



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

Tesis

**“Estudio de las propiedades físicas, químicas,  
tecnofuncionales y bromatológicas de frijol  
(*Phaseolus coccineus* var. *Ayocote*) de Zacatlán  
Puebla”**

Presenta:

**pQ.F.B. Guadalupe González Martínez**

Director:

**D.C Sandra Luz Cabrera Hilerio**

Codirector:

**D.C. Rocío Aguilar Sánchez**

junio, 2025.

## **Dedicatoria**

A mis padres por ser el pilar que me mantuvo en pie durante todo este proceso. Espero con el corazón que hoy pueda hacerles ver que su trabajo ha rendido frutos y el culminar esta etapa educativa en mi vida es uno de ellos. Gracias por no soltarme, por sus bendiciones, por siempre estar ahí para lo que sea que yo necesitara. Papá el día de hoy hay mucho que agradecerte porque en todos estos años nunca me negaste tu ayuda, trabajaste más de lo que tu cuerpo podía para que yo no padeciera; gracias por darme las bases para que de aquí en adelante pueda defenderme en la vida. Mamá gracias por apoyarme en la medida de lo posible, por todas esas veces donde te quitaste la comida de la boca para poder mandármela a mí, y por brindarme aun lo que no tenías. Mi amor y mi gratitud será para ustedes siempre, así que disfruten este logro tanto como yo, porque todo esto es de los tres.

## **Agradecimientos**

Para mis hermanos Jesús, Maribel y Juanita ustedes han formado parte de mi vida desde que tengo memoria y cada uno me ha aportado cosas distintas, pero cada piececita que me han dado me ayudo a formarme de una u otra manera; gracias hermanos por su apoyo y amor incondicional.

A mis sobrinos Iker, Isabella, Lían, Renata, Sofia y Mayte por ser la alegría de mi vida desde que llegaron a este mundo, por regalarme el amor, los besos y abrazos más sinceros que se pueden recibir de alguien. Todo mi amor para cada uno de ustedes.

A ti Yami, que has sido mi apoyo incondicional, mi fuerza en los momentos difíciles y mi inspiración constante, por ser más que compañía: hogar, consuelo y apoyo. Gracias por tu paciencia y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Esta tesis es también tuya, Te amo

## Índice

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
I	INDICE DE TABLAS.....	I
II	INDICE DE FIGURAS.....	II
III	INDICE DE ECUACIONES.....	III
IV	ABREVIATURAS.....	IV
1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
3.	ANTECEDENTES.....	4
3.1	Origen del Frijol.....	4
3.2	Producción en México.....	5
3.3	Frijol y nutrición en México.....	5
3.4	Taxonomía.....	6
3.5	Frijol Ayocote.....	7
3.5.1	Generalidades del frijol ayocote.....	8
3.5.2	Producción de frijol ayocote en Puebla.....	10
3.5.3	Problemática del frijol ayocote.....	11
3.6	Composición Química del frijol.....	12
3.6.1	Almidón.....	13
3.6.2	Proteínas.....	13
3.6.3	Lípidos.....	13
3.6.4	Fibra dietética.....	14
3.7	Compuestos Bioactivos.....	14
3.7.1	Ácidos fenólicos.....	14
4	JUSTIFICACIÓN.....	16
5	OBJETIVOS.....	17
5.1	Objetivo general.....	17
5.2	Objetivos particulares.....	17
6	DIAGRAMA DE TRABAJO.....	18
7	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
7.1	Material.....	19
7.2	Material biológico.....	19
7.3	Métodos.....	19
8	METODOLOGIA.....	20
8.1	Pruebas físicas.....	20
8.1.1	Tamaño de la semilla.....	20
8.1.2	Peso de 1000 semillas.....	20
8.1.3	Peso Hectolítrico.....	21
8.1.4	Índice de flotación.....	22
8.2	Análisis Nutricional.....	22
8.2.1	Determinación de humedad.....	22
8.2.2	Determinación de cenizas.....	23

8.2.3	Determinación de lípidos .....	23
8.2.4	Determinación de proteínas .....	24
8.3	Análisis químicos.....	25
8.3.1	Extracción de la muestra.....	26
8.3.2	Determinación de fenoles totales.....	26
8.3.3	Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de la eliminación de radicales (DPPH).....	27
8.4	Análisis de propiedades tecnofuncionales .....	28
8.4.1	Determinación de la capacidad de absorción del agua (CAA).....	28
8.4.2	Determinación del índice de absorción del agua (IAA).....	28
8.4.3	Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA).....	29
9.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
9.1	Análisis Físicos.....	30
9.1.1	Largo, Ancho y Grosor.....	30
9.1.2	Peso de 1000 semillas.....	30
9.1.3	Peso Hectolítrico.....	31
9.1.4	Índice de flotación .....	31
9.2	Análisis Nutricional.....	32
9.2.1	Humedad.....	32
9.2.2	Cenizas.....	32
9.2.3	Lípidos .....	33
9.2.4	Proteínas.....	33
9.3	Análisis químicos.....	34
9.3.1	Determinación de fenoles totales.....	34
9.3.2	Determinación de la actividad antioxidante mediante el método de la eliminación de radicales (DPPH).....	35
9.4	Análisis tecnofuncionales .....	36
9.4.1	Determinación de la capacidad de absorción del agua (CAA).....	36
9.4.2	Determinación del índice de absorción del agua (IAA).....	36
9.4.3	Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA).....	37
10.	CONCLUSIONES.....	38
11.	RECOMENDACIONES.....	39
12.	BIBLIOGRAFIA .....	40
13.	ANEXOS.....	51

## I INDICE DE TABLAS

# de Tabla	Titulo	Página
1	Taxonomía del frijol ayocote.	7
2	Variables químicas en muestras de frijol ayocote y frijol común.	12
3	Determinaciones y técnicas empleadas.	19

## II INDICE DE FIGURAS

# de Figura	Titulo	Página
1	Distribución en México de las variedades silvestres.	4
2	Ubicación geográfica de los principales hallazgos del frijol común.	5
3	Planta de frijol ayocote; (A) semilla en estado verde; (B) semilla en estado seco (C).	8
4	Moho blanco sobre vainas afectadas	10
5	Moho blanco en suelo y hojas	10
6	Frijol Ayocote Arcoíris.	20
7	Largo, ancho y grosor del grano determinados con un vernier digital.	20
8	Peso de 100 granos de frijol para la determinación del PS1000s.	21
9	Determinación de peso hectolítrico.	21
10	Prueba de índice de flotación para frijol ayocote.	22
11	Charolas de frijol ayocote molido en mufla.	23
12	Cartuchos de harina de frijol ayocote (A) y método Soxhlet (B).	24
13	Método Kjeldahl.	24
14	Destilación Kjeldahl.	25
15	Tortilla de frijol ayocote.	28
16	Curva de calibración de Ácido Gálico.	51
17	Curva de calibración DPPH.	51

## III INDICE DE ECUACIONES

<b># de Ecuación</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Cálculo de Peso Hectolítrico.	21
2	Determinación del porcentaje de proteína en la muestra de frijol.	25
3	Ecuación de % de eliminación de radicales libres.	28
4	Porcentaje de Índice de absorción de agua (IAA).	29
5	Porcentaje de Índice de solubilidad de agua (ISA).	29

## 1. RESUMEN

La caracterización de la calidad del frijol ayocote consumido en su mayoría por las comunidades indígenas y campesinas de agroecosistemas de las tierras altas de Puebla, donde este cultivo forma parte fundamental de la dieta y la economía local. A pesar de su importancia, el frijol ayocote enfrenta desafíos relacionados con su producción, comercialización y consumo, incluyendo la variabilidad en sus características organolépticas, nutricionales y agronómicas. La falta de estudios sistemáticos sobre la calidad de esta leguminosa puede llevar a una subestimación de su valor tanto para el agricultor como para el consumidor. Además, en un mundo donde la seguridad alimentaria y la sostenibilidad son prioritarias, la caracterización adecuada del frijol ayocote permite no solo preservar la biodiversidad agrícola, sino también mejorar su cultivo y promover su consumo, contribuyendo así al desarrollo rural y a la economía local. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades físicas, bromatológicas y tecnofuncionales del frijol var. Ayocote. De acuerdo con la metodología las semillas fueron colectadas en Tomatlán, Puebla; las mediciones físicas fueron de acuerdo con Rodríguez, S. (2022); los estudios bromatológicos de acuerdo con la AOAC, y los tecnofuncionales de acuerdo con Anderson et al. (1969).

En los resultados la caracterización física del frijol ayocote mostró que posee  $17.67 \pm 0.19$  de largo,  $11.57 \pm 0.02$  de ancho y grosor de  $8.00 \pm 0.02$ , con un peso de mil semillas de  $941.44 \pm 1.74$ , peso hectolítrico de  $100.05 \pm 0.72$  e índice de flotación de  $100.00 \pm 0$ , con respecto a los análisis nutrimentales los resultados para humedad fueron  $10.09 \pm 0.92$ , cenizas  $4.90 \pm 0.11$ , grasas  $11.68 \pm 0.11$  y proteínas con  $22.62 \pm 0.26$ ; para los análisis químicos de fenoles totales se obtuvo  $5.12 \pm 0.64$  mg GAE/g y para DPPH  $83.11 \pm 2.24$  y los análisis tecnofuncionales mostraron para Capacidad de Absorción de Agua  $13.50 \pm 1.38$ , IAA  $6.28 \pm 0.29$  e ISA  $14.74 \pm 1.00$ .

La caracterización física, bromatológica y tecnofuncional mostró una alta calidad del frijol resaltando su valor nutricional y potencial comercial frente a otras razas de frijoles promoviendo su uso en la alimentación, tecnificación y su conservación.

**Palabras clave:** Frijol ayocote, Caracterización, Calidad nutricional, alimentación.

## 2. INTRODUCCIÓN

El frijol común, perteneciente al grupo de las leguminosas con semillas comestibles, se destaca como una de las especies más relevantes a nivel mundial. Actualmente, su cultivo y consumo se extienden por los cinco continentes, siendo un alimento fundamental en la dieta de diversas regiones, especialmente en Centroamérica y Sudamérica. México ha sido identificado como el posible centro de origen de esta leguminosa, o al menos como el principal foco de su diversificación genética. (Ulloa *et al.*, 2011). Durante el periodo de 2018 a 2020, en México se destinó una superficie promedio para la siembra del cultivo de 1.58 millones de ha y se produjeron 1.06 millones de t, con un valor comercial de 14 717.12 millones de pesos (Ayala *et al.*, 2021).

El frijol es una leguminosa que constituye una fuente de proteínas e hidratos de carbono natural; además es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tianina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, contiene un alto contenido de fibra (Sangerman *et al.*, 2010). Este grano ha sido básico en la dieta de la población mexicana, especialmente en la de medianos y bajos recursos, tanto en las zonas rurales como urbanas, con un consumo anual per cápita de 12.5 kg se menciona que el frijol es un alimento “casi perfecto”, pues es nutritivamente rico, por su contenido de ácido fólico, fibra alimenticia y carbohidratos (Ayala *et al.*, 2008). En México, por su alto contenido de proteína es básico para la alimentación de su población; ocupa el segundo lugar en importancia nacional después del maíz (Sangerman *et al.*, 2010).

Existen múltiples variedades de frijol que se caracterizan por su tamaño, color, forma y tipo de crecimiento (Sangerman *et al.*, 2010). En México se encuentra la mayoría de las 65 especies del género entre las cuales, además de los progenitores silvestres, figuran las cinco especies domesticadas: *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *P. coccineus* (frijol ayocote o patol), *P. lunatus* L. (frijol lima, comba o ib), *P. acutifolius* (frijol tépari o escumite) y *P. dumosus* Green (frijol acalete o gordo). De ellas, a nivel internacional, las más relevantes desde un punto de vista económico son *P. vulgaris*, *P. lunatus* L. y *P. coccineus* L.), en tanto que, para la

alimentación del pueblo mexicano, las más importantes son el frijol común y el frijol ayocote (López, 2018).

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es originario de las partes altas de Mesoamérica. Se cultiva en forma anual, pero en su hábitat natural crece en forma perenne en regiones húmedas en altitudes de más de 1 800 msnm. Después del frijol común, el frijol ayocote es la segunda especie de mayor importancia para la alimentación de los mexicanos (Vargas *et al.*, 2012). Sin embargo, el frijol ayocote en México es poco cultivado y consumido no así en regiones de Europa principalmente España, Holanda y Reino Unido, donde su consumo ha sustituido al frijol común (*P. vulgaris* L.) y se consume principalmente en su presentación de ejote y de grano seco en el sur de Italia. El cultivo tradicional ocurre en pequeña escala. En Centroamérica, el frijol ayocote se cultiva casi exclusivamente en asociación con maíz (*Zea mays* L.). Dado que los frijoles son un elemento importante en el auto abasto de poblaciones rurales, además de ser la leguminosa de grano más importante constituye la fuente principal de proteína de calidad a bajo costo, con diversas variaciones en cuanto a formas de cultivo, uso y maneras de preparación para consumo humano (Ruíz *et al.*, 2019).

En diversos lugares del mundo, en especial América, les dan importancia a las características físicas, químicas y culinarias del grano como criterios adicionales de selección, al reconocer que la trascendencia de sus propiedades influye en su aceptación comercial. Esto abre la posibilidad de ofrecer mejores variedades tanto a productores como a consumidores (Mederos, 2006). Por otra parte, el valor nutrimental de esta leguminosa está determinado en gran medida por el contenido de proteína y su digestibilidad. (Pérez *et al.*, 2002).

Por lo anterior se propone la caracterización del frijol (*Phaseolus coccineus*) variación Ayocote del Estado de Puebla: análisis físico, químico y bromatológico para su valorización en la alimentación.

### 3. ANTECEDENTES

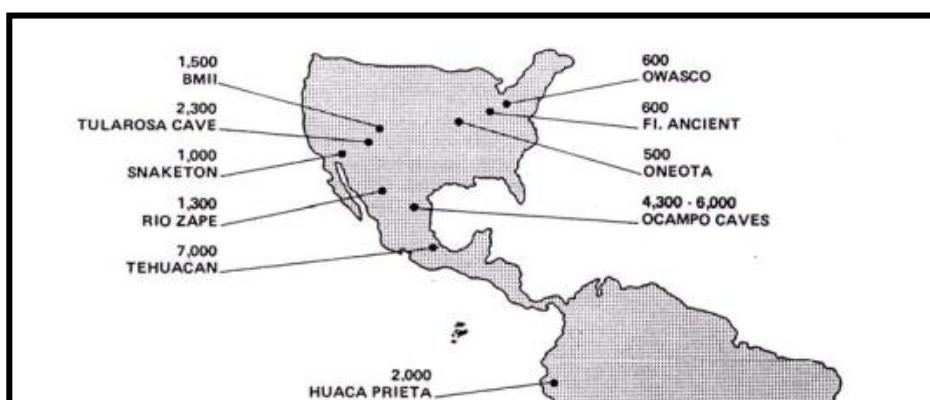
#### 3.1 Origen del Frijol.

Las evidencias aportadas por estudios con enfoques arqueológico, morfológico-agronómico, bioquímico y molecular, indican que el frijol tiene su centro de origen en la región de Mesoamérica, particularmente en el occidente y sur de México (figura 1).



**Figura 1. Distribución en México de las variedades silvestres (Miranda, 1967).**

Actualmente se considera que el centro de origen de frijol proviene desde el norte de México hasta el norte de Argentina, basado en los hallazgos arqueológicos efectuados tanto en México (Tehuacán 7000 D.C.) como en el norte de Argentina (Huachichoacana, 9000 D.C.) y en Perú (Guitarrero 8000 D.C.); Concluyéndose, que en base a los datos más recientes los cuales sugieren que los cultivares de frijol, provienen de una múltiple domesticación en América. Localizándose dos centros primarios, uno de ellos en México y Guatemala (Meso América) y el otro en el sur de los Andes, sobresaliendo dos principales tipos de cultivares de frijol: los de phaseolina "S" para Mesoamérica (figura 2) (Schoonhoven & Voyset, 1991).



**Figura 2. Ubicación geográfica de los principales hallazgos del frijol común  
(Pérez et al, 2008)**

La importancia de identificar el centro de origen y de domesticación de una especie como *P. vulgaris* radica en que esas áreas son fuente primaria de poblaciones con genes útiles para el mejoramiento genético y de interés para el entendimiento de la evolución, diversificación y conservación de la especie (Hernández et al, 2013).

**3.2 Producción en México**

México es reconocido como uno de los centros de origen del frijol y figura entre los principales países productores a nivel mundial. En su territorio se han identificado entre 55 y 70 variedades nativas, las cuales se agrupan en diferentes tipos, entre los que destacan: frijol negro (37.3 %), frijol pinto (26.5 %), flor de mayo (9.4 %), peruano (9.2 %), flor de junio (7.9 %) y bayo (3.1 %), entre otros (SIAP, 2016).

**3.3 Frijol y nutrición en México**

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

a ser de hasta el 70% comparada con una proteína testigo de origen animal a la que se le asigna el 100% (Ulloa *et al.*, 2011).

El frijol ha sido considerado un alimento funcional, pues contiene compuestos bioactivos que aportan beneficios a la salud que, van más allá de la nutrición, tales como polifenoles, taninos, ácido fítico, saponinas y flavonoides mismos compuestos exhiben efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Peña, 2023). Los frijoles contribuyen a la prevención y el tratamiento de patologías, como son las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y el cáncer, que constituyen serios problemas de morbimortalidad, esto se debe tanto a su aporte de micronutrientes (particularmente ácido fólico y magnesio) como por su alto contenido de fibra, aminoácidos azufrados, taninos, fitoestrógenos y aminoácidos no esenciales, de acuerdo con esto.

### 3.4 Taxonomía

- Reino: Plantae
- Clase: Magnoliopsida
- Origen: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Género: *Phaseolus L.*
- Especie: *vulgaris L.*

(Conabio, 2016).

### 3.5 Frijol Ayocote

La palabra ayocote procede del náhuatl “*ayecotli*” que quiere decir, frijoles gordos. Su forma es muy similar al frijol común (*Phaseolus vulgaris*), pero de un mayor tamaño, de ahí que algunos lo reconozcan como el *frijolón*. Existen diversas coloraciones desde las moradas, negras, cafés, blancas, rosas, hasta las pintas. La taxonomía del frijol ayocote se muestra en la tabla 1 (gob.mx).

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Spermatophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Magnolidae
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Subfamilia</b>	Faboideae
<b>Tribu</b>	Phaseoleae
<b>Subtribu</b>	Phaseolinae
<b>Genero</b>	<i>Phaseolus</i>
<b>Especie</b>	<i>coccineus</i> (L).

**Tabla 1. Taxonomía del frijol ayocote.**

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas (Ayala *et al.*, 2006). En otras partes del mundo esta leguminosa se aprovecha como planta ornamental, debido al gran tamaño y diversidad de colores del estandarte y las alas de la flor, entre los cuales el más atractivo es el rojo escarlata además, también puede usarse como frijol ejotero y actualmente existen variedades registradas con este fin. En estado silvestre es una planta perenne y su forma cultivada es anual, tradicionalmente se siembra en asociación con maíz (Ayala *et al.*, 2006).

Se cultiva en zonas templadas y subtropicales de México. La colección nacional de la especie incluye 800 accesiones y está resguardada por un banco de germoplasma nacional ubicado en Chapingo, México (Vargas-Vázquez *et al.*, 2011).

Actualmente, el Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2020) reporta que en México los principales estados productores son Puebla y Morelos con una superficie sembrada en conjunto de 946 ha de frijol ayocote donde la

producción anual es de 825 t con un rendimiento promedio de 0.87 t ha<sup>-1</sup> (Rojas *et al.*, 2023).

### 3.5.1 Generalidades del Frijol Ayocote

- ✚ **Anatomía y morfología:** Se trata de una planta herbácea trepadora, perene y enredadera, con inflorescencias de hasta 20 cm y más de 20 ramillas fructíferas. Sus flores miden entre 1 y 2 cm y pueden ser de color rojo brillante, escarlata, blancas, moradas o naranjas, y raramente bicolors (figura 3) (Ayala *et al.*, 2021). Se identifica por sus tallos de varios metros de largo que surgen desde una raíz primaria carnosa, gruesa y fuerte, con prominencias con capacidad generar nuevos brotes; aunque en la actualidad existen algunos cultivares que poseen forma arbustiva. El fruto es una legumbre de curvatura falcada, ancha y de gran tamaño, con peso entre 80 y 170 g por cien granos (Ayala *et al.*, 2021).



**Figura 3. Planta de frijol ayocote; (A) semilla en estado verde; (B) semilla en estado seco (C) (Bedoya & Maldonado, 2022).**

- ✚ **Cultivo:** El cultivo de ayocote presenta características agronómicas como: tamaño de dosel amplio, tolerancia a bajas temperaturas con un rango de 1-5 °C en regiones templadas, así como tolerancia a la salinidad (Rodiño *et al.*, 2006; Vargas *et al.*, 2013; Al Hassan *et al.*, 2016)

El óptimo pH para este cultivo suele ser entre 6.5 y 7.5; pues dentro de este rango la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera pH hasta de 5.5, aunque debajo de éste, presenta generalmente síntomas de toxicidad por aluminio y/o manganeso (CENTA, 2008)

✚ **Nutrición:** Se ha descubierto que el ayocote es una fuente prometedora de proteínas (185.3 mg/kg), carbohidratos (677.6 mg/kg), fibra (67.4 mg/kg) y minerales, el ácido glutámico fue el aminoácido más abundante (32.2 a 35.8 g/kg). La variedad morada contiene la mayor cantidad de compuestos fenólicos totales (2075.9 mg GAE/Kg), flavonoides totales (1612.9 mg QE/Kg) y antocianinas totales (1193.2 CGE/Kg) (Calvo-Garza *et al.*, 2023).

✚ **Enfermedades y plagas:** Moho blanco. Esta enfermedad es causada por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*. Es un patógeno que tiene un rango de hospederos muy extenso afectando a más de 400 especies de plantas incluyendo el frijol (Vargas *et al.*, 2013).

Los síntomas de esta enfermedad suelen manifestarse principalmente durante la etapa de formación de las vainas (Figura 4), afectando comúnmente toda la parte aérea de la planta (Figura 5). No obstante, es frecuente observar su presencia en tallos y ramas, donde se desarrolla un característico moho blanco con apariencia algodonosa. Conforme avanza la infección, el tejido comprometido adquiere una tonalidad que va del gris al café, hasta que finalmente la planta se seca y muere. Las condiciones de alta humedad, típicas del verano, favorecen significativamente el desarrollo del patógeno en cultivos y malezas susceptibles, lo que incrementa la cantidad de esclerocios en el ambiente y, por ende, el riesgo de nuevas infecciones en ciclos agrícolas posteriores. (CESAVEG, 2015).



**Figura 4. Esclerosis de Moho blanco sobre vainas afectadas (Rosales, 2019).**



**Figura 5. Moho blanco en suelo y hojas (Rosales, 2019).**

### **3.5.2 Producción de frijol ayocote en Puebla**

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) tiene su origen en las zonas altas de Mesoamérica, donde ha sido cultivado desde épocas precolombinas. Investigaciones recientes indican que su domesticación ocurrió hace aproximadamente 2,200 años en el Valle de Tehuacán, Puebla, México. Aunque en su entorno natural es una planta perenne que prospera en regiones húmedas a más de 1,800 metros sobre el nivel del mar, su cultivo se realiza de forma anual. Después del frijol común, el ayocote representa la segunda especie de mayor relevancia en la alimentación de la población mexicana. (Rojas *et al.*, 2023).

En la región de estudio, ubicada en la Sierra Norte de Puebla, se identifican únicamente poblaciones cultivadas de *Phaseolus coccineus* subsp. *coccineus*, las cuales presentan un hábito de crecimiento indeterminado y trepador, clasificado como Tipo IV según el CIAT. Asimismo, se encuentra *Phaseolus coccineus* subsp. *darwinianus* (también conocido como *Phaseolus polyanthus*), igualmente cultivado y con el mismo tipo de crecimiento. (Rosales, 2019).

Los restos arqueológicos indican que el origen de *P. coccineus* va de Durango a Veracruz en México, y se sugiere que la domesticación ocurrió en las zonas húmedas y altas de los estados de Puebla y Durango (Ruiz *et al.*, 2021).

Actualmente, el Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) reporta que en México los principales estados productores son Puebla y Morelos con una superficie sembrada en conjunto de 946 ha de frijol ayocote donde la producción anual es de 825 t con un rendimiento promedio de 0.87 t ha<sup>-1</sup> (Rojas *et al.*, 2023). Los frijoles ayocotes son preferidos en las grandes ciudades del centro del país, donde se concentra al menos un tercio de la población nacional, muchos de ellos migrantes de los estados donde se cultiva, principalmente Puebla y Veracruz (Ruiz *et al.*, 2021).

### **3.5.3 Problemática del frijol ayocote**

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento para la población (Rojas *et al.*, 2023). A pesar de que el frijol ayocote es altamente recomendable por su elevado contenido proteico, los productores rurales suelen preferir el consumo del frijol común. Las semillas de ayocote, en cambio, se reservan para un consumo ocasional o se almacenan hasta que su demanda en el mercado incremente lo suficiente como para hacer rentable su comercialización. (Vázquez & Taboada, 2023). Todavía es una leguminosa subutilizada que solo es conocida en la dieta local de las entidades y, en consecuencia, su consumo es bajo y limitado a la región donde se cultiva (CIAD, 2022).

En Zacatlán, la producción del frijol ayocote se lleva a cabo en pequeñas parcelas bajo sistemas agrícolas tradicionales, lo que limita la capacidad de generar

volúmenes suficientes para abastecer mercados industriales. Además, la falta de tecnologías modernas para el manejo postcosecha y la ausencia de estandarización en la calidad del producto restringen su viabilidad en procesos industriales (Herrera et al., 2021).

A pesar de su alto valor nutricional, el ayocote es poco conocido fuera de las regiones productoras, lo que limita su mercado y reduce su competitividad frente a otras leguminosas más populares. Hoy en día, el ayocote es cultivado, apreciado y consumido, sobre todo por las comunidades indígenas y campesinas de agroecosistemas marginados de las tierras altas y ocasionalmente comercializados en mercados locales. Se estima que en la Sierra Norte de Puebla se consume en el desayuno, ya que, al ser pesado de digerir, reduce la sensación de apetito, lo que permite realizar las faenas cotidianas e ingerir alimentos hasta seis u ocho horas después (CIAD, 2018). Asimismo, existe una carencia de estudios enfocados en su caracterización integral y mejoramiento genético, lo que impide identificar propiedades funcionales que podrían ser aprovechadas en la industria alimentaria (Boye et al., 2010).

### 3.6 Composición química del frijol

Entre las principales cualidades nutricionales del frijol destacan su alto contenido de proteínas y carbohidratos, así como, en menor proporción, la presencia de vitaminas y minerales. Estos valores se detallan en la Tabla 2, según lo reportado por Enjamio-Perales et al. (2017).

Fuente de Variación	gl	Hum (%)	Prot (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Carb (%)	Fibra (%)	TDC (min)
Origen	5	42.39	32.99	5.99 ns	1.78	197.29 <sup>***</sup>	2.67 ns	10777.7 <sup>***</sup>
Error	12	3.94	5.44	6.6	0.57	9.16	1.2	219.5
CV		19.62	10.14	44.91	23.16	6.33	15.75	9.57
Media		10.11	22.99	5.72	3.25	47.81	6.97	154.83

**Tabla 2. Variables químicas en muestras de frijol ayocote y frijol común (Vázquez y Taboada, 2023).**

### **3.6.1 Almidón**

El almidón constituye la principal fuente de energía en los alimentos de origen vegetal. Durante el proceso de cocción, una parte de este componente se transforma en almidón resistente, el cual permanece disponible en el organismo y puede ofrecer beneficios adicionales para la salud (Suarez-Martínez et al., 2016).

El frijol común presenta un alto contenido de almidón, compuesto tanto por fracciones de digestión lenta como rápida, con un porcentaje de amilosa que oscila entre el 30 % y el 40 %. Este tipo de almidón se ha asociado con una reducción del índice glucémico, lo que contribuye a una menor elevación de los niveles de glucosa en sangre en comparación con el almidón de digestión rápida. Además, se han reportado valores de almidón resistente en frijoles sin cocción que varían entre 61.55 % y 74.98 % (Suarez-Martínez et al., 2016).

### **3.6.2 Proteínas**

En diversas comunidades, el frijol común representa una de las principales fuentes de proteína. No obstante, presenta una deficiencia en aminoácidos azufrados como la metionina y la cisteína, la cual puede ser compensada mediante el consumo complementario de cereales. De manera recíproca, los cereales, que suelen ser deficientes en lisina y triptófano, encuentran en el frijol una fuente adecuada de estos aminoácidos. Esta combinación permite alcanzar un perfil proteico más completo y equilibrado (Enjamio-Perales et al., 2017).

Las principales proteínas presentes en el grano de frijol incluyen albúminas (14.8–20.8 %), globulinas (33–45 %) y glutelinas (12.8–41.2 %). Entre las proteínas más destacadas se encuentran la faseolina, que representa el 48.1 % del total, y las lectinas, con un 40 %, ambas reconocidas por su capacidad para inhibir la enzima  $\alpha$ -amilasa (Luna-Vital et al., 2015). En general, la proteína del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se clasifica en dos grupos principales: globulinas, solubles en soluciones salinas (45–70 %), y albúminas, solubles en agua (10–30 %). Dentro

de estas últimas, la faseolina constituye la principal proteína de almacenamiento, reafirmando su importancia en el perfil proteico del frijol (Yao et al., 2015).

### **3.6.3 Lípidos**

El contenido de lípidos en el grano de frijol varía según la variedad, con porcentajes que oscilan entre 1.5 % y 6.2 %. No obstante, se han reportado valores más bajos, entre 0.4 % y 2 %, tanto en frijoles crudos como cocidos. Estas variaciones pueden atribuirse al tipo de frijol, las condiciones climáticas y la ubicación del cultivo. El frijol es una fuente importante de ácidos grasos insaturados, destacando el oleico (7–10 %), linoleico (21–28 %) y linolénico (37–54 %). Los principales componentes lipídicos son los fosfolípidos y triacilglicéridos, mientras que los diacilgliceroles e hidrocarburos están presentes en menor proporción. De acuerdo con el perfil de ácidos grasos de diversas leguminosas, incluido el frijol común, estos compuestos poseen propiedades funcionales beneficiosas para la salud humana (Lo Turco et al., 2016).

### **3.6.4 Fibra Dietética**

La fibra dietaría está formada por polisacáridos indigeribles, como las sustancias pépticas, arabinogalactanos y xiloglucanos, y es otro de los componentes distintivos del frijol. Produce numerosos beneficios a la salud, como disminución de colesterol; también se ha relacionado con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, incremento del volumen fecal, reducción del riesgo de cáncer de colon y beneficios especiales para los diabéticos. El frijol crudo contiene de 16-19 % de fibra y el cocinado de 23-27 % (Paredes & Valverde, 2006).

La fibra dietética se clasifica en dos tipos según su solubilidad: soluble e insoluble. Esta clasificación depende del tipo de polisacáridos que la componen y de su resistencia a la acción de las enzimas digestivas humanas (Cruz-Requena et al., 2017). Según la Asociación Americana de Dietética, se recomienda una ingesta diaria de fibra de aproximadamente 30 g por cada 100 g de alimento. En este contexto, el frijol destaca como una buena fuente de fibra, aportando entre un 14 % y un 19 % de su peso total (Ríos-Espinosa et al., 2012).

## **3.7 Compuestos Bioactivos**

Los principales compuestos bioactivos en el grano de frijol son los compuestos fenólicos, como ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides y taninos (Guajardo-Flores *et al.*, 2013; Hayat *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2013).

### **3.7.1 Ácidos fenólicos**

Los compuestos fenólicos presentes en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) han sido ampliamente reconocidos por su actividad antioxidante. Diversos estudios han identificado en extractos metanólicos la presencia de compuestos como catequina, ácido fítico, triptófano, ácido *p*-cumárico, y en menor proporción, ácido gálico y procianidina. Además, se ha reportado la existencia de taninos no condensados en la fracción no digerible del frijol, los cuales pueden ser fermentados en el colon, dando lugar a la producción de ácidos grasos de cadena corta (Denih, 2016).

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Después del maíz el frijol es el segundo grano más importante para la dieta de los mexicanos, de ahí la importancia de su estudio, aunque la mayoría de las investigaciones se centran en las variedades de frijol más comunes y ampliamente cultivadas, que suelen ser variedades de alto rendimiento. El frijol ayocote, al ser una variedad más tradicional y menos comercializada no ha recibido la atención necesaria como alternativa en cuanto a alimentos que contribuyan al bienestar de la familia mexicana.

La caracterización de la propiedades físicas, químicas y bromatológicas del frijol ayocote es indispensable para conocer su valor cultural, potencial comercial, pero sobre todo su valor nutricional que se podría relacionar con la prevención de enfermedades crónicas como enfermedades cardíacas, diabetes y cáncer. En este sentido la calidad es el conjunto de características químicas y físicas, relacionadas con el valor nutritivo-sanitario, industrial y comercial del producto agrícola. Con este trabajo se pretende determinar la calidad fisicoquímica y nutricional del frijol ayocote destacando sus características, así como la importancia para su comercialización y valorización como alimento fundamental en la dieta.

## 5. OBJETIVOS

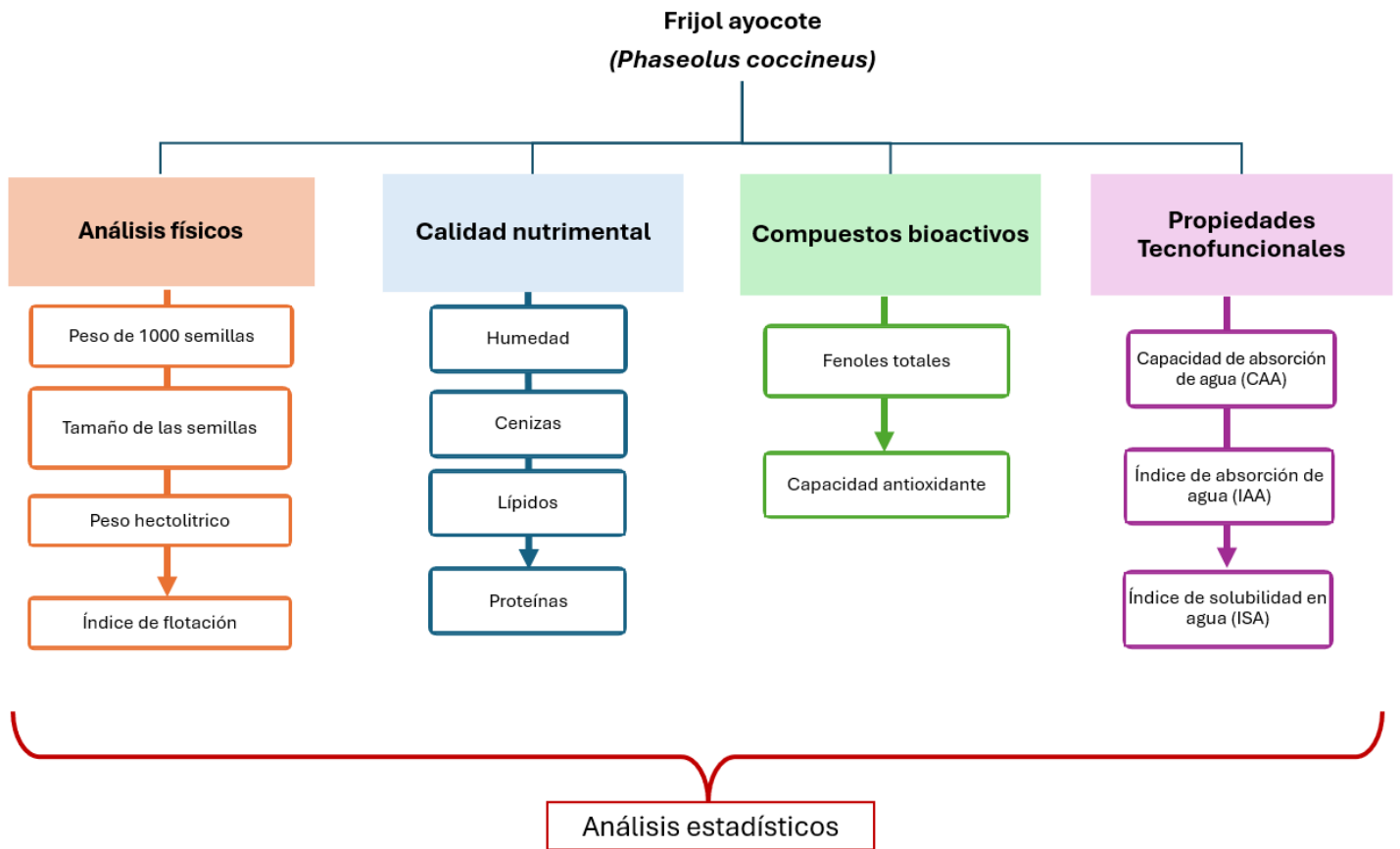
### 5.1 Objetivo general

Estudio de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y bromatológicas de frijol (*Phaseolus coccineus* var. Ayocote) de Zacatlán Puebla.

### 5.2 Objetivos particulares

- Analizar las características físicas de las semillas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*).
- Determinar el contenido nutricional (humedad, proteínas, carbohidratos, lípidos y cenizas) de las semillas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*).
- Evaluar los componentes bioactivos como los fenoles totales y actividad antioxidante en las semillas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*).
- Evaluar las propiedades tecnofuncionales de la harina del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*).

## 6. DIAGRAMA DE TRABAJO



## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 Material

Material de vidrio y reactivos de grado analítico los requeridos en cada uno de los métodos.

### 7.2 Material biológico

Semilla de frijol ayocote proporcionados por campesinos de Tomatlán, Puebla.

### 7.3 Métodos

En la tabla 3 se muestran las técnicas y determinaciones que se utilizaran en la investigación.

Determinación	Técnica	Referencia
Caracterización física (alto y ancho)	Vernier	García-Campos (2020).
Índice de flotación	Densidad	López et al. (2004)
Peso hectolítrico	Peso y volumen	NMX-FF-037-1994
Caracterización Nutricional	Humedad (Método 925.09) Cenizas (Método 923.03) Lípidos (Método 920.39) Proteínas (Método 954.01)	AOAC, 2005
Índice de solubilidad de agua (ISA)	Diferencias de peso	Anderson et al. (1969)
Índice de absorción de agua (IAA)	Diferencias de peso	Anderson et al. (1969)
Capacidad de absorción de agua (CAA)	Diferencias de peso	Bedolla et al. (1983)
Capacidad antioxidante (DPPH)	Colorimétrica y espectrofotométrica	Vargas, 2016
Compuestos fenólicos totales	Folin-Ciocalteu	Vargas, 2016

**Tabla 3. Determinaciones y técnicas empleadas.**

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 Pruebas físicas

Los análisis físicos se realizaron para examinar los aspectos físicos y las características fisiológicas de un grupo de semillas a partir de una muestra representativa. Para evaluar la calidad de las semillas en términos de su capacidad fisiológica para lograr un rendimiento óptimo bajo condiciones ideales, en contraposición a su calidad genética (FAO, 2019).



**Figura 6. Frijol Ayocote Arcoíris.**

#### 8.1.1 Tamaño de la semilla

Para el análisis de tamaño se tomaron 20 semillas al azar y se midieron con un calibrador Vernier de precisión tres distintos aspectos: largo, ancho y grosor (García-Campos *et al*, 2020).

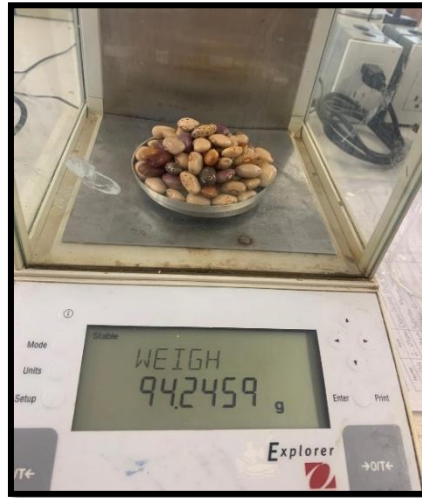


**Figura 7. Largo, ancho y grosor del grano determinados con un vernier digital.**

#### 8.1.2 Peso de 1000 semillas

Se contaron 1000 granos de semilla de frijol ayocote, posteriormente se pesaron en una balanza de precisión contenidas en un recipiente de volumen conocido para obtener el peso de estas semillas, y el resultado en gramos se multiplicó por 10 para

obtener el peso de mil semillas (García-Campos *et al*, 2020; Intriago-Défaz & Torres-Orellana, 2018).



**Figura 8. Peso de 100 granos de frijol para la determinación del PS1000s.**

### 8.1.3 Peso Hectolítrico (PH)

Se siguió la metodología descrita por la NMX-FF-037-1994. Se colocó un recipiente cilíndrico de 50 mL en una balanza y se taró, posteriormente se dejó caer la semilla de frijol sin impurezas de manera constante en el centro del recipiente a una altura de 5 cm hasta que el frijol se derramó del recipiente, posteriormente se retiró el exceso con una regla circular, evitando golpear el recipiente y se registró el peso. Este proceso se realizó por sextuplicado. Se calculó el peso hectolítrico en kg/hL.



**Figura 9. Determinación de peso hectolítrico.**

$$PH = \frac{\text{Peso vaso con frijol}}{0.5} \times 100 = \text{kg/hL}$$

**Ecuación 1. Cálculo de Peso Hectolítrico.**

#### 8.1.4 Índice de flotación



**Figura 10. Prueba de índice de flotación para frijol ayocote**

El Índice de flotación se calculó mediante la selección al azar de 100 semillas de frijol ayocote sanos en un matraz Erlenmeyer de 600 ml que contuvo 300 ml de una disolución de nitrato de sodio con una densidad de 1,250 g/ml ( $\pm 0.001$  g/ml), medida con un picnómetro. Se mantuvo flotando la temperatura entre 22°C y 23°C, se agitó tres veces hacia la derecha y tres veces hacia la izquierda utilizando un agitador de vidrio. Posteriormente, se dejó la disolución en reposo durante 30 segundos para que los granos floten o se asienten en el fondo, se realizó la cuenta de los granos que flotaron (Galicia, 2012; NMX-FF-034/1-SCFI-2002). El cálculo se realizó con el porcentaje de semillas que en la mezcla y con base a la escala de valores de (Índice de Flotación), entre 0 y 12% se tratan de frijoles duros, el 38 a 62% son semillas intermedias y de 63 al 87% son semillas suaves y pasando del 87% son muy suaves (García-Jiménez *et al.*, 2016).

#### 8.2 Análisis Nutricional

Este análisis se realizó como un esquema de análisis químico mediante el cual se determinó la composición de un alimento en términos de sus principales grupos de nutrientes: Humedad, cenizas, grasa y proteína crudas además de almidón (Tejada de Hernández, 1976).

##### 8.2.1 Determinación de humedad

Se pesaron 30 gramos de semilla para después moler la muestra y se colocó en seis charolas de aluminio a peso constante, 5 gramos pesados en una balanza de precisión Pioneer en cada charola, el primer paso fue secar las muestras a 103°C por un tiempo de 17 horas en una estufa a presión atmosférica. La pérdida de humedad se evaluó por diferencia de peso (Galicia, 2012; García-Campos, 2020).



---

**Figura 11. Charolas de frijol ayocote molido en mufla.**

---

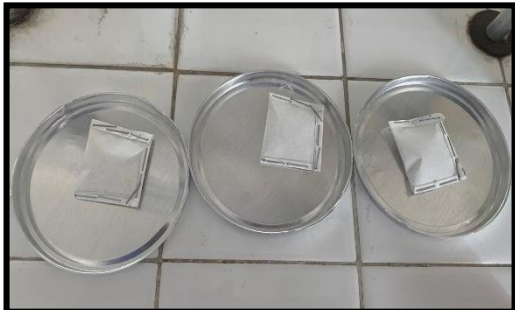
### **8.2.2 Determinación de cenizas**

Esta determinación se llevó a cabo por el método de incineración. Se pesaron 3 g de muestra molida los cuales se colocaron en un crisol, se realizó una carbonización con un mechero Bunsen en el interior de una campana de extracción de humos, posteriormente se colocaron los crisoles en una mufla durante 4 horas a 550°C. Después, de pasado el tiempo de incineración en la mufla, se pasaron los crisoles a temperatura ambiente a un desecador por una hora y se pesaron (García-Campos *et al.*, 2020; Palacios-Rojas, 2018).

### **8.2.3 Determinación de lípidos**

La extracción de lípidos se hizo mediante la técnica de extracción Soxhlet. Se utilizaron cartuchos de celulosa a peso constante para después colocar 2 g de muestra seca. Al montar el equipo se adicionaron 125 ml de hexano (disolvente) a cada matraz de destilación, el tiempo del proceso de extracción puede variar desde 4-6 horas a velocidad de condensación de 5 a 6 gotas por segundo. Las muestras se secaron a 130 °C después de la extracción por 30 minutos y se registró su peso (García-Campos *et al.*, 2020; Galicia, 2012; Murillo, 1994).

**A)**



**B)**



---

**Figura 12. Cartuchos de harina de frijol ayocote (A) y método Soxhlet (B).**

---

#### **8.2.4 Determinación de proteínas**

Se pesaron 0.5 gramos de muestra seca colocándola en un matraz Kjeldahl agregando una pastilla catalizadora (sulfato de cobre y sulfato de potasio), adicionando 12 ml de ácido sulfúrico al 98%. Los matraces Kjeldahl se colocaron en una parrilla de digestión con tubo de desprendimiento, el cual se conectó a un matraz con una solución NaOH para neutralizar los gases. La digestión tuvo una duración aproximada de 3-4 horas hasta observar la presencia de un color verde esmeralda (García-Campos *et al.*, 2020).



---

**Figura 13. Método Kjeldahl.**

---

Posteriormente las muestras se destilaron en un equipo micro Kjeldahl. En la destilación se colocaron 20 ml de una disolución de ácido bórico al 4% en un matraz Erlenmeyer de boca ancha de 125 ml con tres gotas de indicador Wesslow. En la

boquilla se insertó el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en un volumen no mayor de 5 ml de agua destilada. Se adicionaron 40 ml aproximadamente de NaOH al 40%. La destilación se detuvo hasta alcanzar volumen de destilado del doble del volumen de ácido bórico (Iturbe, 2011; Murillo, 1994). La titulación se realizó con una disolución 0.1 N de HCl, hasta que se obtuvo un cambio de color del indicador de verde-amarillo a rosa mexicano. Para realizar los cálculos se consideraron concentración y el volumen de HCl gastado en la valoración, con ello se pudo calcular el número de moles de átomos de nitrógeno en la muestra y luego el % de proteína en la muestra cómo se indica en la ecuación 2 (Murillo, 1994).



**Figura 14. Destilación Kjeldahl.**

$$\%N = \frac{ml \text{ ácidos } \times N \text{ del ácido } \times Meq_N (0.014) \times 1000 \times}{Peso \text{ de la muestra (gramos)}}$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = \%N \times 6.25$$

**Ecuación 2. Determinación del porcentaje de proteína en la muestra de frijol (Murillo, 1994).**

### 8.3 Análisis químicos

Los análisis químicos en esta investigación fueron la determinación de fenoles totales y la actividad antioxidante. Para ambos análisis se realizó primero un proceso de extracción. Los métodos utilizados para obtener los diferentes extractos fueron, maceración pasiva y extracción Soxhlet, para las posteriores pruebas. (Rivas-Pérez *et al.*, 2017).

### **8.3.1 Extracción de la muestra**

Se desarrollo según lo descrito por (Pérez & Saura, 2007) con algunas modificaciones, se comenzó pesando 0.5 gramos de muestra, los cuales se trataron con 20 mL de una solución de metanol-agua acidificada (50:50 v/v) ajustada a pH 2 con HCl 2N y se agito durante una hora. Esta mezcla se dejó reposar por 24 horas y con ayuda de una bomba de vacío se filtró, obteniendo el sobrenadante A y un residuo sólido (Residuo A). Posteriormente, el residuo A se sometió a una segunda extracción con 20 mL de una solución de acetona-agua (70:30 v/v), bajo las mismas condiciones de reposo y filtrado obteniendo el sobrenadante B y un nuevo residuo sólido (Residuo B). Los sobrenadantes A y B se combinaron y almacenaron en oscuridad a 4 °C para preservar los compuestos extraídos. Esta metodología se realizó por sextuplicado.

### **8.3.2 Determinación de fenoles totales**

El procedimiento mencionado por (Vargas, 2016) para la cuantificación de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu se llevó a cabo en varias etapas. Primero, se prepararon los reactivos: la solución de Folin-Ciocalteu se diluyo en agua destilada, y el carbonato de sodio se disolvió al 1N. Luego, se construyó una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar en concentraciones que van de 0 a 0.1 mg/mL. Para esto, se pesaron 50 mg de ácido gálico y se disolvieron en metanol, aforándose a 25 mL. Posteriormente, se tomaron alícuotas de esta solución (0.050, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.450 y 0.500 mL), que se aforaron a 10 mL con metanol; a cada una de estas alícuotas se le añadieron 2400 µL de agua destilada y 150 µL del reactivo Folin-Ciocalteu, mezclándose vigorosamente por 2 minutos para después permitir reaccionar por 3 minutos. Posteriormente, se agregaron 300 µL de carbonato de sodio al 1N, dejando reaccionar la mezcla por 2 horas en oscuridad a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia de las soluciones a 765 nm.

Para las muestras, se tomó un volumen de 150 µL del extracto de cada muestra y se siguió un procedimiento similar al de la curva de calibración. Se añadieron 2400

$\mu\text{L}$  de agua destilada y 150  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteu, se mezcló durante 2 minutos y se dejó reaccionar por 3 minutos, seguido de la adición de 300  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio. La mezcla se dejó reaccionar por 2 horas en la oscuridad antes de medir la absorbancia a 765 nm. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG) por cada 100 gramos de muestra en base seca (BS).

### **8.3.3 Determinación de la Capacidad antioxidante mediante el método de eliminación de radicales (DPPH)**

Se siguió lo descrito por (Vargas, 2016) con algunas modificaciones. Primero, se preparó la solución patrón (SP) pesando 0.024 g de DPPH, aforando el volumen a 100 mL con metanol y almacenando la solución en refrigeración a 4 °C en oscuridad para preservar su estabilidad. Luego, se preparó la solución de trabajo (ST) tomando 10 mL de la solución patrón. A continuación, se elaboró la curva de calibración pesando 0.0250 g de Trolox, aforándolos a 100 mL con metanol, y preparando alícuotas de diferentes volúmenes (0.150, 0.450, 0.750, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 y 7.0 mL) que se aforaron a 10 mL con metanol, de cada concentración se tomaron 150  $\mu\text{L}$  y se les añadieron 2850  $\mu\text{L}$  de solución de trabajo de DPPH, se dejaron reaccionar durante 30 minutos y se midió la absorbancia a 515 nm de cada solución para construir la curva estándar, la cual sirvió como referencia para calcular la actividad antioxidante en términos de equivalentes de Trolox. Finalmente, para la preparación de las muestras, se tomaron 150  $\mu\text{L}$  del extracto a analizar y se adicionaron 2850  $\mu\text{L}$  de la solución de trabajo de DPPH, mezclándose bien y dejándose reaccionar durante 30 minutos en completa oscuridad. Tras el periodo de reacción, se midió la absorbancia de la solución a 515 nm para evaluar la disminución del DPPH y así hacer el cálculo de la capacidad antioxidante del extracto.

Para determinar el porcentaje de eliminación de radicales libres (% SRL), se relacionó la disminución en la absorbancia de las muestras ( $A_{am}$ ) con la disminución en la absorbancia del control ( $A_c$ ). Esto se puede expresar mediante la ecuación (Duarte-Almeida *et al*, 2006).

$$\% \text{ SRL} = \frac{Ac - A_{am}}{Ac} \times 100$$

**Ecuación 3. Ecuación de % de eliminación de radicales libres. (Duarte-Almeida, 2006)**

## **8. 4 Análisis de propiedades tecnofuncionales**

### **8.4.1 Capacidad de absorción del agua (CAA)**

La capacidad de absorción de agua subjetiva (CAA) se determinó de acuerdo con (Bedolla et al, 1983), con algunas modificaciones, de la siguiente forma: se pesó 100 g de harina de frijol ayocote, se colocó en un recipiente de acero inoxidable, se agregó agua pura a temperatura tibia utilizando una bureta de 50 ml de capacidad, se mezcló manualmente hasta obtener una consistencia de masa adecuada para elaborar tortilla. La capacidad de absorción de agua se expresó en mililitros de agua a temperatura ambiente (25°C), por gramo de frijol. La prueba se realizará por sextuplicado.



---

**Figura 15. Tortilla de frijol ayocote.**

---

### **8.4.2 Índice de absorción del agua (IAA)**

El índice de absorción de agua (IAA) se realizó por el método descrito por (Anderson et al, 1969). Se agregaron 30 ml de agua destilada en un tubo de 50 ml de muestra

de 2.5 g (base seca) de harina de frijol ayocote, posteriormente se mantuvo a agitación constante de 70 rpm por 30 min a 30°C. La suspensión se centrifugo a 3000 rpm durante 10 min. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El índice de absorción de agua LIII (IAA), se expresó como la relación entre el peso del residuo después de la centrifugación y el peso seco de la muestra, al cual se le resto el peso del residuo de la evaporación del sobrenadante. El resultado se expresó como gramos de gel entre gramos de harina con la ecuación 4:

$$IAA = \frac{\text{Peso de residuo de la centrifugación (g)}}{\text{Peso de la muestra seca (g)} - \text{Peso del residuo de evaporación (g)}}$$

**Ecuación 4. Porcentaje de Índice de absorción de agua (IAA) (Anderson et al, 1969).**

#### **8.4.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)**

El índice de solubilidad de agua (ISA) en las muestras se realizó siguiendo el método reportado por (Anderson et al, 1969). Este parámetro se evaluó pesando los sólidos obtenidos después de evaporar en una estufa el sobrenadante de las muestras donde se determinó el índice de absorción de agua. El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresó como la relación entre el peso del residuo de la evaporación (g) y el peso seco de la muestra (g). Se realizaron tres determinaciones por tratamiento y el ISA se calculó de acuerdo con la ecuación 5:

$$ISA = \frac{\text{Peso del residuo evaporado}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

**Ecuación 5. Porcentaje de Índice de solubilidad de agua (ISA) (Anderson et al, 1969).**

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado final se analizaron los resultados obtenidos de las distintas pruebas físicas, bromatológicas y tecnofuncionales que se aplicaron al frijol ayocote.

### 9.1 Análisis Físicos

#### 9.1.1 Largo, Ancho y Grosor.

Para la determinación del tamaño de la semilla se tomaron 20 granos al azar a los que se les midieron largo, ancho y grosor (se realizó por sextuplicado) ya que estas características son importantes por su relación directa como atractivo visual del grano que repercute principalmente en su comercialización.

Según los resultados obtenidos para el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) del estado de Puebla el promedio en mm del largo es de  $17.67 \pm 0.19$ , con un ancho de  $11.57 \pm 0.02$  y grosor de  $8.00 \pm 0.02$  por lo que se puede determinar que en comparativa con el frijol negro san Luis con valores para ancho de  $8.238 \pm 0.33$ , largo  $11.839 \pm 0.74$  y grosor  $6.08 \pm 0.43$  el frijol ayocote es más grande en todas las dimensiones comparado con el frijol negro san Luis y en general con otras variedades por lo que es fácil su distinción. Estas diferencias en tamaño reflejan características morfológicas que pueden estar influenciadas por factores genéticos o condiciones ambientales específicas de cultivo.

#### 9.1.2 Peso de 1000 semillas

El peso de mil semillas es un indicador importante para evaluar la calidad, el tamaño y el rendimiento potencial de las cosechas de frijol, como resultado para los granos de frijol ayocote se tiene un promedio en gramos de  $941.44 \pm 1.74$ , en este caso el P1000S es más elevado en comparación con otras variedades, por lo que se puede interpretar que el frijol ayocote tiene semillas más grandes, lo que podría representar una ventaja en mercados donde se prefieren frijoles de mayor tamaño. Además, estas semillas más grandes podrían tener mejores tasas de germinación.

Generalmente las semillas más grandes tienden a tener mayor reserva de nutrientes, lo que podría mejorar la tasa de germinación y el vigor de las plantas en

la etapa inicial. Esto sugiere que el frijol ayocote podría ofrecer beneficios no solo en términos de calidad comercial, sino también en el rendimiento agronómico.

### **9.1.3 Peso Hectolítrico**

De acuerdo con los resultados el peso hectolítrico del frijol ayocote tiene una media de 100.05 kg/hL lo que muestra que el frijol ayocote tiene un peso hectolítrico elevado que es indicativo de una buena densidad. La variabilidad ( $\pm 0.72$ ) es baja, lo que significa que la densidad del grano es bastante consistente en las muestras evaluadas. Una pequeña desviación sugiere que la mayoría de los granos tienen un llenado uniforme y que hay pocas variaciones en la calidad.

Un peso hectolítrico alto como el de 100.05 kg/hL generalmente está asociado con un grano bien formado, sin huecos o vacíos significativos en su estructura interna. Esto podría indicar un frijol más resistente y con mayor contenido nutricional, así como una buena calidad comercial, ya que, en mercados de granos, un mayor peso hectolítrico suele estar vinculado con una mejor percepción del producto.

### **9.1.4 Índice de Flotación**

El resultado de esta prueba fue con un porcentaje de  $100.00 \pm 0$ , este índice se determina al medir la proporción de semillas que flotan en agua, lo cual está relacionado con la densidad y la integridad de las semillas.

Un índice de flotación de  $100.00 \pm 0$  significa que el 100% de las semillas de frijol ayocote flotaron en el agua durante la prueba, sin ninguna variación en los resultados que se hicieron por sextuplicado lo que puede ser indicador de Baja Calidad, es decir, un índice de flotación del 100% sugiere que todas las semillas evaluadas flotaron, lo que generalmente indica que ninguna de las semillas tiene la densidad adecuada para hundirse.

Este resultado puede ser porque las semillas podrían estar dañadas físicamente, lo que reduce su densidad, así como el posible contenido de Aire ya que podría haber acumulación de este en las semillas debido a procesos de almacenamiento inadecuados.

## **9.2 Análisis Nutricionales**

### **9.2.1 Humedad**

La humedad en las semillas de frijol es un parámetro crítico que influye directamente en su calidad, almacenamiento, procesamiento y rendimiento, como resultado para el frijol ayocote se tiene un porcentaje de  $10.09 \pm 0.92$ . El analizar y comparar los niveles de humedad entre diferentes variedades, como el frijol ayocote y el frijol negro San Luis, permite tomar decisiones informadas para optimizar su uso y conservación

El frijol negro San Luis presenta un contenido de humedad aproximadamente 1.86% más alto que el frijol ayocote (11.95% vs 10.09%). Esto quiere decir que el frijol ayocote, con menor humedad, es más adecuado para almacenamiento prolongado, ya que presenta menor riesgo de deterioro por humedad.

Relacionado al procesamiento dependiendo del proceso específico, el frijol negro San Luis podría requerir un secado adicional antes del procesamiento para alcanzar niveles de humedad óptimos, lo que podría aumentar los costos y tiempos de producción.

### **9.2.2 Cenizas**

El porcentaje de cenizas representa la cantidad de materia inorgánica (minerales) que permanece después de la combustión completa de una muestra de semillas a altas temperaturas. Este valor no incluye compuestos orgánicos y se expresa generalmente como un porcentaje del peso seco de la muestra por lo que el resultado para el frijol ayocote es un promedio de  $4.90 \pm 0.11$  mientras que en comparación con el frijol negro san Luis se tiene un valor de  $3.87 \pm 0.12$ .

El frijol ayocote presenta un contenido de cenizas aproximadamente 1.03% más alto que el frijol negro San Luis (4.90% vs. 3.87%). Lo que podría interpretarse como que el frijol ayocote es una mejor fuente de minerales, lo que puede ser beneficioso para dietas que requieren mayor ingesta de estos nutrientes.

Las diferencias en el contenido de cenizas pueden influir en cómo se procesan estos frijoles. Siendo que el mayor contenido mineral puede afectar la calidad de las harinas o masas obtenidas.

### **9.2.3 Lípidos**

Los lípidos en las semillas de frijol comprenden principalmente grasas y aceites que cumplen funciones esenciales, como proporcionar energía, servir como componentes estructurales de las membranas celulares y actuar como precursores de compuestos bioactivos. Además, los lípidos influyen en las propiedades organolépticas (sabor, aroma) y en la estabilidad de los productos alimentarios derivados de los frijoles los resultados para el frijol ayocote indican un porcentaje promedio de  $11.68 \pm 0.11$  en comparación con el frijol negro san Luis con valores del promedio de  $0.99 \pm 0.20$  (Aguirre y Gómez, 2010).

El frijol ayocote presenta un contenido de lípidos aproximadamente 10.69% más alto que el frijol negro San Luis (11.68% vs. 0.99%). El ayocote ofrece un mayor aporte de grasas, lo que puede ser beneficioso para dietas que requieren una mayor ingesta de lípidos. Sin embargo, para dietas bajas en grasas, el frijol negro San Luis ( $0.99 \pm 0.20$ ) podría ser más adecuado (Aguirre y Gómez, 2010).

Así dependiendo del producto final deseado, se podría preferir una variedad sobre la otra. Por ejemplo, para productos que requieren mayor contenido graso, el ayocote es preferible, mientras que, para productos bajos en grasa, el negro San Luis es más adecuado.

### **9.2.4 Proteínas**

Se obtuvieron resultados de  $22.62\% \pm 0.26$  para el frijol ayocote mostrando una mayor concentración en comparación con el frijol negro san Luis que tiene un  $21.68\% \pm 0.97$  de proteínas (Aguirre y Gómez, 2010). El frijol ayocote, con un mayor contenido proteico, destaca como una opción prometedora para promover tanto el consumo humano como el desarrollo de productos industriales. Su perfil nutricional lo convierte en una alternativa valiosa en términos de calidad alimenticia y consistencia, especialmente frente al frijol negro San Luis. No obstante, para tomar decisiones más integrales sobre su utilización, sería importante realizar estudios

adicionales que consideren otros parámetros como el contenido de fibra, minerales, aminoácidos esenciales y el análisis de costos y beneficios asociados a su producción y comercialización

### **9.3 Análisis Químicos**

#### **9.3.1 Fenoles Totales**

En los resultados obtenidos se evidencio un  $5.12 \pm 0.64$  mg GAE/g de compuestos fenólicos totales en el frijol ayocote arcoíris lo que muestra un contenido significativamente mayor en comparación con el valor de 2.0759 mg GAE/g para la variedad morada de frijol ayocote (López et al., 2019). Esta diferencia puede atribuirse a factores como la variedad específica, el color de la testa, las condiciones de cultivo y los métodos de procesamiento. según (Beninger y Hosfield, 2003) informaron que compuestos fenólicos de semillas de frijol común con diferentes colores de la testa mostraron una actividad antioxidante elevada. La testa del frijol común tiene diversos componentes dentro de los cuales se incluyen fibra y varios compuestos fenólicos que exhiben actividad antioxidante y que desempeñan una función protectora ante el daño oxidativo causado por agentes externos. Según (Díaz et al., 2010) los colores de la testa se relacionan con su contenido de determinados compuestos fenólicos (taninos, flavonoides, flavonoles, antocianinas, entre otros).

A pesar de la diferencia en los valores absolutos, ambos estudios respaldan el potencial del frijol ayocote como una fuente importante de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes. Estos compuestos, como flavonoides y antocianinas, están asociados con beneficios para la salud, incluyendo la reducción del estrés oxidativo y la prevención de enfermedades crónicas. Un mayor contenido de fenoles totales sugiere una mayor capacidad antioxidante, lo que podría ofrecer beneficios para la salud al consumir estas variedades de frijol.

### **9.3.2 Actividad antioxidante mediante el método de la eliminación de radicales (DPPH)**

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus L.*) es reconocido por su contenido en compuestos fenólicos, los cuales poseen propiedades antioxidantes significativas. Una de las metodologías empleadas para evaluar esta capacidad antioxidante es el ensayo de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), que mide la capacidad de los antioxidantes presentes en una muestra para neutralizar radicales libres

Se obtuvo un  $83.11 \pm 2.24$  para el frijol ayocote que indica una alta actividad antioxidante en este grano, el valor de 83.11% sugiere que el frijol ayocote es capaz de neutralizar más del 80% de los radicales libres, en comparación con el frijol negro que tiene una actividad antioxidante del 69.2% (Martinez, 2013). Esta variación en la capacidad antioxidante obtenida del frijol negro y el frijol ayocote puede atribuirse a los diferentes niveles de fitoquímicos (taninos, flavonoides y antocianinas) contenidos en cada variedad, así como a su contenido total de compuestos fenólicos, ya que estos compuestos bioactivos son los principales responsables de la capacidad antioxidante (Yang et al., 2020).

El consumo de antioxidantes en la dieta es importante, ya que estos son capaces de neutralizar radicales libres y de reducir el riesgo de contraer enfermedades crónico-degenerativas. Por lo tanto, es muy importante determinar la actividad antioxidante en leguminosas., dado que el frijol negro ya es ampliamente reconocido por sus beneficios para la salud, este alto porcentaje de inhibición del frijol ayocote sugiere que es una buena fuente de compuestos antioxidantes ya que hoy en día la capacidad antioxidante en frijol se ha tomado como un indicador de sus beneficios a la salud humana (Prior y Wu, 2013).

## **9.4 Análisis Tecnofuncionales**

### **9.4.1 Capacidad de Absorción de agua (CAA)**

Se obtuvo un resultado en porcentaje de  $13.50 \pm 2.14$  este valor indica su habilidad para retener agua en proporción a su peso seco, lo cual tiene implicaciones importantes en sus propiedades tecnofuncionales y aplicaciones industriales. Una alta CAA sugiere que este frijol puede ser adecuado para productos donde se requiera una buena retención de humedad, como panes, pastas, y alimentos procesados, mejorando su textura, viscosidad y estabilidad. Además, puede influir en su capacidad para formar emulsiones y mezclarse con otros ingredientes. Este valor también puede reflejar la interacción de sus componentes, como proteínas y almidones, con el agua, lo que podría ser indicativo de su estructura molecular y composición química. En términos prácticos, este resultado posiciona al frijol ayocote como una materia prima con potencial para aplicaciones en la industria alimentaria que demanden propiedades funcionales específicas (Boye et al., 2010).

### **9.4.2 Índice de absorción del agua (IAA)**

El valor en g/g de  $6.28 \pm 0.57$  corresponde al Índice de Absorción del Agua (IAA) del frijol ayocote. Este índice es relevante para evaluar su funcionalidad en aplicaciones alimentarias, especialmente en productos donde la hidratación del material impacta en su textura, rendimiento y comportamiento durante la cocción. Un IAA relativamente alto, como el obtenido, sugiere que el frijol ayocote tiene una buena interacción con el agua, probablemente debido a la estructura de sus componentes, como almidones, proteínas o fibras. Esto lo hace adecuado para productos como sopas, purés o formulaciones alimentarias que requieran una buena retención de humedad. Sin embargo, también es necesario considerar este valor en términos de eficiencia industrial, ya que una alta absorción de agua puede influir en los tiempos de cocción ya que estos pueden ser más cortos y en la estabilidad de las preparaciones (Granito et al., 2009).

Este valor posiciona al frijol ayocote como un ingrediente versátil con potencial en la industria alimentaria, al tiempo que resalta su capacidad para adaptarse a aplicaciones donde se requiera optimizar su capacidad de hidratación.

### **9.4.3 Índice de Solubilidad en agua (ISA)**

El resultado obtenido en porcentaje fue  $14.74 \pm 1.40$  correspondiente al frijol ayocote indica la proporción de componentes solubles, como proteínas, carbohidratos o compuestos menores, que se liberan al medio acuoso durante el contacto con agua. Este valor es relevante para evaluar la funcionalidad del frijol ayocote en términos de su uso en aplicaciones alimenticias donde la solubilidad afecta propiedades como viscosidad, formación de emulsiones o geles, y el comportamiento durante la cocción o procesamiento.

Un ISA moderado, como el obtenido, sugiere que el frijol tiene una cantidad equilibrada de componentes solubles, lo que podría ser beneficioso en productos que requieran una ligera dispersión de sólidos en agua como las harinas, sin comprometer la estabilidad estructural. Sin embargo, un valor elevado podría ser indicativo de un mayor desprendimiento de nutrientes durante procesos térmicos, lo que podría afectar la retención de calidad nutricional.

## 10. CONCLUSIONES

- Las características físicas del frijol ayocote, como el tamaño, peso y dureza del grano, lo hacen adecuado tanto para el consumo humano directo como para su uso en procesos industriales. Estas propiedades físicas influyen en la aceptabilidad del producto por parte del consumidor y en su eficiencia en el procesamiento.
- El frijol ayocote no solo es una fuente de energía y proteínas, sino que también podría desempeñar un papel en la prevención de enfermedades crónicas, gracias a sus posibles propiedades antioxidantes.
- El frijol ayocote presenta un contenido elevado de proteínas ( $22.62\% \pm 0.26$ ), lo que lo convierte en una excelente fuente de este nutriente esencial para la dieta humana.
- El frijol ayocote de Zacatlán, a pesar de su importancia cultural y su potencial nutricional, ha sido insuficientemente estudiado, lo que limita su aprovechamiento a gran escala e impide su inserción competitiva en mercados más amplios. La caracterización física, bromatológica y tecnofuncional, representa una alternativa viable para sentar las bases de su industrialización ya que permite identificar ventajas competitivas y desarrollar productos derivados de alto valor agregado. Con ello, se podría fortalecer la economía local, fomentar la conservación de su diversidad genética y posicionar al frijol ayocote de Zacatlán como un recurso valioso en la agroindustria mexicana.

## 11. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis sobre el ácido fítico como anti nutriente y su efecto en la salud.
- Evaluar el contenido de antocianinas presentes en el frijol ayocote.
- Determinar el tiempo de cocción y textura después de la cocción, importantes para la aceptación del consumidor.
- Analizar el potencial del frijol ayocote como materia prima para la elaboración de productos como pastas, suplementos proteicos alimentos funcionales destinados a mercados especializados, como el de productos veganos.
- Realizar estudios detallados sobre la composición de aminoácidos del frijol ayocote para determinar su calidad proteica.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

Al Hassan, M., Morosan, M., López-Gresa, M (P., Proens, J., Vicente, O). \*and Boscaiu, M., 2016\*. Salinity-induced variation in biochemical markers provide insight into the mechanisms of salt tolerance in common (*Phaseolus vulgaris*) and runner (*P. coccineus*) beans. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(1582), pp. 1-16.

Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer V.F (y Griffin, E.L). \*(1969)\*. Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today* 14, 372- 381.

Association of Official Analytical Chemists, & Association of Official Agricultural Chemists (US) ((1925)). \*Official methods of analysis.\*.

Ayala Garay, Oscar Javier, Pichardo González, Juan Manuel, Estrada Gómez, Julio Arturo, Carrillo Salazar, José Alfredo, & Hernández Livera, Adrián ((2006)). \*Rendimiento y calidad de semilla del frijol ayocote en el Valle de México. Agricultura técnica en México, 32(3), 313-321\*. Recuperado en 17 de marzo de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172006000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300007&lng=es&tlng=es).

Ayala, A (V., Acosta, J). \*A., & Reyes, L\*. (2021). El cultivo del frijol; presente y futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México, Libro Técnico, (1), 232.

Bedoya, Ramiro Antonio, & Maldonado, Maria Elena ((2022)). \*Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*). Revista chilena de nutrición, 49(1), 34-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182022000100034>\*.

Beninger Clifford W, Hosfield George L (2003) Antioxidant Activity of Extracts, Condensed Tannin Fractions, and Pure Flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L (Seed Coat Color Genotypes). \**J Agric Food Chem* 51 (27): 7879–7883; doi: 10.1021/jf0304324\*.

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A ((2010)). \*Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. Food research international, 43(2), 414-431.\*.

Burbano-Orjuela, E (A). \*(1991)\*. Alternativas para estimar el contenido de humedad del grano de frijol en el campo (*Phaseolus vulgaris* L.). CIAT. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/digital/CIAT\\_COLOMBIA\\_000209\\_Alternativas\\_para\\_estimar\\_el\\_contenido\\_de\\_humedad\\_del\\_grano\\_de\\_frijol\\_en\\_el\\_.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/digital/CIAT_COLOMBIA_000209_Alternativas_para_estimar_el_contenido_de_humedad_del_grano_de_frijol_en_el_.pdf)

Cabrera-Hilerio S., I (Perez-Xochipa, M). \*Rodríguez-Acosta and J\*. Sandoval Ramirez. *JCBPS; Section B* 7(2) (2017) 621-628.

Calvo-Garza, M., & Mariscal-Moreno, R (M). \*(2023)\*. Características nutrimentales, fisicoquímicas y sensoriales de panes adicionados con frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) fermentado. *JLNH JLNH JLNH JLNH JLNH*, 13.

Cázares-Sánchez, E (J). \*L\*. Chávez-Servia, Y. Salinas-Moreno, F. Castillo-González and P. Ramírez-Vallejo. *Agrociencia* 49(1) (2015) 15-30.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) ((2018)). \*El ayocote, un frijol que es grande por su potencial\*. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-ayocote-un-frijol-que-es-grande-por-su-potencial>

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) (2008). \*Guía técnica para el manejo de variedades de frijol\*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa de granos básicos. El salvador. 24 pp.

Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato (CESAVEG) (2015). \*Manual de plagas y enfermedades en frijol\*. Campaña manejo fitosanitario del frijol. 24 pp.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016) [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/biosecuridad/pdf/21059\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/biosecuridad/pdf/21059_sg7.pdf).

Cruz-Requena (M., Escobedo-García). \*S., Salas-Tovar\*. J.A., Mora- Cura. Y. (2017) Definitions and Regulatory Perspectives of Dietary Fibers. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 37-42.

Denih, Y ((2016)). \*Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en testa y grano de 54 poblaciones nativas de frijol común (Phaseolus vulgaris L) (Tesis de Posgrado)\*. Universidad Veracruzana.

De-Paula, C (D., Jarma-Arroyo, S., & Aramendiz-Tatis, H). \*(2018)\*. Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 29-40.

Díaz AM, Caldas GV, Blair M (2010) Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. *Food Research International* 43 (2): 595–601; doi: 10.1016/j.foodres.2009.07.014

Duarte-Almeida, J (M., Santos, R). \*J\*. D., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2006). Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema beta-caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH•. *Food Science and Technology*, 26, 446-452. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>

Duarte-Almeida, J (M., Santos, R). \*J\*. D., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2006). Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema beta-caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH•. *Food Science and Technology*, 26, 446-452. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>

EL, E. (2019). Complejo regional norte-sede tetela programa de ingeniería agroforestal (Doctoral dissertation, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Enjamio-Perales, L., Rodríguez Alonso, P., Valero Gaspar, T., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J (y Varela Moreiras, G). \*(2017)\*. Informe sobre Legumbres, Nutrición y Salud (Adaptado al Reglamento relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos). Fundación Española de la Nutrición (FEN).

Fukumoto LR, Mazza G (Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds). *J Agric Food Chem*. 2000 Aug;48(8):3597-604. doi: 10.1021/jf000220w. PMID: 10956156.

Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M.G.; Custodio, O., Rosales, A.; Ruiz, N.; Surles, R., Palacios, N ((2012) Laboratorio de Calidad nutricional de maíz y Análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio). *CIMMYT*.  
<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf>

García-Campos, A (U., Cruz-Monterrosa, R). *G.*, Rayas-Amor, A\*. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., de la Paz Salgado-Cruz, M., ... & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://revista-agoproductividad.org/index.php/agoproductividad/article/view/1728>

García-Jiménez, A., Vázquez Ch (L). \*(2016). Secado de maíz, propiedades del grano: resumen. *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología*\*. 1(2), 73–77.  
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/14.pdf>

Gómez Aldapa, C (A). \*(2010)\*. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS EN LA ESPECIE DE FRIJOL *PHASEOLUS VULGARIS* DE LAS VARIEDADES; PINTO SALTILLO, BAYO VICTORIA Y NEGRO SAN LUIS.

Gorriti-Gutiérrez, A., Acevedo, J (A., Ballarte, L). \*N., Teixeira, B\*. J., Llajarun, H. P., Aquisé I. S., & Jacobo, F. Q. (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 509-518.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461006>

Guajardo-Flores, D., Serna-Saldívar, S (O., & Gutiérrez-Urbe, J). \*A\*. (2013). Evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities of saponin and flavonols from germinated black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) extracts. *Food Chemistry*, 141(2), 1497-1503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.010>

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\*. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>

Heredia Laura ((2017)). \*Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* gray) (Tesis de Posgrado)\*. Universidad Autónoma de Nuevo León facultad de salud pública y nutrición.

Hernández López, V (M., Vargas-Vázquez, M). \*L\*. P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. *Avances y perspectivas. Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(2), 95-104.

Herrera, M (D., Reynoso-Camacho, R., Melero-Meraz, V., Guzmán-Maldonado, S). \*H., & Acosta-Gallegos, J\*. A. (2021). Impact of soil moisture on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phytochemicals. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103883. Granito, M.,

Guinand, J., Pérez, D., & Suhey, P. (2009). Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* procesada: un ingrediente potencial para alimentos. *Interciencia*, 34(1), 064-070.

Intriago-Defaz (I., & Torres, J). \*R\*. (2018). Efecto de la densidad y arreglo de siembra en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) (Doctoral dissertation, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6323>

Iturbe, F., Sandoval, J ((2023). *Análisis de Alimentos*). \*Fundamentos y Técnicas\*. UNAM, [https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14545/mod\\_resource/content/1/Análisis%20de%20alimentos%20fundamentos%20y%20técnicas.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14545/mod_resource/content/1/Análisis%20de%20alimentos%20fundamentos%20y%20técnicas.pdf)

Kwami-Adom, K., Sorrells, M (E., & Liu, R). \*(2003). Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Wheat Varieties. 51(26), 7825–7834\*. <https://doi.org/10.1021/jf030404l>

Lamz Piedra, A., Cázares Chávez, Z., Jiménez Galindo, J (C., Molina Corral, F). \*J., Sepúlveda Ahumada, D\*. R., Rios-Velasco, C., & Olivas Orozco, G. I. (2021). Cocción tradicional con especias de *Phaseolus vulgaris* L. y su efecto antinutricional e inhibición bacteriana. *Biotecnia*, 23(1), 62-69.

Lizarazo, J., Muñoz, D., & Díaz, L ((2015)). \*Estudio fitoquímico y actividad antioxidante de la madera de *Piper eripodon* (piperaceae). *Revista Ciencia: Desarrollo e Innovación*, 1(1)\*. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rcdi/article/view/505>

Lo Turco, V., Potortì, A (G., Rando, R., Ravenda, P., Dugo, G., & Di Bella, G). \*(2016)\*. Functional properties and fatty acids profile of different beans varieties. *Natural Product Research*, 1–6.

López, A (N). \*A., Oliván, L\*. M. G., Heredia, J. B., Jiménez, R. B., Galindo, H. S. G., & Martínez, L. X. L. (2019). Características nutricionales y bioactivas del frijol Ayocote (*Phaseolus coccienus* L.): una leguminosa subutilizada cultivada en México. *CyTA: Journal of food*, 17(1), 199-206.

Luna- Vital, D (A., Mojica, L., González de Mejia, E., Mendoza, S., & Loarca- Piña, G). \*(2015)\*. Biological potential of protein hydrolysates and peptides from commonbean (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. *Food Research International*, 76(P1). 39-50.

M (Giusti, and R). \*Wrolstad\*. 2001. Unit F1.2. In: Wrolstad, R. and S. Schwartz (eds.). John Wiley and Sons, Inc. New York. pp. F1.2.1-F.1.2.13.

Martínez Dotor, J., & López Martínez, L (X). \*(2013)\*. Efecto del procesamiento en el contenido de Compuestos Fenólicos y las propiedades antioxidantes de diferentes variedades de Frijol (*Phaseolus Vulgaris* L) Mexicano.

Miranda Colín, S ((1967)). \*Origen de *Phaseolus vulgaris* L (Frijol Común).Mitrevska, K\*. S. Grigorakis, S. Loupassaki and A. C. Calokerinos. *Appl. Sci*, 10 (2020).

Murillo, B ((1994)). \*Manual de laboratorio nutrición animal\*. Zamora. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/75f4d317-84b1-4e66-bc1e-9fe07dd8d714/content>

Palacios-Rojas, N ((2018)). \*Calidad nutricional e industrial de Maíz: Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz “Evangelina Villegas”\*. CIMMYT.

<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/19667/59829.pdf>

Paredes, L (O., & Valverde, M). \*E\*. (2006). Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamérica le ha dado al mundo. *Cinvestav*, 25(3), 65-73.

Peña Borrayo, A (M). \*(2023). Estudio de antinutrientes y contenido de hierro en un alimento funcional de frijol obtenido por secado de espumas (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).\*

Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F (V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T). \*R., & Tovar Gómez, M\*. D. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352.

Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F (V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T). \*R., & Tovar Gómez, M\*. D. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352.

Pérez Veyna, O., Reyes Rivas, E., Padilla Bernal, L (E., & López Jáquez, P). \*(2008)\*. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol.

Pérez, J., & Saura, F ((2007)). \*Metodología para la evaluación de capacidad antioxidante en frutas y hortalizas\*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha Y Agroexportaciones, 11. Retrieved from <http://www.horticom.com/pd/imagenes/71/429/72429.pdf> (Extractos)

Prensa y Colaboradores, O ((2022, enero 28). El ayocote, un gran frijol - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)). \*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)\*. <https://www.ciad.mx/el-ayocote-un-gran-frijol/>

Prior, R (L., & Wu, X). \*(2013)\*. Diet antioxidant capacity: Relationships to oxidative stress and health. *American Journal of Biomedical Sciences*, 5(2), 126-139. doi: <https://doi.org/10.5099/aj130200126>

Puertas-Mejía, Miguel A, Ríos-Yepes, Yersica, & Rojano, Benjamín Alberto ((2013)). \*Determinación de antocianinas mediante extracción asistida por radiación de microondas en frijol (Phaseolus vulgaris L.) de alto consumo en Antioquia-Colombia. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 18(2), 288-297.\*.

Ramírez-Pérez, A (R., Díaz-Ruiz, R., Jacinto-Hernández, C., Paredes-Sánchez, J). \*A., & Garza García, R\*. (2012). Diversidad de frijoles nativos de diferentes regiones del estado de Puebla. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(3), 467-480.

Revilla, I (2015). \*Chapter 40 - Impact of Thermal Processing on Faba Bean (Vicia faba) Composition\*. *Processing and Impact on Active Components in Food*, 337-343.

- Ríos- Espinoza, E., Valle- Muñoz, A., Aguilar- López, T ((2012): El papel de la fibra en las enfermedades crónico-degenerativas). \*Instituto de nutrición y Salud Kellogg's.\*.
- Rivas-Pérez, B (N., Leal-Ganadillo, I). \*A., Loaiza-Cuauro, L\*. F., Morillo, Y. E., & Colina-Chirinos, J. C. (2017). Phenolic Compounds and antioxidant activity in extracts of four Oregano species. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 40(3), 134-142. [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702017000300002&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702017000300002&script=sci_abstract&tlng=en)
- Rochín-Medina, Jesús Jaime, Mora-Rochín, Saraid, Navarro-Cortez, Ricardo Omar, Tovar-Jiménez, Xóchitl, Quiñones-Reyes, Guillermo, Ayala-Luján, Jorge Luis, & Aguayo-Rojas, Jesús. (2021). Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas. Ley Universitaria, 31, e3059. Publicación electrónica del 16 de febrero de 2022. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3059>
- Rodiño, A (P., Lema, M., Pérez-Barbeito, M., Santalla, M). \*and De Ron, A\*. M., 2007. Assessment of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) landraces: Population Structure and Adaption, as Revealed by cpSSRs and Phenotypic Analyses. PLoS ONE, 8(2), e57337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057337>
- Rodríguez, C (y Fernández, X). \*Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*): Su aporte a la dieta del costarricense\*. Acta Méd. Costarric, 2003, vol. 45, no. 3.
- Rojas-Victoria, N (J., Escalante-Estrada, J). \*A\*. S., & Aguilar-Carpio, C. (2023). Análisis de crecimiento, rendimiento de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en un sistema de fertilización nitrogenada. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 26, 012.
- Rojas-Victoria, N (J., Escalante-Estrada, J). \*A\*. S., & Aguilar-Carpio, C. (2023). Análisis de crecimiento, rendimiento de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en un sistema de fertilización nitrogenada. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 26, 012.
- Salazar, Régulo Ruíz, Delgado, Sanjuana Hernández, Vázquez, María Luisa Patricia Vargas, & Pérez, Netzahualcóyotl Mayek ((2021)). \*Estado actual de los recursos genéticos de *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) en México. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 56(3), 289-305. <https://dx.doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n3.32297>.\*.
- SIAP ((2016)). \*Producción Agrícola\*. Avance de siembras y cosechas por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-programas/produccion-agricola-33119>.
- Singh, S (P., Schoonhoven, A). \*V., & Voysest, O\*. (1991). Common Bean: Research for Crop Improvement. CAB International, Wallingford, UK and CIAT, Cali, Colombia, 383-443.
- Suárez-Martínez, S (E., Ferriz-Martínez, R). \*A., Campos-vega, R., Elton-puente, J\*. E., De, K., Carbot, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health Semillas del frijol: fuente líder de nutraceuticos para la salud humana, F. De Química, 14(1), 131-137.
- Ulloa, J (A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J). \*C., & Ulloa Rangel, B\*. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. CONACYT.

Vargas Encarnación, J (V). \*(2016)\*. Valoración del producto tradicional “siete harinas” como fuente de antioxidantes y compuestos fenólicos (Tesis de grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. ( cita de fenoles y dpph)

Vargas-Vázquez, M (L). \*P., Muruaga-Martínez, J\*. S. and Pérez-Guerrero, A., 2013. Temperatura y precipitación de los sitios de colecta de variedades nativas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), pp.843-853.

Vargas-Vázquez, Patricia, Muruaga-Martínez, José S., Martínez-Villarreal, Sandra E., Ruiz-Salazar, Régulo, Hernández-Delgado, Sanjuana, & Mayek-Pérez, Netzahualcóyotl ((2011)). \*Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 767-775\*. Recuperado en 12 de marzo de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300005&lng=es&tlng=es)

Vázquez-Herrera, P (., & Taboada-Gaytán , O). \*R\*. (2023). El almacenamiento prolongado afecta la calidad nutricional y el tiempo de cocción del frijol ayocote. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(29), e3542. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3542>

Vázquez-Herrera, P., & Taboada-Gaytán, O (R). \*(2023)\*. El almacenamiento prolongado afecta la calidad nutricional y el tiempo de cocción del frijol ayocote. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(SPE29).

W (Brand-Williams, M). \*E\*. Cuvelier and C. Berset. *Lebenson Wiss Technol*; 28 (1995) 25-30.

Wang, N., Hatcher, D (W., Tyler, R). \*T., Toews, R\*. y Gawalko, E. J. 2010. Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*, 43. 589-594.

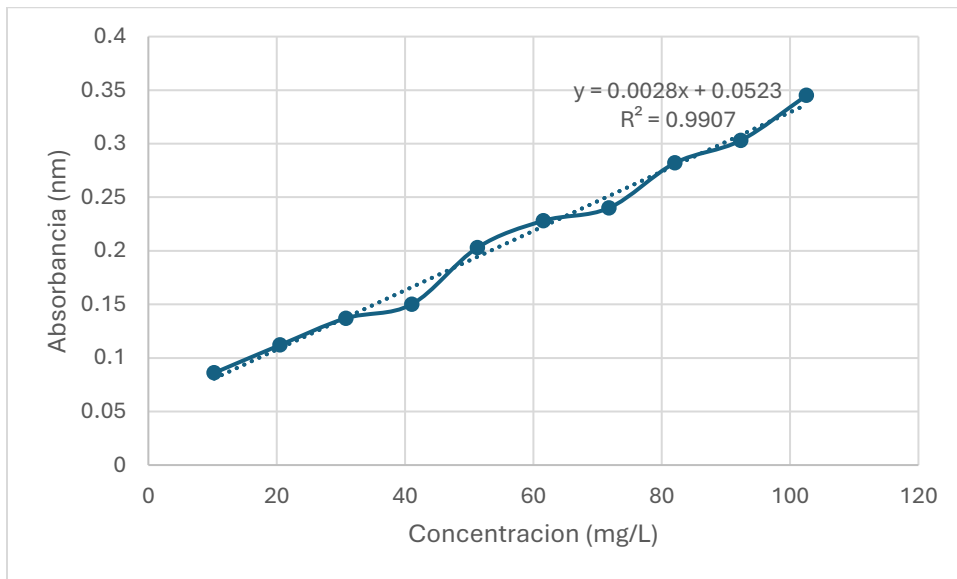
Wang, X., Hansen, C., & Allen, K ((2013)). \*Identification of anthocyanins isolated from black bean canning wastewater by macroporous resin using optimized conditions. *Food and Nutrition Sciences*, 4(8), 174-181\*. doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2013.48A021>

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

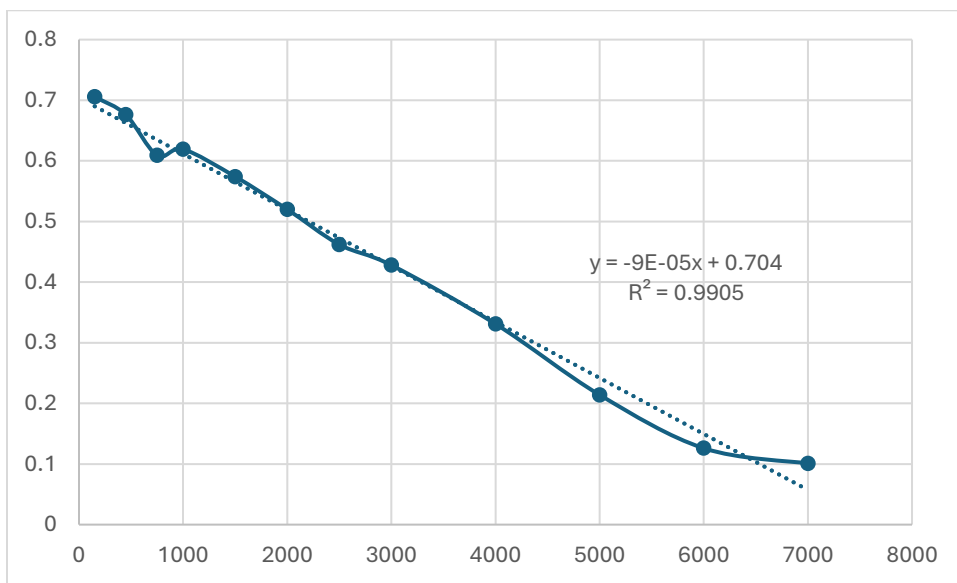
Yao, Y., Hu, Y., Zhu, Y., Gao, Y., Ren, G ((2015)). \*Comparisons of phaseolin type and  $\alpha$  - amylase inhibitor in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in China\*. *Science Direct CJ*, 4(1), 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.09.002>.

Zhapan-Revilla, M (X., Morales, K). \*L., Pita, M\*. D. L. Á. B., Veiga, D., & Herrera, A. M. (2021). Potencial antioxidante de hojas de guanábana (*Annona muricata* L.) para sistemas productivos de banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 35-40. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/444>

### 13. ANEXOS



**Figura 16. Curva de calibración de Ácido Gálico.**



**Figura 17. Curva de calibración DPPH.**