17129/botsci.1930>
- Rabanal-Atalaya, M. y Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Ramírez Rodríguez, R. (2019). La visión de la inmigración a México en los viajeros extranjeros (1821-1850). *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras*, 24(2), 15-47. <https://doi.org/10.18273/revanu.v24n2-2019001>
- 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(9-10), 1231-1237. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584998003153>
- Rebello, C. J., Greenway, F. L., & Finley, J. W. (2014). Whole grains and pulses: A comparison of the nutritional and health benefits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(29), 7029-7049. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf500932z>
- Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. (2014). *Relación entre hábitos nutricionales y enfermedades crónicas*. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 45(1), 6-8. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079804772014000100001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079804772014000100001&lng=es&tlng=es).
- Reynoso Camacho, R., Ríos Ugalde, M. D. C., Torres Pacheco, I., Acosta Gallegos, J. A., Palomino Salinas, A. C., Ramos Gómez, M., ... & Guzmán Maldonado, S. H. (2007). El consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto sobre el cáncer de colon en ratas Sprague-Dawley. *Agricultura técnica en México*, 33(1), 43-52. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172007000100005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000100005)
- Rivas-Platero, G. G., Rodríguez-Cortés, A. M., Padilla-Castillo, D., Hernández-Hernández, L., & Suchini-Ramírez, J. G. (2013). Bancos comunitarios de semillas criollas: una opción para la conservación de la agrobiodiversidad. *Serie Divulgativa*. <https://semillasdevida.org.mx/wp-content/uploads/2021/07/bancos-comunitarios-de-semillas-criollas.pdf>
- Rivera-Jarquín, F. L., & Zamora-Blandón, E. E. (2014). *Caracterización de tres variedades de semillas criollas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), época de primera, en la finca Las Flores, Comunidad Samulalí Matagalpa 2013*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/7000/1/6536.pdf>
- 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, e3059. <http://doi.org/10.15174.au.2021.3059>

- Rodríguez, S. & Mejía, S. (2003). *Alimentos funcionales y nutrición óptima*. Revista Española de Salud Pública, 77, 121-132. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272003000300003](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272003000300003)
- Román, S., Ojeda-Granados, C., & Panduro, A. (2013). Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 21(1), 42-51. <http://www.medigraphic.com/endocrinologia>.
- Rosales-Serna, R., Nava-Berumen, C. A., González-Ramírez, H., Herrera, M. D., Jiménez-Galindo, J. C., Ramírez-Cabral, N. Y., & Osuna-Ceja, E. S. (2014). Rendimiento, preferencia y calidad de enlatado de variedades de frijol pinto producidas en Durango, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 309-315. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000200011&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000200011&script=sci_arttext)
- Rubio-Landa, M. (2017). *Contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante in vitro e in vivo en frijol criollo y comercial bajo diferentes métodos de cocción*. [Tesis de Maestría, Universidad de Michoacán de San Nicolas de Hidalgo]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/3938](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3938)
- Ruíz-Salazar, R., Vargas-Vázquez, M. L. P., Hernández-Delgado, S., Muruaga-Martínez, J. S., Mayek-Pérez, N. (2019). Detección de marcadores genéticos asociados a la resistencia a patógenos en frijol ayocote de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (7). 1591-1602. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000701591](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000701591)
- Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E., & Pérez-Herrera, P. (2005). Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(4), 385-394. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239403.pdf>
- Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallegos, J. A., Shwenstesius, R., Damián-Huato, M. A., & Larqué-Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 363-380. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342010000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342010000300007&lng=es&tlng=es).
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (14 de octubre del 2020b). La milpa, saberes y sabores. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-milpa-saberes-y-sabores>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (14 de septiembre del 2020a). Milpa: el corazón de la agricultura mexicana. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/milpa-el-corazon-de-la-agricultura-mexicana?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (26 de octubre del 2022). *La importancia de la producción de frijol en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-de-la-produccion-de-frijol-en-mexico#:~:text=En%202021%2C%20su%20cosecha%20en,producci%C3%B3n%20y%20Durango%20con%2010%25>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (27 de agosto del 2016). El ejote tierno y sano. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-ejote-tierno-y-sano>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (27 de septiembre del 2016). Milpa, la siembra de la alimentación. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/milpa-la-siembra-de-la-alimentacion>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2016-2030*. [PDF]. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255625/Planeacion\\_Agricola\\_Nacional\\_2017-2030- parte dos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255625/Planeacion_Agricola_Nacional_2017-2030- parte dos.pdf)
- Secretaría de desarrollo y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). *De Nuestra cosecha: Informar para más y mejores alimentos en bien de todos*. [PDF]. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/789380/DE\\_NUESTRA\\_COSECHA\\_ENERO\\_2023.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/789380/DE_NUESTRA_COSECHA_ENERO_2023.pdf)
- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 54(1), 36-44. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000100006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100006)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Panorama agroalimentario 2023. (2022). <https://online.pubhtml5.com/aheiy/gryd/#p=77>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Panorama agroalimentario 2023. (2023). <https://online.pubhtml5.com/vqdk/dkaa/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). *Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola otoño invierno*. [Archivo PDF]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/495087/Reporte de Aptitud agroclimática de México del frijol OI 2019-2020.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. <https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon>
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of functional foods*, 18, 757-781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., Gaona-Pineda, E. B., Gómez-Acosta, L. M., Morales-Ruán, M. C., Hernández-Ávila, M., & Rivera-Dommarco, J. A. (2018). *Sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes en México, actualización de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016*. *Salud Pública de México*, 60(3), 244-253. <https://doi.org/10.21149/8815>
- Shimelis, E. A., & Rakshit, S. K. (2005). Proximate composition and physico-chemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Ethiopia. *LWT-Food Science and Technology*, 38(4), 331-338. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643804001707>
- Siddiq, M., & Uebersax, M. A. (2021). *Frijoles y Legumbres Secas: Producción, Procesamiento y Nutrición*. Editorial office.

[https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=IFRSEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR8&ots=l7dFkewoj &sig=LyWP2Nujh6Fa4S\\_211t\\_KivwEvQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=IFRSEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR8&ots=l7dFkewoj &sig=LyWP2Nujh6Fa4S_211t_KivwEvQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

- Siddiq, M., Uebersax, M. A., & Siddiq, F. (2022). Producción mundial, comercio, procesamiento y perfil nutricional de frijoles secos y otras legumbres (2da ed). John Wiley & Sons Inc.
- Sierra-Tobón., L. M. (2021). Etiquetado nutricional frontal y su impacto en la salud pública. Consideraciones bioéticas. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(3):26-34. <https://doi.org/10.35454/rncm.v4n3.214>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996917305938>
- Singh, R. J., Chung, G. H., & Nelson, R. L. (2007). Landmark research in legumes. *Genome*, 50(6), 525-537. <https://doi.org/10.1139/G07-037>
- Sistema de Información Cultural. (20 de octubre del 2008). *La cocina del México independiente*. [http://sic.gob.mx/ficha.php?table=gastronomia&table\\_id=103](http://sic.gob.mx/ficha.php?table=gastronomia&table_id=103)
- Smith, B. D. (2006). Eastern North America as an independent center of plant domestication. *Archaeobiology Program*, 103(33), 12223–12228. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0604335103>
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., Torre-Carbot, K., & García-Gasca, T. (2016) Semillas de frijol: fuente nutraceutica líder para la salud humana. *CyTA-Journal of Alimentos*, 14:1, 131-137. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>
- Teixeira-Guedes, C. I., Opolzer, D., Barros, A. I., & Pereira-Wilson, C. (2019). Impact of cooking method on phenolic composition and antioxidant potential of four varieties of *Phaseolus vulgaris* L. and *Glycine max* L. *Lwt*, 103, 238-246. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819300118>
- Teniente-Martínez G., González-Cruz, L., Cariño-Cortés R., & Bernardino-Nicanor, A. (2016). *Caracterización de las proteínas del frijol ayocote (Phaseolus coccineus L.)*. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1(1),1-6. <https://docplayer.es/52714447-Characterizacion-de-las-proteinas-del-frijol-ayocote-phaseolus-coccineus-l.html>
- Tirdil'ová , I., Vollmannová, A., Obtulovič, P., Zetočová, E & Čéryová, S. (2022). Influencia varietal en el contenido de compuestos biológicamente valiosos en leguminosas seleccionadas. *Revista de investigación sobre alimentos y nutrición*, 61(2) 146-155.
- Tolentino-Mayo, L., Rincón-Gallardo Patiño, S., Bahena-Espina, L., Ríos, V., & Barquera, S. (2018). Conocimiento y uso del etiquetado nutrimental de alimentos y bebidas industrializados en México. *Salud pública de México*, 60(3), 328-337. <https://doi.org/10.21149/8825>

- Torres, F., & Rojas, A. (2018). Obesidad y salud pública en México: transformación del patrón hegemónico de oferta-demanda de alimentos. *Revista Problemas del Desarrollo*, 193 (49). <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2018.193.63185>
- Torres, N., Torres, L. N., & Palacio, A. R. T. (2011). Consumo del frijol en la Ciudad de México, índice glucémico y efecto sobre el metabolismo de lípidos. *Nutriciencia*, 2 (5), 10-17. <https://edn.issste.gob.mx/Imágenes/Biblioteca/Rev/REDN2011251017.pdf>
- Tovar-Palacio, A. T., Tovar-Torres, M., & Torres-Torres, T. (2020). Revista Ciencia: La nutrigenómica y las enfermedades crónicas degenerativas. *Ciencia*, 71 (2), 69-77. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71\\_2/PDF/13\\_71\\_2\\_1178\\_Nutrigeno%CC%81mica-L.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_2/PDF/13_71_2_1178_Nutrigeno%CC%81mica-L.pdf)
- Ulloa, J. A., M., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímico. Repositorio Institucional Aramara. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/582>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (10 de febrero del 2022). *Cae consumo de frijol entre los mexicanos*. <https://www.gaceta.unam.mx/cae-consumo-de-frijol-entre-los-mexicanos/>
- Urías-Orona, V., Basilio-Heredia, J., Muy-Rangel, D., & Niño-Medina, G. (2016). Ácidos fenólicos con actividad antioxidante en salvado de maíz y salvado de trigo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 43-50. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282016000100005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000100005)
- Urquiaga, I., Echeverría, G., Dussailant, C., & Rigotti, A. (2017). Origen, componentes y posibles mecanismos de acción de la dieta mediterránea. *Revista médica de Chile*, 145(1), 85-95. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872017000100012](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872017000100012)
- Valenzuela, A., Valenzuela, R., Sanhueza, J. y Morales, G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿Vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? *Revista chilena de nutrición*, 41 (2), 198-204. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-75182014000200011&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-75182014000200011&script=sci_abstract)
- Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Lépiz-Ildelfonso, R. & Pérez-Guerrero, A. (2012). La colección INIFAP de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Distribución geográfica de sitios de colecta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1247-1259. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123222014>
- Vargas-Vázquez, P., Muruaga-Martínez, J. S., Martínez-Villarreal, S. E., Ruiz-Salazar, R., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2011). Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 767-775. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000300005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300005)
- Velasco-González, O., Martín-Martínez, S., Aguilar-Méndez, M., Pajarito-Ravelero, A., & Mora-Escobedo, R. (2013). Propiedades físicas y químicas del grano de diferentes

- variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro*, 25(3), 161-166. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300002)
- Velasco-González, O., Martín-Martínez, S., Aguilar-Méndez, M., Pajarito-Ravelero, A., & Mora-Escobedo, R. (2013). Propiedades físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro*, 25(3), 161-166. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300002)
- Vidal-Barahona, A., del Carmen Lagunes-Espinoza, L., Moctezuma, E. V., & Ortiz-García, C. F. (2006). Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), 273-281. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-4/1a.pdf>
- Vilcanqui-Pérez, F., & Vílchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud, Revisión. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 67(2), 146-156. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222017000200010](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010)
- Xu, B., & Chang, S. K. (2009). Perfiles fenólicos totales, ácido fenólico, antocianinas, flavan-3-ol y flavonol y propiedades antioxidantes de los frijoles pintos y negros (*Phaseolus vulgaris* L.) afectados por el procesamiento térmico. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 57 (11), 4754-4764. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19492791/>
- Zamora, Y. B. S., Herrera, O. C., Morales, H. A. M., & Díaz-Zorrilla, G. O. (2023). Sustentabilidad del sistema milpa utilizando diferentes semillas criollas en la región sierra norte. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10, 47-47. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/93>
- Zamora-Intriago, I.E., & Barbosa, Y. (2019). Los riesgos de manipulación de los alimentos funcionales y su importancia para la salud. *Correo Científico Médico*, 23(3), 976-993. <https://www.medigraphic.com/pdfs/correo/ccm-2019/ccm193s.pdf>

# ANEXO

## Anexo 1. Presentación de poster en el sexto congreso internacional de alimentos funcionales



### FRIJOL CRIOLLO DE MILPAS DE VERACRUZ: ANÁLISIS NUTRICIONAL Y DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN LOCALIDADES MARGINADAS

Vega-García, K.P.<sup>1</sup>, López-Meyer, M.<sup>2</sup>, Maldonado-Mendoza, I.E.<sup>2</sup>, Negrete-Yankelevich, S.<sup>3</sup>, Espinosa-Alonso, L.G.<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Guasave. <sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Sinaloa. <sup>3</sup>Instituto de Ecología A.C, Xalapa, Veracruz, México. \*lespinosaa@ipn.mx

#### INTRODUCCIÓN

El frijol, es considerado un alimento funcional que forma parte de la milpa, que constituye un sistema de producción de alimento en zonas rurales y que combina materiales criollos de frijol, maíz, calabaza, entre otros, promoviendo la identidad cultural, la biodiversidad, la sostenibilidad, y a su vez contribuye a reducir la inseguridad alimentaria en zonas marginadas.<sup>1,2,3,4</sup>

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad nutricional y nutraceutica de diferentes materiales genéticos de frijol criollo que se consumen en México provenientes de cultivos en sistemas de milpa en distintas regiones marginales de Veracruz.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

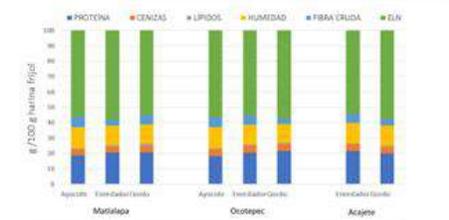
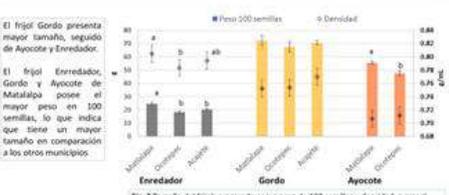
In 2021 se cosechó frijol criollo enredador (Phaseolus vulgaris), gordo (Phaseolus alamosi) y apocote (Phaseolus siccus) en Ayahuatlaco, Ocotepéc, Xico, Matlatlala y el Encinal de Acayote, localidades de Veracruz, en milpas de montaña.

Muestreo PCA y agrupamiento de 27 características: tamaño, composición fenólica, totales F-C y por grupo, capacidad antioxidante DPPH y ABTS y composición proximal, se establecieron las diferencias entre las especies de frijol criollo, así como por localidad, con el objetivo de caracterizarlos.

LOCALIDAD	Encinal de Acayote	Xico, Matlatlala	Ayahuatlaco, Ocotepéc
Frijol enredador			
Frijol gordo			
Frijol apocote	NA		

Fig. 1 Frijol criollo de milpa de montaña en distintas localidades de Veracruz

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN



A partir de un análisis integral de todos los datos, se observó que la composición proximal de los diferentes tipos de frijol es muy similar, pero se observa menor contenido de proteína en frijol Apocote. De acuerdo con los resultados el rango de humedad oscila entre 12.39-13.95; cenizas: 3.75-4.75; lípidos: 0.33-1.23; proteína: 18.31-21.56; fibra cruda: 3.82-6.42 y ELN: 60.26-62.81.

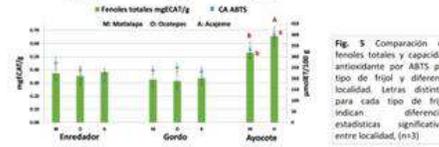
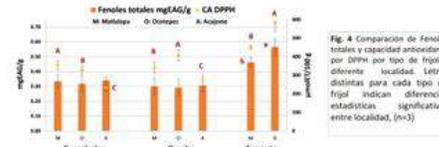
#### AGRADECIMIENTOS

Proyecto Mano Vuelta. Biodiversidad en la milpa y su suelo: bases de la seguridad alimentaria de mujeres, adolescentes y niños rurales (PRONAH 319067, CONACYT)

Cuadro 1. Contenido de compuestos fenólicos en harina de frijol criollo Enredador, Gordo y Apocote

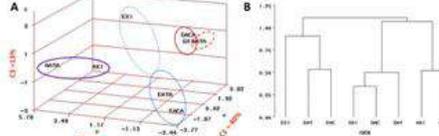
	Enredador	Gordo	Apocote
Fenoles totales Folín-Cloraluzo mg EG/g harina	0.226 ± 0.410	0.203 ± 0.398	0.417 ± 0.662
Fenoles totales Folín-Cloraluzo mg ECAT/g harina	0.243 ± 0.467	0.210 ± 0.466	0.475 ± 0.773
Fenoles totales mg ECAT/g harina	1.968 ± 3.755	1.557 ± 3.952	2.010 ± 3.520
Esteroles tartáricos mg ECAT/g harina	0.153 ± 0.334	0.133 ± 0.203	0.144 ± 0.182
Flavonoides mg EG/g harina	0.062 ± 0.424	0.056 ± 0.099	0.068 ± 1.132
Flavonoides mg EG/g harina	0.841 ± 1.423	0.273 ± 0.553	0.190 ± 0.655
Capacidad antioxidante DPPH µM Trolox/ 100 g harina	313.021 ± 1387.599	250.905 ± 452.845	432.109 ± 642.331
% DPPH	27.806 ± 47.235	30.359 ± 44.334	53.260 ± 73.890
Capacidad antioxidante ABTS µM Trolox/ 100 g harina	371.026 ± 305.555	211.416 ± 273.250	243.414 ± 421.294
% ABTS	34.185 ± 37.866	33.383 ± 46.633	45.610 ± 81.394

Promedio ± desviación estándar (n=3)



Cuadro 2. PCA de color, tamaño de grano, compuestos fenólicos y análisis proximal de harinas para distintos tipos de frijol criollo.

Variable	Componente	Varianza	Parámetros coeficientes variancia altas
Tamaño, forma, color, fenólicos totales F-C, fenólicos por grupo, capacidad antioxidante DPPH, ABTS, composición proximal	C1	40%	Tamaño, color y compuestos fenólicos por grupo: esteroles tartáricos, Flavonoides y Flavonoides.
	C2	30%	Densidad, fenólicos totales F-C, capacidad antioxidante, humedad proteína y carbohidratos.
	C3	13%	Forma semilla, cenizas, lípidos y fibra.



#### CONCLUSIONES

La diversidad fenotípica de los frijoles criollos en apariencia física constituye una de las características preferenciales de consumo; además de las diferencias físicas de tamaño y color, se encontró variación en el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y proteína, tanto entre especies, como en sitios de cultivo. La asociación del frijol criollo a la milpa permite mantener su riqueza genética in situ y permanecer a través del tiempo, brindando un complemento valioso a la calidad de la alimentación en las zonas marginales.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Tiente-Martínez G. y col (2016). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1(1):1-6.
- Alcázar-Velazco, M. y col (2020). Moléculas, 25(15):3528.
- Ayala-Garay A. y col. (2021). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. P.232.
- Peña-Borrero, A. y col. (2022). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 7:359-365.

**Anexo 2. Carpeta de drive con datos utilizados para esta la investigación.**

[https://drive.google.com/drive/folders/1qqZvMT\\_9UDgcAogNA7dYTzKWLElqS](https://drive.google.com/drive/folders/1qqZvMT_9UDgcAogNA7dYTzKWLElqS)  
[Oi?usp=drive link](#)