

# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

## Tesis



**"Determinación de los parámetros morfométricos, físico-químicos y tecno-funcionales de la semilla de ayocote  
(*Phaseolus coccineus*)"**

PRESENTA:

**Fabiola Ortega Chino**

CON NÚMERO DE CONTROL

**19TE0384**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

**IIAL-2010-219**

DIRECTOR (A) DE TESIS:

**DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA**

TEZIUTLÁN, PUEBLA, FEBRERO 2024



"La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana"

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN**

**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de Teziutlán, Puebla., el día 09 del mes de enero del año 2024, el (la) que suscribe **Fabiola Ortega Chino** alumno (a) de la carrera de **Ingeniería en Industrias Alimentarias** con número de control **19TE0384**, adscrito al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis de licenciatura bajo la dirección de la **Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y Dra. Mayra Nicolás García**, ceden los derechos del trabajo titulado **"Determinación de los parámetros morfométricos, físico-químicos y tecno-funcionales de la semilla de ayocote (*Phaseolus coccineus*)"**, al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y a los directores del proyecto para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director (es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: [julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx](mailto:julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx); [mayrang@teziutlan.tecnm.mx](mailto:mayrang@teziutlan.tecnm.mx); [L19TE0384@teziutlan.tecnm.mx](mailto:L19TE0384@teziutlan.tecnm.mx) ; si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Fabiola Ortega Chino

Nombre y firma del alumno  
(a)

Vo. Bo



Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa  
Director (a) de Tesis



Dra. Mayra Nicolás García  
Director (a) de Tesis

# **PRELIMINARES**

## **Agradecimientos**

El presente trabajo fue realizado bajo la dirección de la Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y la Dra. Mayra Nicolás García, en el laboratorio de Química, Análisis, Microbiología y Procesos del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

Agradezco al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), por haberme brindado los conocimientos y materiales necesarios para realizar mis análisis y prácticas en el transcurso de mi carrera universitaria, de igual forma por haberme enseñado como formar mi vida profesional en el instituto, así mismo mi casa de estudios, por brindarme y darme el apoyo de los docentes.

Gracias al instituto por haberme permitido formarme en ella y gracias a todas las personas que fueron participantes en el área laboratorista.

## **Dedicatoria**

Todos los días le doy gracias a Dios, por permitirme dar un día más de vida al despertar en las mañanas, desde que era una niña mi familia siempre me comentaba que me veían con un futuro profesional, siempre creyeron en mí, me aconsejaban en tomar las mejores decisiones, me dieron una excelente educación para tener buenos valores, me enseñaron a ser una persona responsable, eficiente y generosa.

Hoy doy gracias a Dios y al apoyo de mis padres por brindarme una gran educación, ya que hoy me encuentro terminando una etapa muy importante en mi vida profesional como estudiante, al terminar mi residencia profesional.

Por ello doy gracias a María Chino Cabrera y Bernardino Ortega Eligio por ser unos buenos padres, que siempre vieron lo posible y hasta ahora, de ver la manera, de que nada me faltara en la escuela y en casa, ellos son mi principal motivación, ya que a ellos no les pudieron brindar estudios, por eso hicieron lo posible para que yo pudiera lograr este gran e importante objetivo en mi vida.

Así mismo agradezco a mi asesora de investigación, la Doctora Julieta del Carmen Villalobos Espinosa, por toda la ayuda y asesoría prestada que me brindo en todo el transcurso de la universidad, agradezco la disposición y tiempo que me brindo cuando me surgían dudas y por el apoyo de terminar y concluir este trabajo de investigación.

También me gustaría dar las gracias a mis hermanos Ricardo Ortega Chino y Diana Ortega Chino por siempre estar al pendiente de mí educación y bienestar, al siempre darme los mejores consejos y regaños. Agradezco el apoyo de mi novio por darme ánimos de seguir adelante y confiar en mí.

Por último, agradezco a mis amigos Karla, Itzel, Violeta, Paola Monserrat, Ángel, Daniel y Sandra por estar apoyándome y teniendo la disposición de apoyarme con mi trabajo de investigación.

## Resumen

México se distingue como un centro de domesticación y diversidad de *Phaseolus*, destacando el ayocote (*P. coccineus*). La información que se puede obtener a partir de las propiedades físicas de las semillas es de gran importancia para el diseño de equipos y maquinaria en diversas etapas o procesos dentro de la industria alimentaria, así como para la toma de decisiones en el transporte de estas. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar las propiedades morfométricas, físico-químico y tecno-funcional de las semillas del frijol Ayocote (*P. coccineus*). Las semillas de Ayocote se clasificaron de acuerdo al color (negro, morado, lila, café y beige), se tomaron 100 semillas para obtener las dimensiones de largo (15.50-17.00 mm), ancho (7.02–7.79 mm) y espesor (10.73-11.34 mm) para determinar los parámetros de diámetro medio geométrico (10.52-11.38 mm), esfericidad ( $0.67\text{-}0.6\text{ mm}^{-1}$ ), área superficial (350.29-411.64 mm<sup>2</sup>), volumen (470.54–602.2 mm<sup>3</sup>) y aspecto de radio (0.46-0.47). El mismo proceso se realizó para el ayocote hidratado y cocido. Por otra parte, la densidad real (0.979–1.097 g/mL) y aparente (0.671–0.748 g/mL) de la semilla, se calculó para obtener la porosidad de las semillas (29.67.-33.96%). De igual manera se obtuvieron harinas de las cinco variedades de ayocote identificando la capacidad de absorción de agua (1.36-1.63) y aceite (1.28-1.36). Para los parámetros de humedad, cenizas y grasa se obtuvieron los valores de: 8.15-10.11; 4.55-5.17 y 1.86-3.56, respectivamente. Finalmente se observó que el color, fue un parámetro importante en las propiedades químicas, físicas y morfológicas, independientemente que fueron de la misma variedad.

**Palabras claves:** Ayocote, harina de ayocote, hidratación, cocción.

## Abstract

Currently Mexico is distinguished as a center of domestication and diversity of different *Phaseolus* known as beans, some of which have not only been national, but internationally known. The information that can be obtained from the physical properties of seeds is of great importance for the design of equipment and machinery in various stages or processes within the food industry, as well as for decision-making in their transportation. The objective of this research work was to evaluate the morphometric, physical-chemical and techno-functional properties of the seeds of the Ayocote bean (*Phaseolus coccineus*). Ayocote seeds were classified according to color: black, purple, lilac, brown and beige, 100 seeds were taken from each color to obtain the dimensions: length (15.50-17.00 mm), width (7.02-7.79 mm) and thickness (10.73-11.34 mm), from which the parameters of geometric mean diameter (10.52-11.38 mm), sphericity ( $0.67-0.6 \text{ mm}^{-1}$ ), surface area ( $350.29-411.64 \text{ mm}^2$ ) were obtained. ), volume ( $470.54-602.2 \text{ mm}^3$ ) and radius aspect (0.46-0.47). The same process was carried out for the hydrated and cooked beans. On the other hand, the real (0.979–1.097 g/mL) and apparent (0.671–0.748 g/mL) density of the seed was calculated to obtain the porosity of the seeds (29.67-33.96%). In the same way, flours from the five varieties of beans were obtained, identifying the absorption capacity of water (1.36-1.63) and oil (1.28-1.36). For the parameters of humidity, ash and fat, the values of: 8.15-10.11 were obtained; 4.55-5.17 and 1.86-3.56, respectively. Finally, it was observed that color was an important parameter in the chemical, physical and morphological properties, regardless of whether they were of the same variety.

**Keywords:** Ayocote, ayocote flour, hydration, cooking.

## Introducción

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) es una semilla leguminosa originaria de Mesoamérica (Schwember et al., 2017). En México es poco cultivado y consumido, se encuentra en zonas altas de los estados de Puebla, Oaxaca y Chiapas. Se ha reportado que existen alrededor de 52 especies documentadas, aproximadamente 40 *Phaseolus* tienen su origen en México (Aremu et al., 2010). Sin embargo, no todas estas especies han sido completamente caracterizadas desde la perspectiva nutracéutica, de acuerdo a su color se puede apreciar una variedad de tonalidades, que van desde los morados, negros, cafés, blancos y rosados, hasta aquellas con patrones pintados (SIAP, 2023). *P. coccineus* es uno de los principales componentes de la dieta de la población mexicana y es la tercera especie de importancia económica a nivel mundial (Barriga-Macedo & Sánchez-Ledesma, 2019). Es buena fuente de nutrientes como carbohidratos y proteínas, además puede contener diversos factores antinutricionales, tales como inhibidores enzimáticos, hemaglutininas, oligosacáridos, compuestos fenólicos y ácido fítico (Vázquez-Herrera & Taboada-Gaytán, 2023). Así como compuestos bioactivos que ejercen beneficios y gran impacto en el área médica para la prevención de tratamientos de enfermedades crónicas degenerativas como diabetes, hipertensión y cáncer (SIAP, 2023). No obstante, la FAO (2016) afirma que la sociedad no está informada del valor nutricional y la funcionalidad en dietas saludables, producción sostenible de alimentos y seguridad. Esta leguminosa se disfruta de diversas maneras, ya sea como guarnición, en guisos o en forma de harinas. Todas estas preparaciones permiten apreciar la diversidad de las legumbres y los alimentos derivados de ellas, haciendo consciente de sus múltiples usos culinarios. Esta leguminosa se disfruta de diversas maneras, ya sea como guarnición, en guisos o en forma de harinas. Todas estas preparaciones permiten apreciar la diversidad de las leguminosas y los alimentos derivados de ellas, haciendo consciente de sus múltiples usos culinarios. Actualmente, se están desarrollando y utilizando nuevos productos alimenticios, especialmente en América del Norte (Tobar, 2018), destacándose la elaboración de

tortillas a base de harina de frijol (López-Ibarra, 2018). El primer paso para entender la funcionalidad de las leguminosas es conocer sus propiedades físicas. Por lo tanto, en este estudio se propuso la caracterización física, química y morfométrica del frijol ayocote (*P. coccineus*) de cinco variedades (negro, morado, lila, café y beige). Conocer las propiedades físicas de las semillas que puede ayudar en la toma de decisiones, especialmente en lo que respecta al diseño de equipos y al transporte de semillas.

# Índice General

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PRELIMINARES .....                                                                               | 2  |
| Agradecimientos .....                                                                            | 3  |
| Dedicatoria .....                                                                                | 4  |
| Resumen .....                                                                                    | 1  |
| Abstract .....                                                                                   | 2  |
| Introducción .....                                                                               | 3  |
| Índice General .....                                                                             | 5  |
| Índice de Tablas .....                                                                           | 7  |
| Índice de Figuras .....                                                                          | 8  |
| Índice de abreviaturas .....                                                                     | 10 |
| Capítulo I .....                                                                                 | 11 |
| 1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante .... | 12 |
| 1.2 Planteamiento del problema .....                                                             | 13 |
| 1.3 Preguntas de investigación .....                                                             | 14 |
| 1.4 Objetivos (generales y específicos). ....                                                    | 14 |
| 1.4.1 Objetivo general .....                                                                     | 14 |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....                                                                | 14 |
| 1.5 Justificación de la investigación .....                                                      | 15 |
| 1.6 Hipótesis .....                                                                              | 15 |
| Capítulo II .....                                                                                | 16 |
| 2.1 Ayocote ( <i>Phaseolus coccineus</i> ) .....                                                 | 17 |
| 2.1.2 Origen geográfico y distribución .....                                                     | 18 |
| 2.1.3 Características del cultivo .....                                                          | 21 |
| 2.1.4 Diversidad genética y morfológica .....                                                    | 28 |
| 2.1.5 Composición nutricional del ayocote .....                                                  | 30 |
| 2.1.6 Aplicación y usos en la Industria alimentaria .....                                        | 31 |
| Capítulo III .....                                                                               | 34 |
| 3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas .....                              | 35 |
| 3.1.1 Obtención de materia prima .....                                                           | 35 |
| 3.1.2 Obtención de la harina de Ayocote .....                                                    | 36 |
| 3.2 Procesamiento de la semilla .....                                                            | 37 |
| 3.2.1 Proceso de hidratación .....                                                               | 37 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2 Tratamiento térmico .....                                                  | 37 |
| 3.3 Determinación de parámetros morfométricos de la semilla .....                | 38 |
| 3.4 Propiedades Físicas .....                                                    | 42 |
| 3.5 Análisis químico .....                                                       | 45 |
| 3.6 Caracterización de harinas .....                                             | 48 |
| 3.6.1 Propiedades Tecno-funcionales de las distintas variedades de ayocote ..... | 48 |
| 3.7 Análisis estadísticos.....                                                   | 53 |
| Capítulo IV.....                                                                 | 54 |
| 4. Resultados.....                                                               | 55 |
| 4.1 Propiedades morfométricas de la semilla de ayocote.....                      | 55 |
| 4.2 Propiedades físicas de la harina de ayocote.....                             | 63 |
| 4.3 Propiedades químicas de la harina de ayocote .....                           | 66 |
| 4.4 Propiedades tecno-funcionales s de la harina de ayocote .....                | 69 |
| Capítulo V.....                                                                  | 78 |
| 5.1 Conclusión.....                                                              | 79 |
| Competencias desarrolladas y/o aplicadas .....                                   | 81 |
| Capítulo VII.....                                                                | 82 |
| Bibliografía .....                                                               | 83 |
| Capítulo VIII.....                                                               | 95 |
| Anexos.....                                                                      | 95 |

## Índice de Tablas

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Tipos de ayocote de acuerdo con el color y su origen.....                                                | 19 |
| Tabla 2. Propiedades morfométricas de las diferentes variedades de ayocote ( <i>P. coccineus</i> ) crudo. ....    | 60 |
| Tabla 3. Propiedades morfométricas de las diferentes variedades de ayocote ( <i>P. coccineus</i> ) hidratado..... | 61 |
| Tabla 4. Propiedades físicas de las diferentes variedades de ayocote ( <i>P. coccineus</i> ) cocido.....          | 62 |
| Tabla 5. Propiedades de flujo en harinas de ayocote. ....                                                         | 65 |
| Tabla 6. Contenido nutricional de las distintas harinas de ayocote ( <i>P. coccineus</i> ). ....                  | 68 |
| Tabla 7. Capacidad emulsificante de las distintas harinas de ayocote de acuerdo al pH.....                        | 71 |
| Tabla 8. Propiedades tecno-funcionales de las variedades de ayocote. ....                                         | 76 |
| Tabla 9. Propiedades tecno-funcionales de las variedades de ayocote. ....                                         | 77 |

## Índice de Figuras

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. ....                | 12 |
| Figura 2. Diversidad de frijoles en México .....                                             | 17 |
| Figura 3. Flor y semilla de ayocote.....                                                     | 22 |
| Figura 4. Estructura de la semilla de ayocote.....                                           | 23 |
| Figura 5. Raíz desarrollada del ayocote. ....                                                | 24 |
| Figura 6. Estructura de la planta de ayocote .....                                           | 27 |
| Figura 7. Variedades de ayocote. ....                                                        | 29 |
| Figura 8. Diagrama experimental de las variedades de ayocote. ....                           | 35 |
| Figura 9. Selección y clasificación de la materia prima. ....                                | 36 |
| Figura 10. Obtención de harina: a) Frijol quebrantado; b) Frijol de partícula homogénea..... | 36 |
| Figura 11. Proceso de hidratación de semillas de ayocote.....                                | 37 |
| Figura 12. Medición de propiedades lineares. ....                                            | 38 |
| Figura 13. Determinación de densidad real de semilla. ....                                   | 40 |
| Figura 14. Determinación de densidad de la semilla aparente.....                             | 40 |
| Figura 15. Determinación de densidad aparente. ....                                          | 42 |
| Figura 16. Densidad empacada de las distintas harinas de ayocote.....                        | 43 |
| Figura 17. Determinación del ángulo de reposo. ....                                          | 44 |
| Figura 18. Determinación del contenido de humedad.....                                       | 46 |
| Figura 19. Extracción de grasa de ayocote. ....                                              | 47 |
| Figura 20. Determinación de cenizas en a mufla. ....                                         | 48 |
| Figura 21. Capacidad de absorción de agua y aceite. ....                                     | 49 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Determinación de la capacidad emulsificante.....                     | 50 |
| Figura 23. Determinación de la capacidad espumante de la harina de ayocote. ... | 51 |
| Figura 24. Tiempo de humectación de ayocote.....                                | 51 |
| Figura 25. Tiempo de disolución. ....                                           | 52 |
| Figura 26. Higroscopicidad de las distintas harinas de ayocote. ....            | 53 |
| Figura 27. Análisis estadístico de las variedades de ayocote.....               | 53 |

## **Índice de abreviaturas**

$D_g$ : diámetro medio geográfico

$P_b$ : densidad aparente de la semilla

$P_g$ : densidad real de la semilla

$R_a$ : relación del aspecto

$V_g$ : volumen

A: área de la superficie

CH: coeficiente de Hausner

DA: densidad aparente

DE: densidad empacada

H: higroscopicidad

ha: hectárea

IC: índice de Car

INIFA: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

L: largo

mL: mililitros

mm: milímetros

rpm: revoluciones por minuto

S: superficie

T: espesor

t: tonelada

W: ancho

# **Capítulo I**

## **Generalidades del proyecto**

## 1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST/ Figura 1) es una institución de educación superior, que se encuentra en el municipio de Teziutlán en el Estado de Puebla. Actualmente, el ITST ofrece 8 licenciaturas y 2 maestrías que como resultado del esfuerzo para el cumplimiento de estándares de calidad educativa el instituto ha obtenido acreditaciones internacionales.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán establece, implementa, mantiene y mejora continuamente su sistema de gestión de calidad de acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 9001:2015. El área en donde se implementa la propuesta es en Ingeniería en Industrias Alimentarias.



**Figura 1.** Instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El ayocote es una leguminosa de importancia en la alimentación del ser humano. El Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) destaca que en México los estados de Puebla y Morelos tienen una gran importancia en la producción del ayocote, con una superficie sembrada de 946 ha logrado una producción anual de 825 t (0.87 t/ha). La producción reportada resalta la importancia y eficiencia de la actividad agrícola en estas regiones (SIAP, 2020). Sin embargo, no es conocido comercialmente ni consumido de forma regular en la región de Teziutlán Puebla, debido a factores como el desconocimiento de sus propiedades funcionales en la dieta humana, la falta de promoción de conocimientos tradicionales de cultivo y con ello la escasez, ya que comúnmente es cultivado en sistemas agrícolas tradicionales que se han ido perdiendo por la introducción de variedades modernas de mayor rendimiento que da como resultado la desaparición de variedades locales del ayocote.

## **1.3 Preguntas de investigación**

- ¿Los parámetros morfométricos se ven afectados por el procesamiento de la semilla?
- ¿Las propiedades físico-químicas varían de acuerdo a la variedad?
- ¿El conocimiento de las propiedades tecno-funcionales de la harina de ayocote permiten su incorporación en matrices alimentarias?

## **1.4 Objetivos (generales y específicos).**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar los parámetros morfométricos, físico-químicos y tecno-funcionales de la semilla de ayocote (*Phaseolus coccineus*) para su aplicación en la industria alimentaria

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar los parámetros morfométricos de la semilla en los distintos tratamientos (control, hidratación y cocción) de las 5 variedades.
2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la harina de ayocote sin tratamiento.
3. Determinar las propiedades tecno-funcionales de la harina de ayocote para su aplicación en la industria alimentaria.

## **1.5 Justificación de la investigación**

Se han identificado alrededor de 152 especies del género *Phaseolus* a nivel mundial. México es uno de los países con mayor domesticación y diversidad reportándose 52 especies de las cuales alrededor de 40 son originarias de México (Mendoza et al., 2006). Uno de los más destacables es el ayocote (*P. coccineus*), sin embargo, es una leguminosa no reconocida comercialmente y no suele ser muy consumido por la población mexicana. A pesar de ser una fuente de alimentación, especialmente en regiones altas de los estados de Puebla, Oaxaca y Chiapas. Es un alimento que no es consumido con frecuencia en la alimentación del ser humano, los procesos de cocción a los que son sometidos han sido poco estudiados. Siendo uno de los principales problemas que se encuentran en la manipulación de alimentos que son sometidos, desde la recolección hasta pasar por el proceso de ingerirlos. Por lo anterior, los problemas a resolver comprenden el promover el conocimiento del ayocote a través de la caracterización de sus propiedades morfométricas, físico-químicas y tecno-funcionales para su aplicación en la industria alimentaria como un alimento funcional. El conocer las propiedades antes mencionadas permitirá contribuir con información que brinde conocimiento respecto a sus propiedades y con ello fomentar el mantenimiento de la biodiversidad del ayocote en la región VI del estado de Puebla.

## **1.6 Hipótesis**

La caracterización físico-química y tecno-funcional de la harina de diversas variedades de ayocote permite su incorporación en sistemas de interés alimentario y biotecnológico.

# **Capítulo II**

## **Marco teórico**

## 2.1 Ayocote (*Phaseolus coccineus*)

### 2.1.1 Generalidades

En México las especies de frijol tienen una amplia distribución, ya sea en su forma silvestre, semidomesticada o domesticada, de los cuales los principales que se incluyen son *Phaseolus vulgaris* L., *P. coccineus* ssp., *P. lunatus* L., *P. acutifolius* Gray y *P. dumosus* (Hernández-Delgado et al., 2015). *P. coccineus* L. representa la tercera especie más relevante económicamente dentro del género *Phaseolus* a nivel mundial (Figura 2), precedido únicamente por el frijol común (*P. vulgaris* L.) y el frijol lima (*P. lunatus* L.) (Guerra-García et al., 2017). *P. coccineus* es conocido también como frijol bótíl y debido a su tamaño se considera un frijolón, pertenece a la familia taxonómica de las leguminosas y Fabáceas, cultivado desde los orígenes de la agricultura (hace 10 mil años) y se desarrolla principalmente en zonas templadas y calurosas de la república mexicana. En México es conocido como ayocote, patol o patola. La palabra ayocote procede del náhuatl *ayecotli*, el cual tiene por significado “frijoles gordos”. Su forma es similar a la de un frijol común, con diferencia en el tamaño (Martínez-Mondragón, 2018; SIAP, 2023).



**Figura 2.** Diversidad de frijoles en México (Salinas & López, 2015).

### 2.1.2 Origen geográfico y distribución

El ayocote es una leguminosa con origen y domesticación ubicada en México, se desarrolla en regiones templado húmedas o templado semiáridas, especialmente entre los 1300 y 2650 metros de altitud especialmente en tierras altas en estados como Puebla, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, se ha documentado su presencia en estados como Estado de México, Chihuahua, Coahuila, Colima, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Mondragón-Pichardo, 2009; López-Báez et al., 2018). Es un tipo de especie marginada que no ha sido considerada en una estadística oficial, es muy probable que la superficie de siembra y las producciones totales sean relacionadas con la siembra de frijol (Vargas-Vázquez et al., 2011). La domesticación del ayocote se remonta a hace aproximadamente 7,000 a 9,000 años en las elevadas regiones de México, donde este proceso involucró la selección de una o más formas de *P. coccineus*, con eventos subsecuentes de hibridación entre estos cultivares incipientes y formas silvestres (Trujillo et al., 2016; Salazar et al., 2021). Este proceso probablemente involucró la selección humana intencional de una o más formas silvestres de *P. coccineus*, con posteriores eventos de hibridación entre estos cultivares incipientes y variedades silvestres (Chacón et al., 2005).

Aunque su origen se sitúa en Mesoamérica, el frijol ayocote también ha experimentado una distribución secundaria en partes de los Estados Unidos. Este fenómeno evidencia la adaptabilidad de la especie a diferentes entornos y condiciones climáticas. Es esencial destacar que el frijol ayocote se encuentra en estado nativo en México, lo que significa que ha evolucionado y se ha desarrollado de manera natural en este territorio (Tabla 1). Su presencia en múltiples estados mexicanos subraya su importancia y adaptabilidad en diversos entornos dentro de Mesoamérica. Por ello, tiene sus raíces en Mesoamérica y ha mantenido su presencia en México, manifestándose en una distribución geográfica amplia que incluye una variedad de estados. Su historia y distribución geográfica subrayan su significado

tanto en términos culturales como en el contexto de la diversidad agrícola de Mesoamérica (Mondragón-Pichardo, 2009).

En términos de producción, el estado de Puebla se destacó, generando un promedio anual de 2256 toneladas entre los años 2013-2016 en aproximadamente 2590 hectáreas. Los Distritos de Desarrollo Rural 04 de Libres y 07 de Tecamachalco concentran la mayor parte del cultivo en el estado, representando el 94.3% de la producción estatal (López-Báez et al., 2018).

**Tabla 1.** Tipos de ayocote de acuerdo con el color y su origen.

| Variedad | Características y origen                                                                                                                                                                                                                                                | Referencia                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Café     | Originario de Mesoamérica.                                                                                                                                                                                                                                              | Vázquez et al.<br>(2014) y SAGARPA<br>(2023) |
|          | Es rico en proteína, fibra y carbohidratos.                                                                                                                                                                                                                             |                                              |
|          | Tiene tolerancia a plagas.                                                                                                                                                                                                                                              |                                              |
|          | Se caracteriza por su perfil morfológico y geográfico único.                                                                                                                                                                                                            |                                              |
|          | Su ciclo de cultivo es más corto en comparación con otras variedades.                                                                                                                                                                                                   |                                              |
| Lila     | Presenta semillas pequeñas y muestra una notable plasticidad fenológica. Esto significa que algunas de las plantas de esta variedad pueden alargar su período vegetativo mientras acortan el período reproductivo, lo que resulta en un tamaño de semilla más reducido. | Vázquez et al.<br>(2014) y Pruneda<br>(2018) |
|          | Mide 2 cm de largo.                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                          |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|       | <p>Contienen carbohidratos que se encargan de absorber el azúcar elevado de sangre, disminuir signos de la edad, arrugas o manchas de la piel.</p> <p>Es rica en antocianinas que está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer.</p> <p>Son recomendables para las personas que padecen diabetes.</p> <p>Contiene en altas cantidades tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico.</p> <p>Se cosecha principalmente en el estado de Puebla, Oaxaca y Chiapas.</p> <p>Muestra características morfológicas distintivas y variabilidad en su ciclo de cultivo. Se ha encontrado que las plantas de esta variedad tienen un ciclo de floración y madurez dentro del rango de 100 a 110 días.</p> <p>Sus semillas son pequeñas y su hábito de crecimiento se clasifica como tipo III.</p> |                          |
| Negro | <p>Suele tolerar bajas temperaturas</p> <p>Su cultivo indica la duración de un área foliar.</p> <p>Se cultiva en las tierras altas de Puebla.</p> <p>Color distintivo y su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales.</p> <p>Florece entre cuatro y doce días antes que el frijol común.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Vázquez et al.<br>(2014) |

---

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | <p>Tiene un ciclo de cultivo más largo, con un rendimiento óptimo de semillas alrededor de las 100,000 plantas por ha.</p> <p>Responde favorablemente a la aplicación de biofertilizantes, lo que la convierte en una opción atractiva para zonas donde no se utilizan productos químicos.</p>                                                                                                                                                                                               |
| <b>Beige</b> | <p>Cultivado en zonas templadas y subtropicales de México. (Vázquez et al., 2014)</p> <p>Pertenecen a la semilla del germoplasma del Carso huasteco.</p> <p>Neutralizan compuestos mutagénicos</p> <p>Es uno de los más comunes en México.</p> <p>Presenta un ciclo de cultivo más largo y sus semillas de mayor tamaño.</p> <p>Conserva su ciclo de cultivo prolongado y el tamaño de sus semillas, posiblemente debido a la capacidad de su raíz de "rebrotar" después de las heladas.</p> |

---

### 2.1.3 Características del cultivo

Existen diferentes tipos de ayocote, cada uno expuesto a diferentes factores meteorológicas destacándose las zonas altas, cultivo en zonas templadas y cultivo en zonas subtropicales del país (Pruneda, 2018). Es una planta herbácea trepadora, perene y enredadera, con inflorescencias de hasta 20 cm y más de 20 ramillas fructíferas (Figura 3). Sus flores miden entre 1 y 2 cm, pueden ser de color rojo brillante, escarlata, blancas, moradas o naranjas y raramente bicolors, se identifica

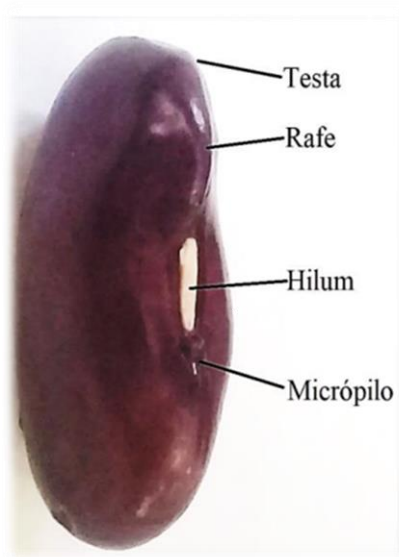
por sus tallos de varios metros de largo que surgen desde una raíz primaria carnosa, gruesa y fuerte, con prominencias con capacidad generar nuevos brotes y aunque en la actualidad existen algunos cultivares que poseen forma arbustiva (Ayala-Garay et al., 2021).



**Figura 3.** Flor y semilla de ayocote (Rosales-Vicelis, 2019).

El ayocote es una leguminosa perenne trepadora adaptada a días largos, que frecuentemente se cultiva como un cultivo anual a pequeña escala. Este cultivo se destina principalmente a la producción de vainas inmaduras, las cuales son comestibles o bien para obtener semillas secas" (Schwember et al., 2017). Asimismo, se puede presentar en dos formas distintas las cuales son la planta anual y la planta bianual. La primera se hace refiere a cuando se siembra un monocultivo de forma temporal e intercalando con maíz. Cada planta que se intercala con el maíz puede ser de guía corta o con plantas trepadoras que pueden madurar tiempo después que el maíz, mientras que la plata bianual, el primer año de siembra está asociado con el maíz y el segundo como monocultivo del nuevo, asociado del maíz o con árboles frutales, aunque también puede encontrarse en las cercas o parcelas agrícolas. Aunado a los aspectos anteriores, la variabilidad genética de los diferentes tipos y especies de *Phaseolus* han sido pérdidas considerables debido a la causa de varios factores (Figura 4), entre los que se pueden mencionar la modernización en la

agricultura, contar con monocultivos de variables modificadas para satisfacer la demanda del consumidor, cambios en el suelo agrícola, uso de cultivos rentables, no cultivo de tierras por abandono, entre otros (Vargas-Vázquez et al., 2011). Entre los principales cultivares, se encuentran los tipos silvestres, de enredadera o trepador, arbustivos, de guía corta y los intermedios (Jacinto-Hernández et al., 2019).



**Figura 4.** Estructura de la semilla de ayocote (Rosales-Vicelis, 2019).

Vázquez et al. (2011) mencionaron que en la actualidad el ayocote representa una alternativa para la producción de alimentos en áreas marginales del altiplano y Valles Altos ubicados en México. Cada una de las generaciones ha heredado una amplia variedad genética y fenotípica obtenida gracias a los agricultores y por ende resulta responsabilidad del ser humano que pase por el proceso de recolección, conservación y caracterización. Como parte de un intento de facilitar su uso y aprovechamiento en programas de mejoramiento genético. El cultivo de *P. coccineus* requiere atención especial para garantizar su salud y rendimiento óptimo, desde el riego hasta la poda, cada aspecto del entorno impacta directamente en las propiedades de estas variedades del ayocote (Gomes, 2023). El análisis mineral revela disparidades notables entre las variedades, subrayando la influencia crítica de

factores ambientales y del suelo en la absorción de minerales. La relación positiva entre el magnesio (Mg) y el potasio (K) destaca la complejidad de los mecanismos de absorción y regulación mineral en estas legumbres (López et al., 2019).

Por otra parte, la germinación de las semillas ocurre en un período de 6 a 16 días, tiene un suelo con niveles de humedad adecuados y temperaturas superiores a los 10 °C. Durante este proceso la semilla absorbe del 50% a 100% de agua para iniciar el crecimiento de la planta, la estructura radicular de la planta de frijol, está compuesta por raíces basales o secundarias, las cuales exhiben un patrón de desarrollo sumamente variado. Esta diversidad permite que el sistema radicular se desarrolle de manera más horizontal o alternativamente, de forma menos extendida pero con una mayor profundidad. Las variaciones gravitrópicas en la raíz confieren a la planta ciertas ventajas significativas, puede ser en la absorción de agua como en sus interacciones competitivas. La importancia de esta estructura de una raíz profunda, de cierta forma brinda a la planta la capacidad de explorar un volumen más extenso del suelo penetrando capas más profundas. Este diseño proporciona una eficiencia mejorada en la absorción de agua y nutrientes, por ello la planta de frijol se beneficia al máximo de sus recursos, destacando su adaptabilidad y capacidad para competir en su entorno (Figura 5) (Magalhaes-Amade et al., 2015).



**Figura 5.** Raíz desarrollada del ayocote (Rosales-Vicelis, 2019).

Las raíces secundarias tienen nódulos en los que crecen bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico del género *Rhizobium*. De igual forma tienen tallos pubescentes cilíndricos, rayados, rodeados de zarcillos, que se vuelven semileñosos al final del ciclo de producción anual. Las hojas miden entre 5-6 cm de ancho en el pecíolo y entre 6-10 cm de largo, con las puntas puntiagudas y todo el margen puntiagudo (FAO, 2016).

En lo que respecta al riego, siendo plantas ávidas de agua, prosperan mejor cuando se las riega con regularidad, especialmente durante las etapas de floración y formación de vainas. El cuidado adecuado incluye atar las jóvenes plántulas a los soportes al principio, para luego permitir que se enrosquen naturalmente alrededor de ellos. Al llegar a la parte superior de los soportes, es beneficioso pellizcar las puntas de crecimiento, fomentando así la producción de más a través de brotes laterales, lo que se recomienda también un riego constante, especialmente en períodos secos y durante la floración (Vargas-Vázquez et al., 2011).

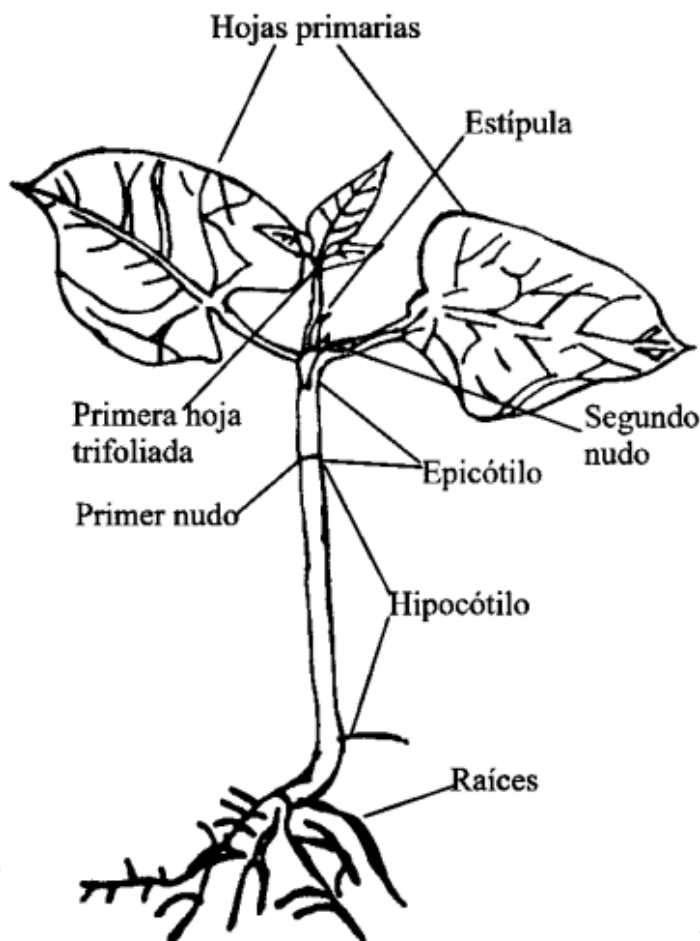
La protección contra babosas y caracoles es esencial para las plantas jóvenes y se puede lograr utilizando métodos como cáscaras de huevo trituradas, aserrín, trampas de cerveza o cinta de cobre (Gomes, 2023). El cultivo de ayocote exhibe distintivas características agronómicas, tales como un amplio tamaño y una notable resistencia a bajas temperaturas, con un rango de 1-5 °C en regiones templadas. Además, demuestra una destacada tolerancia a la salinidad (Rodino et al., 2007; Vázquez et al., 2013; Al-Hassan et al., 2016). Sin embargo, el ayocote se adapta a altitudes entre 1400-2650 msnm, con temperaturas medias anuales de 10-26 °C, precipitaciones de 600-2500 mm anuales y suelos franco arenosos a franco arcillosos con pH de 5-7.5 (Lopez-Martinez, 2020). Su rango óptimo de crecimiento se da entre los 17-23 °C. Así como tolera sequías moderadas, pero es muy exigente en luminosidad, requiriendo más de 6 horas diarias de insolación directa. La cantidad y frecuencia de riego son aspectos cruciales del cuidado del frijol, ya que esta planta consume alrededor de media pulgada de agua diariamente. Es necesario regar regularmente y proporcionar un alimento rico en potasio para asegurar un buen

rendimiento, mientras que estas plantas necesitan mucha agua, el exceso puede llevar a la putrefacción de las raíces, por lo que un equilibrio adecuado es esencial (Gomes, 2023). Escalante-Estrada et al. (2015) mencionaron que la aplicación de nitrógeno (N) se ha identificado como un factor clave para lograr un desarrollo acelerado del área foliar, un aumento en la cobertura del suelo y la captura eficiente de radiación solar, conlleva a un incremento significativo en la producción de biomasa total (BT), la acumulación de materia seca (MS) y un rendimiento superior en la producción de granos.

El fertilizante y abonado también son factores importantes. Aunque las semillas verdes pueden producir nitrógeno, se les debe suministrar un alimento que contenga fósforo y potasio, así como hierro, calcio y manganeso, si no están presentes en el suelo, un equilibrio adecuado es esencial, ya que un exceso de abono puede resultar en un crecimiento exuberante en detrimento de la formación de flores y semillas (Gomes, 2023). En adición, para profundizar en la comprensión de las causas fisiológicas que inciden en el rendimiento del grano a través de la fertilización, se emplean análisis de crecimiento. Estos análisis posibilitan la cuantificación de diversos aspectos cruciales, tales como la velocidad y duración del ciclo del cultivo, la eficiencia en la producción de materia seca, la velocidad de producción de materia seca en cada fase fenológica del cultivo y la distribución en cada órgano de la planta. Estos datos proporcionan una visión detallada de los procesos fisiológicos subyacentes, permitiendo una evaluación más precisa del impacto de la fertilización en el desarrollo y rendimiento del cultivo (Gutiérrez-Rodríguez et al., 2004; Escalante-Estrada et al., 2017).

Con respecto a la poda, se sugiere llevar a cabo esta práctica al final de la temporada de crecimiento, asegurándose de que las vainas hayan madurado antes de realizar cualquier corte. Es fundamental brindar un cuidado apropiado, que incluya la rotación de cultivos, para preservar la salud de estas plantas y prevenir enfermedades como el moho y la pudrición radical. El equilibrio adecuado de nutrientes y la calidad del suelo impactan directamente en el sabor, la textura y la

calidad nutricional de las semillas cosechadas. Asimismo, las temperaturas ideales y las condiciones de humedad relativa son cruciales, especialmente para variedades como el frijol negro, que pueden ser más sensibles a ciertos extremos climáticos (Figura 6). La influencia del entorno abarca todos los aspectos del cultivo de las variedades de frijol café, negro, lila y beige. Desde la fase inicial de siembra hasta la cosecha y el procesamiento, cada elemento del entorno ejerce un impacto directo en las propiedades organolépticas, nutricionales y agronómicas de las semillas, destacando la importancia crítica de entender y gestionar cuidadosamente las condiciones ambientales para garantizar la calidad y consistencia deseada en estas variedades de frijol (Gomes, 2023).



**Figura 6.** Estructura de la planta de ayocote (Rosales-Vicelis, 2019).

### **2.1.4 Diversidad genética y morfológica**

El ayocote (*P. coccineus*) es una especie prominente dentro del género *Phaseolus*, el cual cuenta con al menos 77 especies (Salazar et al., 2021). La diversidad genética del frijol ayocote, definida como las variaciones heredables entre individuos y poblaciones, es crucial para su evolución, supervivencia y adaptación. Esta diversidad se manifiesta en variaciones en secuencias de ADN, características bioquímicas, propiedades fisiológicas y características morfológicas. Para estudiar esta variabilidad genética, se emplean descriptores morfológicos, citogenéticos, bioquímicos y moleculares (López, et al., 2018). La diversidad genética y variabilidad fenotípica de esta leguminosa continúa concentrada en su región de domesticación original (Salazar et al., 2021).

La variabilidad morfológica del ayocote no solo es evidente en su ciclo biológico, sino también en características como el color de las semillas, el tamaño de las vainas y el número de semillas. Los genotipos de ayocote se pueden dividir en dos grupos principales: los precoces, que se caracterizan por tener semillas y vainas más pequeñas y un mayor número de semillas y los tardíos, que exhiben semillas y vainas más grandes pero con menos semillas. Estas diferencias se relacionan con la presencia de polinizadores, la temperatura durante la floración y las preferencias de los agricultores y consumidores locales. El análisis de componentes principales revela la relación entre varias características morfológicas del ayocote, como el color que incluye Café, Negro, Lila y Beige (Figura 7), el patrón del moteado de las semillas, la forma de la semilla y las características de la vaina, estos componentes permiten comprender mejor la variabilidad genética y morfológica de esta especie (Vargas et al., 2011). Gran parte de la diversidad morfológica actual del ayocote es producto de su domesticación en el complejo montañoso del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental en el centro de México (Salazar et al., 2021).

Diversos estudios han abordado la diversidad genética del frijol ayocote, enfocándose en atributos morfológicos y agronómicos. López-Báez et al. (2018) identificaron variaciones en características cualitativas y agronómicas. Por otra parte,

Vargas-Vázquez et al. (2011) indicaron que la diversidad morfológica del frijol ayocote en el Estado de México se encuentra estrechamente asociado con las formas de intercambio de semillas en mercados regionales y de uso en el tipo de asociación maíz-frijol. Asimismo, Vázquez et al. (2014) analizaron materiales del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental, encontrando que el clima en el área de domesticación del frijol ayocote en el centro de México contribuye significativamente a la generación de diversidad fenológica y tamaño de semilla.



**Figura 7.** Variedades de ayocote.

La diversidad genética del ayocote se deriva de la presencia de genes que confieren resistencia a diversas enfermedades, la tolerancia a plagas y factores abióticos, estableciendo así un espectro amplio de características beneficiosas para la adaptación y el rendimiento en condiciones agrícolas como se ha evidenciado a través de la identificación de secuencias genómicas específicas que otorgan resistencia. La variabilidad genética del ayocote ofrece a los agricultores opciones adaptativas para mitigar los impactos negativos de infestaciones de insectos u otros organismos dañinos (SIAP, 2023).

La apreciación de la variabilidad genética del ayocote representa un activo invaluable que las generaciones actuales han heredado, ya que este legado genético y fenotípico proviene de la labor de agricultores, a lo largo del tiempo, han contribuido a la domesticación de esta especie, lo que ha resultado en una amplia diversidad de características y propiedades. Una responsabilidad compartida es recolectar, conservar y caracterizar esta diversidad genética con el fin de facilitar su utilización y explotación en programas de mejoramiento genético, de igual forma la conservación de esta variabilidad se considera crucial para fortalecer la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la producción agrícola. Uno de los peligros que incluyen la modernización de la agricultura, es que a menudo se promueve el monocultivo de variedades mejoradas destinadas a satisfacer las demandas específicas de los consumidores en busca de productos uniformes (Vargas-Vázquez et al., 2011). El ayocote se distingue por su capacidad de crecer en altitudes superiores a 1400 metros sobre el nivel del mar, en climas templados y con altos niveles de precipitación, este perfil ambiental específico ha contribuido significativamente a su diversificación, por su proceso de mejoramiento a lo largo del tiempo, ha resultado en el desarrollo de diversas variedades, con cruces realizadas por agricultores para aumentar rendimientos, resistencia a enfermedades y adaptación a variadas condiciones ambientales (Salazar et al., 2021).

### **2.1.5 Composición nutricional del ayocote**

El contenido de macronutrientes y micronutrientes en las diversas variedades de ayocote (*P. coccineus* L.) ofrece una perspectiva integral de su composición nutricional, resaltando la contribución de estas leguminosas a la promoción de una dieta saludable y equilibrada para mejorar la salud humana (López et al., 2019). El ayocote es rico en proteína, fibra y carbohidratos, sus propiedades suelen ser variables dependiendo del entorno durante el desarrollo del cultivo. Durante su proceso de lavado y cocción cada uno de los nutrientes que lo componen pueden llegar a disminuir (Pruneda, 2018). El almidón constituye entre el 35-55% de las semillas maduras de ayocote, con una pequeña proporción de azúcares simples. Los

niveles de fibra dietética varían entre 60-120 g/kg, superiores al frijol común e importantes para la salud gastrointestinal. Respecto a vitaminas y compuestos bioactivos, las semillas de ayocote son fuentes apreciables de tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico (Alcázar-Valle et al., 2020).

En términos de contenido proteico, las variedades de Ayocote exhiben niveles que oscilan entre 180.7 y 189.3 g/kg. Esta observación subraya su papel como una fuente significativa de proteínas, un componente fundamental en la construcción y reparación de tejidos. Referente al contenido lipídico, aunque generalmente bajo, presenta variaciones entre 9.0 g/kg y 37.8 g/kg. Este hecho destaca la versatilidad del ayocote como una opción dietética baja en grasas, contribuyendo así a estrategias nutricionales orientadas a la gestión del peso y la salud cardiovascular. Con respecto al análisis de aminoácidos revela una notable concentración de leucina y ácido glutámico en estas leguminosas, subrayando la alta calidad de las proteínas que ofrecen. La identificación de aminoácidos esenciales en cantidades limitadas, como cisteína y metionina, que podrían beneficiarse de estrategias de complementación dietética. El alto contenido de compuestos liposolubles como esteroides vegetales y tocoferoles le confiere propiedades antioxidantes y antiinflamatorias al aceite de las semillas de ciertos cultivares de ayocote (Alcázar-Valle et al., 2020).

### **2.1.6 Aplicación y usos en la Industria alimentaria**

El ayocote tiene varios usos y aplicaciones en la industria alimentaria debido a su valor nutricional, versatilidad y potencial para la formulación de alimentos nutritivos, sustentables y funcionales que satisfagan las demandas de los consumidores. Diversos estudios han explorado la incorporación de harina y otros derivados de ayocote en una amplia variedad de productos por su valor nutricional, atributos sensoriales y de textura que aportan. El ayocote se utiliza en la preparación de platillos en diversas cocinas regionales, especialmente en México y América Latina. Pueden cocinarse de diversas formas, como en guisos, sopas, ensaladas y platos

principales. Su sabor distintivo y textura hacen que sea una adición sabrosa a estas preparaciones. Los granos de ayocote también se pueden moler para producir harina, que se utiliza en la elaboración de diferentes productos alimentarios, como panes, tortillas y productos horneados.

Una de las aplicaciones más consolidadas es en panificación y repostería, Lopez-Martinez & Gonzalez (2022) elaboraron pan tipo sándwich sustituyendo hasta un 15% de la harina de trigo por harina de ayocote germinado. Los panes suplementados registraron aumentos significativos en proteína, fibra y compuestos fenólicos, así como mayor retención de humedad y vida útil, en comparación a un pan control. Similares mejoras en el perfil nutrimental se observaron al reemplazar un 10% de la harina de trigo por harina de ayocote en la formulación de galletas de avena, las galletas suplementadas resultaron más crocantes y obtuvieron una mayor aceptación sensorial por parte de panelistas no entrenados (Pedrali et al., 2022).

El ayocote también ha demostrado su utilidad para enriquecer alimentos tradicionales de alto consumo como las tortillas, Sánchez-Villa et al. (2020) suplementaron masa nixtamalizada con una mezcla de proteínas aisladas de ayocote y verdolaga (6%). Las tortillas enriquecidas aumentaron significativamente su contenido de proteína (10-12% vs 4.5% en tortilla control) y fueron bien aceptadas por consumidores. Los compuestos bioactivos del ayocote, como antocianinas, también han motivado el desarrollo de nuevos ingredientes funcionales y alimentos saludables. Por otra parte, Salmeán et al. (2019) formularon una bebida nutracéutica combinando harinas de maíz chapalote y ayocote morado, reportando efectos antioxidantes, antihipertensivos y protectores de la función endotelial.

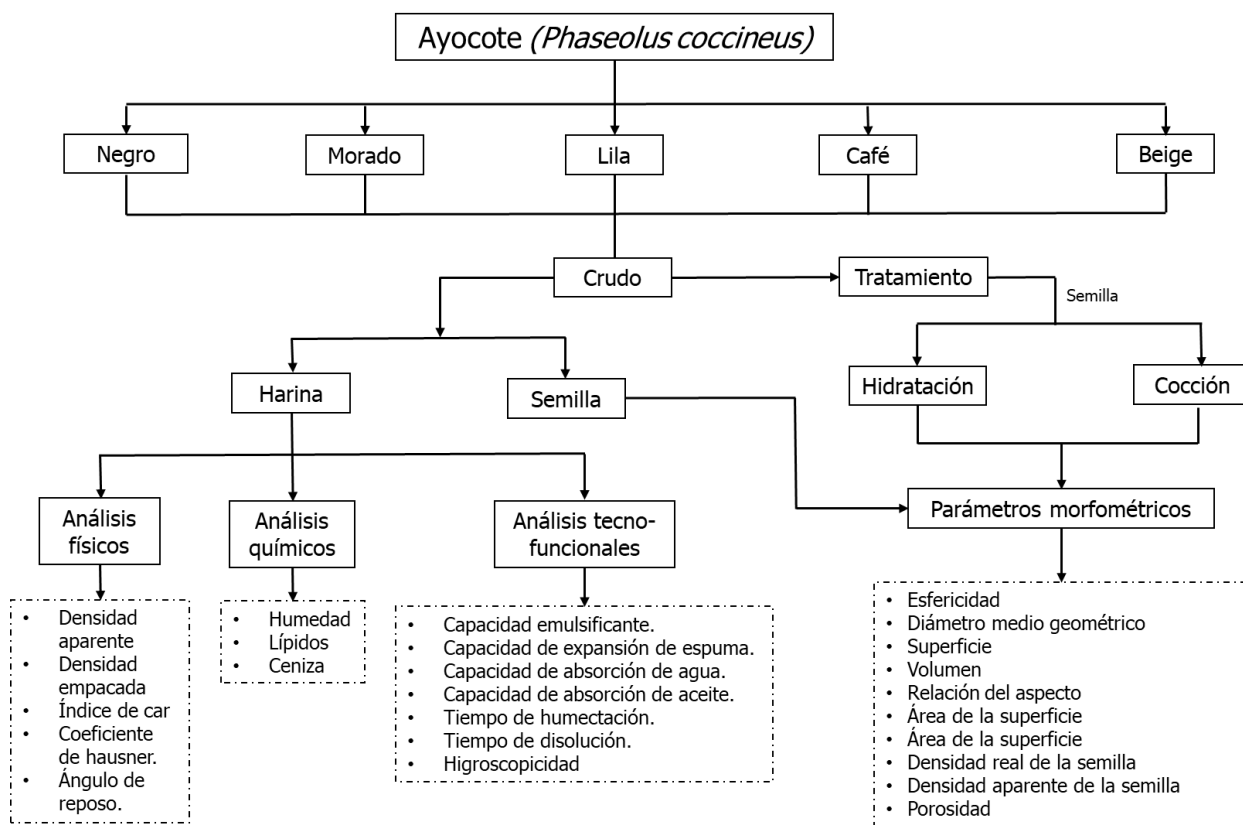
Los granos de ayocote se pueden enlatar o conservar para su uso posterior. Esto facilita su almacenamiento y transporte, permitiendo su disponibilidad fuera de la temporada de cosecha. La versatilidad del ayocote lo hace adecuado para la inclusión en alimentos listos para consumir, como platos precocinados, sopas enlatadas y productos envasados. Debido a su contenido nutricional, el ayocote se utiliza como una fuente importante de proteína vegetal en dietas vegetarianas y veganas. Su

combinación de proteínas, fibra y otros nutrientes lo convierte en un componente valioso para dietas equilibradas. Los granos de ayocote, una vez cocidos, son ideales para ensaladas y platos fríos. Aportan una textura firme y un color llamativo a estas preparaciones (Salazar et al., 2021).

# **Capítulo III**

## **Desarrollo y metodología**

### 3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas



**Figura 8.** Diagrama experimental de las variedades de ayocote.

#### 3.1.1 Obtención de materia prima

El ayocote se adquirió del mercado central del municipio de Teziutlán, localizado en la parte noroeste del Estado de Puebla (Figura 9). Se clasificó de acuerdo al color en 5 variedades (negro, morado, lila, café, y beige), se limpiaron para eliminar impurezas o material extraño (agujeros, frijoles rotos, insectos dentro del frijol) y poder así garantizar una homogeneidad con respecto al tamaño, forma y sus dimensiones. Finalmente se almacenaron en frascos herméticos de plástico en refrigeración (8 °C).



**Figura 9.** Selección y clasificación de la materia prima.

### **3.1.2 Obtención de la harina de Ayocote**

El ayocote se lavó y se extendió en una bandeja hasta que se secó (1 h aproximadamente). Posteriormente, se pasaron por un molino de mano y una licuadora (OSTER) para obtener un tamaño de partícula homogéneo (Figura 10).



**Figura 10.** Obtención de harina: a) Frijol quebrantado; b) Frijol de partícula homogénea.

## **3.2 Procesamiento de la semilla**

### **3.2.1 Proceso de hidratación**

Se tomaron 150 g de semillas de cada variedad de ayocote (negro, morado, lila, café, beige). Posteriormente, se adicionaron 450 mL de agua destilada y se dejaron hidratar durante 24 h a una temperatura de 25 °C (Figura 11) (Abu-Ghannam & Mckennab, 1997).



**Figura 11.** Proceso de hidratación de semillas de ayocote.

### **3.2.2 Tratamiento térmico**

Después de estar hidratado durante 24 h, se llevó acabo un tratamiento de cocción, se colaron y se volvió adicionar 450 mL de agua destilada, el tiempo de cocción fue de 1h/10 min (Kinyanjui et al., 2015).

### 3.3 Determinación de parámetros morfométricos de la semilla

#### 3.3.1 Longitud, ancho y grosor de la semilla

Se tomaron 100 semillas de ayocote por variedad a las cuales se les midió longitud (L), ancho (W), grosor (T) y el peso (g). Para la obtención de las medidas se utilizó un Vernier digital (Steren/HER-411/Ciudad de México) (Figura 12). Los valores obtenidos (L, W, T por sus siglas en inglés) se emplearon para calcular los descriptores morfométricos: diámetro medio geométrico ( $D_g$ ), esfericidad, superficie(S), densidad real de las semillas ( $P_g$ ), densidad de la semilla aparente ( $P_b$ ) y porosidad ( $\varepsilon$ ) mediante las ecuaciones propuestas por Oyedeji et al. (2021) para cada una de las variedades con y sin tratamiento (Crudo, hidratado y cocido).



**Figura 12.** Medición de propiedades lineares.

#### 3.3.2 Diámetro medio geométrico

El diámetro medio geométrico ( $D_g$ ), se determinó mediante la Ecuación 1 (Oyedeji et al., 2021):

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: L es Longitud (mm); W es ancho (mm); T es Grosor (mm).

### 3.3.3 Esfericidad

La esfericidad de las semillas se determinó mediante la Ecuación 2 (Oyedeji et al., 2021):

$$\Phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde= L es Longitud (mm); W es Ancho (mm); T es Grosor (mm).

### 3.3.4 Superficie (S)

La superficie se calculó, mediante la Ecuación 3 (Oyedeji et al., 2021):

$$S = \pi D_m^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde=  $D_m$  es Diámetro medio geométrico;  $\pi$  es 3.1416

### 3.3.5 Densidad real de las semillas ( $P_g$ )

La densidad real de las semillas se calculó mediante el método desplazamiento de agua. Se colocaron 300 mL de agua en una probeta graduada de 1000 mL y luego se vertieron 30 g de cada variedad en el agua de la probeta (Figura 13). Posteriormente se registró la cantidad de agua desplazada, mediante la Ecuación 4 (Oyedeji et al., 2021).

$$P_g = \frac{\text{Peso de semillas (g)}}{\text{Volumen del agua desplazado (ml)}} \quad \text{Ecuación 4}$$



**Figura 13.** Determinación de densidad real de semilla.

### 3.3.6 Densidad de la semilla aparente (Pb)

La densidad de la semilla aparente se determinó pesando una probeta, después se taro y se agregó el ayocote hasta los 50 mL. Posteriormente, se identificó mediante la Ecuación 5 (Figura 14):

$$Pb = \frac{\text{Masa de la semilla en la probeta(g)}}{\text{Volumen de la probeta (mL)}} \quad \text{Ecuación 5}$$



**Figura 14.** Determinación de densidad de la semilla aparente.

### 3.3.7 Porosidad

La porosidad  $\varepsilon$  de la semilla es la fracción del espacio en la semilla a granel que no está ocupada. Se determinó utilizando la Ecuación 6 (Oyedeki et al., 2021):

$$\varepsilon = \frac{P_g - P_b}{P_g} \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde=  $P_g$  es densidad real de la semilla y  $P_b$  es densidad aparente de la semilla.

Las siguientes propiedades se determinaron se acuerdo a lo descrito Wani et al. (2017).

### 3.3.8 Relación del aspecto

La relación del aspecto se generó, mediante la Ecuación 7 (Wani et al., 2017):

$$R_a = \frac{W}{T} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:  $W$  es ancho (mm);  $T$  es grosor (mm).

### 3.3.9 Volumen de la semilla

El volumen,  $V$  ( $\text{mm}^3$ ), de las semillas se calculó utilizando la Ecuación 8 (Wani et al., 2017):

$$V_g = \frac{\pi \cdot W T L^2}{6 \left[ 2L - (WT)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde=  $L$  es longitud (mm);  $W$  es ancho (mm);  $T$  es grosor (mm).

### 3.3.10 Área de la superficie de las semillas.

Para calcular el área de la superficie de la semilla, se implementó la Ecuación 9 (Wani et al., 2017):

$$S = \frac{\pi BL^2}{2L-B} \quad \text{Ecuación 9}$$

Cuando= B es  $(WT)^{1/2}$  ; L es Longitud (mm).

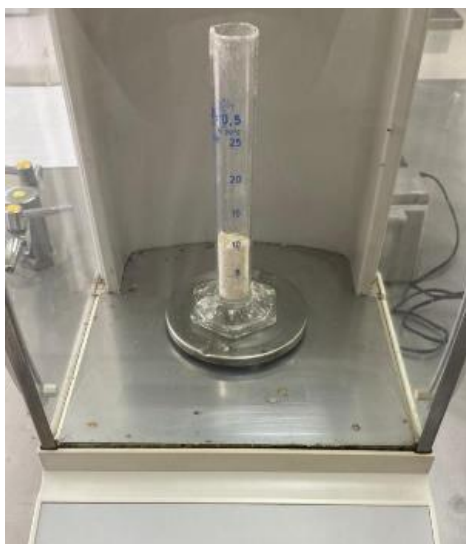
### 3.4 Propiedades Físicas

#### 3.4.1 Densidad aparente (Da)

La densidad aparente (Da) de acuerdo con Porras-Saavedra et al. (2015), es una propiedad importante de polvos, el cual se define como la masa del polvo, dividida entre el volumen aparente y es expresada en  $(g/cm^3)$ . La Da se calculó pesando una probeta de 25 mL (tarar). Posteriormente, se agregó la harina sin compactar hasta los 10 mL, se registró el peso de la muestra y el volumen ocupado de la probeta (Figura 15), dicho proceso se calculó mediante la Ecuación 10:

$$Da = \frac{M}{V} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde= M es la masa de la harina; V es volumen de la harina.



**Figura 15.** Determinación de densidad aparente.

### 3.4.2 Densidad empacada (De)

La De es la cantidad de masa total del polvo con respecto al volumen del polvo compactado. El volumen de la muestra de harina se obtuvo colocando en una probeta de 25 mL (tarar), así mismo se fue agregando la muestra hasta llegar a los 10 mL (Figura 16). Posteriormente, se calculó mediante la Ecuación 11 (Porras-Saavedra et al., 2015).

$$De = \frac{M}{V}$$

Ecuación 11

Donde= M es la masa de la harina; V es volumen de la harina.



**Figura 16.** Densidad empacada de las distintas harinas de ayocote.

La fluidez de las variedades de ayocote se ha evaluado en base a dos parámetros:

### 3.4.3 Índice de car

El índice de Car (IC), se calculó mediante la Ecuación 12 (Porras-Saavedra et al., 2015):

$$IC = \frac{De - Da}{Da} * 100$$

Ecuación 12

Donde= De es densidad empacada; Da es densidad aparente.

### 3.4.4 Coeficiente de Hausner

Se determinó mediante el cociente de la densidad aparente y la densidad empacada (Porras-Saavedra et al., 2015). El CH se determinó mediante la Ecuación 13.

$$CH = \frac{D_e}{D_a} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde=  $D_e$  es densidad empacada;  $D_a$  es densidad aparente.

### 3.4.5 Ángulo de reposo

El ángulo de reposo de la harina según Kamath et al. (1994) es una medida empírica de la fluidez relativa de sólidos particulados y es significativamente influenciada por factores como el contenido de humedad, tamaño de partículas, tiempo de almacenamiento, entre otros. Para la determinación de esta metodología se pesaron 5 g de muestra, se agregó a un embudo de plástico, dicho embudo fue puesto a una altura de 10 cm de alto, por el cual se dejó caer la harina en el embudo sobre la superficie, para obtener la medida del diámetro y la altura del cumulo de la harina (Figura 17). Dicho proceso se calculó mediante la Ecuación 14:

$$\text{Angulo } \theta = \arctan \frac{A}{r} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde=  $A$  esa altura;  $r$  es diámetro.



**Figura 17.** Determinación del ángulo de reposo.

### 3.5 Análisis químico

El análisis químico proximal es la determinación de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas y proteína de una matriz alimentaria. Los métodos se determinaron con base a los métodos oficiales de Horwitz & Latimer (2000).

#### 3.5.1 Determinación de humedad

El contenido de agua de la harina de ayocote se determinó colocando el material a peso contante (24 h) a una temperatura de 130 °C. Posteriormente, se colocaron en un desecador (30 min) hasta llegar a una temperatura ambiente (Figura 18), después se agregó 1 g de harina de ayocote y se colocaron nuevamente al horno de secado (Quincy Lab. Inc.) (24 h), las pruebas se realizaron por triplicado de todas las variedades. Por último, se registró el peso final y se determinó mediante la siguiente ecuación y se reportó el promedio  $\pm$  la desviación estándar de cada variedad, mediante la Ecuación 15 (Porras-Saavedra et al., 2015).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde=  $P_i$  es peso inicial;  $P_f$  es peso final.



**Figura 18.** Determinación del contenido de humedad.

### 3.5.2 Contenido de lípidos por el método de Soxhlet.

El contenido de lípidos se determinó mediante la Norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013. Consistió en meter los matraces de bola y dedales a peso constante (24 h). Posteriormente, se registra el peso del matraz, después de pesa 1 g de muestra en un papel filtro (dedal). La extracción se realizó con hexano, en el cual se trabajó durante el lapso de 5 h (Figura 19). El hexano que se utilizó se volvió a recuperar con un rota vapor (BUCHI R-200/ Modelo: CH-9230/ Suiza). Las muestras se secaron a 100 °C (30 min) y registró el peso final. Las pruebas se realizaron por triplicado de cada variedad y se reportó el promedio  $\pm$  desviación estándar. El porcentaje de lípidos se determinó mediante la Ecuación 16.

$$\% \text{ de lípidos} = \frac{BG-B}{W} * 100 \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde= B es el peso del matraz de bola vacío; BG es el peso del matraz de bola más los lípidos; W es el peso de la muestra.



**Figura 19.** Extracción de grasa de ayocote.

### 3.5.3 Contenido de ceniza

El contenido de ceniza se determinó mediante la metodología propuesta por Márquez-Siguas (2014). El método consistió en colocar los crisoles de porcelana a peso contante (24 h) a una temperatura de 100 °C. Posteriormente, se colocaron en un desecador (30 min), se registró el peso y se agregó 1 g de harina de ayocote y se precalcinaron en una parrilla de calentamiento (Figura 20), hasta que dejara de desprender humo, por último, se trasladaron los crisoles a una mufla a una temperatura de 550-600 °C en un lapso de 4 h. Las pruebas se realizaron por triplicado y se reportó el promedio  $\pm$  desviación estándar. El porcentaje de ceniza se determinó mediante la siguiente Ecuación 17.

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{P-p}{M} * 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

Dónde= P es el peso del crisol con ceniza (g); p es el peso del crisol vacío a peso contante (g); M es el peso de la muestra (g).



**Figura 20.** Determinación de cenizas en a mufla.

### **3.6 Caracterización de harinas**

Las propiedades tecno-funcionales son propiedades físico-químicas que proporcionan información sobre cómo un ingrediente en particular (proteína, lípidos o carbohidrato) podría comportarse en una matriz alimentaria. Dichas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales y de las interacciones que se establecen entre ellos (Aguilera, 2009).

#### **3.6.1 Propiedades Tecno-funcionales de las distintas variedades de ayocote**

#### **3.6.2 Capacidad de adsorción de agua y aceite**

Se utilizó el método de Beuchat propuesto por Ferreira et al. (2018) con algunas modificaciones. Se agregó 1 g de harina de ayocote y se mezcló con 10 mL de agua destilada durante 30 s. Después las muestras se dejaron en reposo durante 30 min a temperatura ambiente, posteriormente se centrifugo a 3000 rpm durante 30 min y se midió el volumen del sobrenadante en una probeta de 25 mL (Figura 21), la capacidad de absorción agua se expresó en mL de agua/ mL muestra. Con la misma

metodología que se empleó, fue utilizada para la capacidad de absorción de aceite y se expresó como mL de aceite/ mL muestra.



**Figura 21.** Capacidad de absorción de agua y aceite.

### 3.6.3 Capacidad emulsificante

Se siguió la metodología descrita por Alfaro-Díaz et al. (2021) con algunas modificaciones. Se prepararon dispersiones de harina al 5% (p/v) y se ajustaron a un pH 3.0, 6.0 y 9.0, utilizando HCl al 0.1 M, las cuales se dejaron en agitación constante durante 16 h en 80 rpm a 23 °C (Figura 22). Posteriormente, en vasos de precipitado se agregaron 60 mL de solución de la harina y 60 mL de aceite de maíz, se homogeneizaron durante 3 min con un mixer y se colocaron en tubos de centrifuga de 50 mL, las emulsiones se centrifugaron a 3100 rpm durante 5 min. Las soluciones se realizaron por triplicado y se empleó mediante la Ecuación 18.

$$CE = \frac{V_1}{V_0} * 100 \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde=  $V_1$  es el volumen de la fase emulsionada (mL);  $V_0$  es el volumen total de la solución (mL).



**Figura 22.** Determinación de la capacidad emulsificante.

### 3.6.4 Capacidad espumante

La capacidad espumante se empleó por el método de Ferreira et al. (2018), donde se realizó con ciertas modificaciones, se prepararon 50 mL de una suspensión de proteína al 5% (p/v). Posteriormente, se puso en agitación con un mixer durante un tiempo de 6 min. Consecutivamente, se pesaron 50 mL de espuma en un vaso de precipitado de 50 mL (Figura 23). Dicho método se empleó mediante la siguiente Ecuación 19.

$$\% \text{ C. E. E.} = \frac{\text{Peso de dispersion sin batir} - \text{Peso de los 50 mL de espuma}}{\text{Peso de Iso 50 mL de espuma}} * 100 \quad \text{Ecuación 19}$$

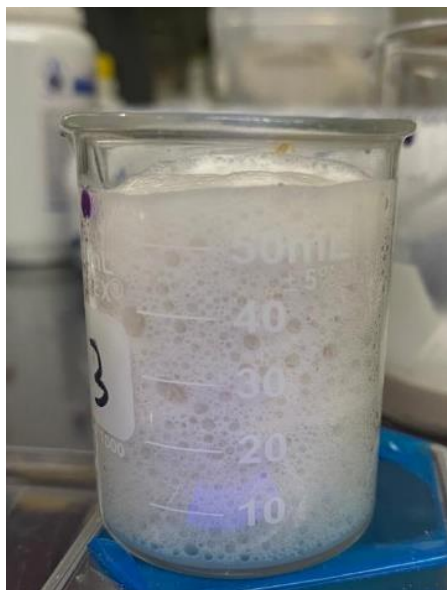


Figura 23. Determinación de la capacidad espumante de la harina de ayocote.

### 3.6.5 Tiempo de humectación

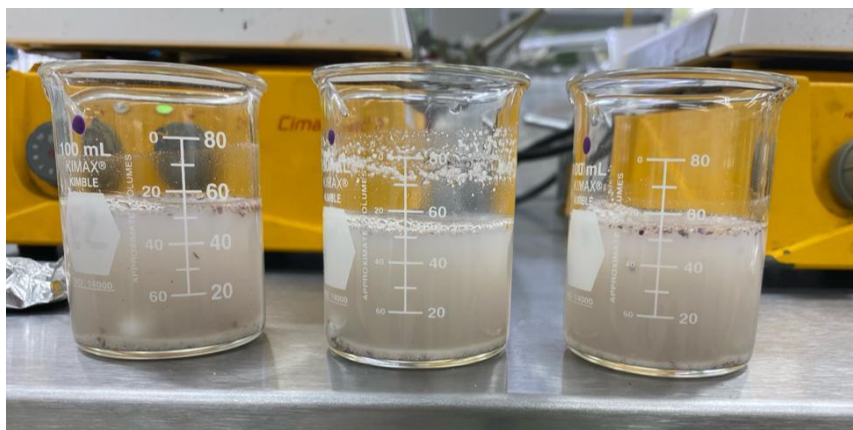
La humectación del polvo se determinó mediante el siguiente método. Se agregó 1 g de harina en 10 mL de agua destilada y el tiempo en el cual todas las partículas se sumergen en el medio acuoso es llamado “tiempo de humectación”. Para cada muestra, la medición se realizó por triplicado como se muestra en la Figura 24 (Alegría-León & Farrera-Olea, 2022).



Figura 24. Tiempo de humectación de ayocote.

### 3.6.6 Tiempo de disolución

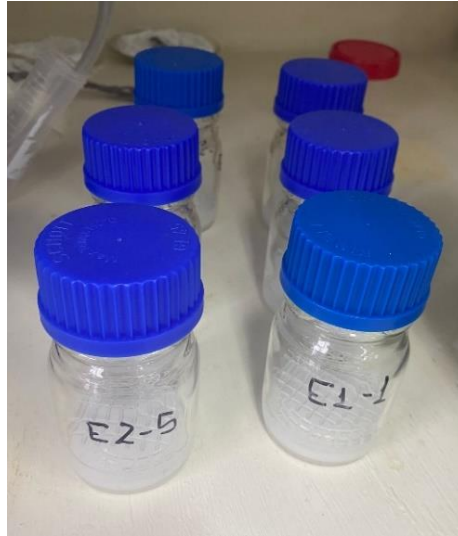
El tiempo de disolución, se realizó en un vaso de precipitado de 100 mL, agregando 2 g de la harina de ayocote a 50 mL de agua destilada (Figura 25) a una temperatura ambiente (22 °C). Se mezcló en una parrilla con agitación magnética en el nivel 8, utilizando una barra magnética. El tiempo requerido para disolver completamente fue considerado como el tiempo de disolución del polvo (Alegría-León & Farrera-Olea, 2022).



**Figura 25.** Tiempo de disolución.

### 3.6.7 Higroscopicidad

La higroscopicidad se determinó de acuerdo al método propuesto por Rodríguez (2004). Para ello, se colocó 1 g de muestra en un contenedor a 25 °C con una solución saturada de NaCl (Figura 26). Después de 7 días las muestras fueron pesadas y la higroscopicidad se expresó como g de humedad absorbida por 100 g de sólidos secos (g/100g).



**Figura 26.** Higroscopicidad de las distintas harinas de ayocote.

### 3.7 Análisis estadísticos

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) con un 95% de confiabilidad y la diferencia significativa mediante una prueba de Tukey en el Software Kaleida Graph Versión 4.0 (Estados Unidos), el cual indica si existe alguna igual o diferencia entre las variedades de ayocote en cada análisis realizado (Figura 27).

|    | Dg_BEIGE | AJ | S_NEGRO | S_MORADO | S_CAFE | S_LILA | S_BEIGE | AP | Vg_NEGRO | Vg_MORADO | Vg_CAFE | Vg_LILA | Vg_BEIGE | AV |
|----|----------|----|---------|----------|--------|--------|---------|----|----------|-----------|---------|---------|----------|----|
| 0  | 12.127   |    | 333.64  | 434.43   | 433.37 | 423.90 | 461.98  |    | 409.08   | 606.54    | 618.72  | 558.89  | 635.46   |    |
| 1  | 11.432   |    | 364.40  | 495.04   | 382.29 | 449.75 | 410.54  |    | 458.58   | 696.29    | 498.11  | 615.11  | 538.17   |    |
| 2  | 10.106   |    | 390.55  | 394.95   | 293.52 | 605.40 | 320.87  |    | 472.53   | 535.30    | 330.12  | 973.58  | 389.76   |    |
| 3  | 11.566   |    | 352.13  | 448.81   | 450.32 | 387.52 | 420.29  |    | 418.13   | 620.73    | 630.90  | 519.21  | 542.53   |    |
| 4  | 11.606   |    | 413.86  | 391.13   | 457.80 | 514.08 | 423.17  |    | 531.04   | 490.80    | 654.68  | 748.37  | 541.71   |    |
| 5  | 8.5262   |    | 336.00  | 322.05   | 360.18 | 411.27 | 228.49  |    | 395.92   | 396.22    | 450.80  | 536.38  | 211.63   |    |
| 6  | 9.5165   |    | 461.70  | 358.34   | 455.42 | 470.77 | 284.51  |    | 667.36   | 485.28    | 663.83  | 667.39  | 308.50   |    |
| 7  | 9.3444   |    | 287.61  | 201.04   | 355.43 | 393.23 | 274.31  |    | 310.98   | 184.13    | 436.86  | 506.83  | 293.68   |    |
| 8  | 9.6637   |    | 465.62  | 315.31   | 541.53 | 330.75 | 293.38  |    | 667.60   | 359.39    | 811.61  | 392.83  | 312.43   |    |
| 9  | 9.3345   |    | 469.81  | 378.68   | 334.18 | 376.26 | 273.74  |    | 671.62   | 466.44    | 401.75  | 503.08  | 307.60   |    |
| 10 | 11.590   |    | 434.91  | 523.29   | 444.44 | 424.13 | 422.01  |    | 600.98   | 743.11    | 637.33  | 568.49  | 575.46   |    |
| 11 | 11.844   |    | 369.82  | 437.83   | 395.55 | 422.65 | 440.70  |    | 460.60   | 620.08    | 502.18  | 561.25  | 600.80   |    |
| 12 | 9.3736   |    | 315.16  | 440.11   | 409.63 | 539.23 | 276.03  |    | 352.99   | 569.88    | 517.27  | 844.48  | 294.63   |    |
| 13 | 10.191   |    | 330.07  | 330.78   | 391.48 | 374.50 | 326.28  |    | 389.89   | 397.62    | 499.43  | 481.78  | 401.89   |    |
| 14 | 11.626   |    | 482.06  | 393.01   | 486.09 | 439.58 | 424.60  |    | 675.39   | 511.75    | 709.31  | 577.41  | 557.17   |    |
| 15 | 11.413   |    | 313.52  | 352.16   | 384.92 | 463.98 | 409.22  |    | 352.09   | 422.26    | 483.10  | 628.00  | 559.26   |    |
| 16 | 11.342   |    | 347.93  | 521.28   | 422.44 | 403.77 | 404.11  |    | 432.09   | 791.31    | 578.68  | 507.15  | 530.36   |    |
| 17 | 10.456   |    | 302.47  | 363.52   | 333.99 | 543.96 | 343.48  |    | 336.28   | 453.15    | 393.80  | 825.19  | 418.75   |    |
| 18 | 10.071   |    | 323.97  | 341.03   | 366.48 | 435.98 | 318.63  |    | 396.69   | 425.76    | 447.20  | 595.24  | 366.15   |    |
| 19 | 10.137   |    | 330.35  | 396.98   | 394.05 | 362.26 | 322.85  |    | 383.51   | 496.44    | 497.27  | 447.08  | 369.52   |    |
| 20 | 11.542   |    | 518.37  | 371.35   | 400.60 | 461.30 | 418.50  |    | 766.18   | 488.77    | 508.84  | 658.97  | 558.82   |    |
| 21 | 12.613   |    | 417.83  | 367.19   | 352.84 | 451.45 | 499.79  |    | 565.21   | 464.92    | 443.21  | 653.23  | 756.87   |    |
| 22 | 10.149   |    | 442.26  | 421.50   | 384.76 | 377.11 | 323.61  |    | 612.84   | 564.09    | 487.53  | 468.88  | 387.02   |    |
| 23 | 11.174   |    | 384.56  | 322.99   | 471.61 | 375.20 | 392.24  |    | 493.96   | 384.05    | 661.14  | 467.75  | 493.25   |    |
| 24 | 11.119   |    | 397.94  | 388.36   | 321.95 | 505.70 | 388.42  |    | 501.43   | 481.84    | 372.94  | 744.33  | 519.17   |    |

**Figura 27.** Análisis estadístico de las variedades de ayocote.

# **Capítulo IV**

## **Resultados**

## 4. Resultados

### 4.1 Propiedades morfométricas de la semilla de ayocote

Los parámetros morfométricos se determinaron en los diferentes tratamientos al que se sometió las diversas variedades de ayocote. En la Tabla 2 se muestran los resultados de las 5 variedades de *P. coccíneos* en estado crudo. Jacinto-Hernández et al. (2019) no encontraron correlación entre el color de la semilla de ayocote y su composición. Sin embargo, sí descubrieron que el tamaño de la semilla tiene un impacto significativo en su composición. En concreto, observaron que las semillas de mayor tamaño, tienen un mayor contenido de azúcar y un menor contenido de proteínas. Es importante mencionar que al obtener datos como el largo, ancho y espesor de las semillas como el frijol ayocote, fue posible calcular datos como esfericidad ( $\phi$ ), diámetro medio geométrico ( $D_m$ ), área de superficie ( $S_a$ ), volumen ( $V_g$ ), relación de aspecto ( $A_r$ ), entre otros. En el estudio realizado por Mazhar et al. (2013), encontraron que el diámetro medio geométrico y el área de superficie de las semillas, son características físicas importantes de los materiales agrícolas, estando determinados por el largo, el ancho y el espesor. Los frijoles de ayocote exhibieron variaciones significativas en su largo, ancho y espesor, oscilando entre 15.53 a 17.00 mm, 7.01 a 7.78 mm y 10.72 a 11.34 mm, respectivamente. Las dimensiones físicas de las semillas negras de *P. coccineus* fueron documentadas por Alcázar-Valle et al. (2020) con 14.09 mm de largo, 10.37 mm de ancho y 6.40 mm de espesor. De manera similar, Alcázar-Valle et al. (2020) proporcionaron mediciones para semillas de ayocote, indicando un rango de 15.60-16.30 mm de largo, 10.50-11.00 mm de ancho y 5.80-6.90 mm de espesor en semillas de color morado.

El frijol de ayocote color lila fue el de mayores dimensiones, con base en la clasificación planteada en el estudio de Jacinto-Hernández et al. (2019), las semillas se pueden clasificar como grandes en relación a su peso. Esto se desprende del análisis de 100 semillas, que superan el punto de referencia de 40 g/100 semillas reportado. Estos hallazgos se alinean con los resultados reportados por Corzo-Ríos

et al. (2020) y Arriagada et al. (2021), quienes también observaron tamaños y pesos mayores para las semillas de *P. coccineus*. La variabilidad del tamaño depende de varios factores como la ubicación geográfica, la zona, el valor genético, varietal, cultural y agrícola de la región (García-Narváez et al., 2020; Arriagada et al., 2021; Pedrali et al., 2022). La determinación de la transferencia de masa y calor, la evaluación de la calidad de los alimentos y la eliminación de objetos extraños dependen en gran medida de la forma de un material alimenticio a menudo que se describe utilizando su esfericidad y relación de aspecto, como lo mencionan comúnmente Wani et al. (2017). La expresión de la forma de un sólido respecto de una esfera del mismo volumen se llama esfericidad. Los frijoles de ayocote exhiben una relación de aspecto dentro del rango de 0.45 a 0.46, lo que indica su forma oblonga (Omobuwajo et al., 1999). Por el contrario, hubo variaciones notables en la superficie y el volumen de semillas, que se midieron entre 3350-411 mm<sup>2</sup> y 433-552 mm<sup>3</sup>, respectivamente. Estos valores superan los hallazgos informados por Wani et al. (2017). Las semillas con un tamaño reducido, tienen grandes espacios de aire y una testa robusta, presentan características que afectan negativamente el proceso de germinación. Esto se debe a que estas particularidades dificultan la absorción de humedad en la superficie externa de la testa, lo que resulta en que las semillas permanezcan flotando en el agua durante períodos prolongados (Duarte et al., 2017). De la misma forma el tamaño de la semilla influye en el crecimiento del desarrollo de la plántula y en la densidad de siembra. Se ha observado que las semillas más pesadas exhiben un porcentaje de germinación superior. Este hallazgo resalta la importancia de considerar el peso de las semillas al planificar la siembra, ya que puede influir significativamente en el éxito del proceso germinativo (Pablo-Pérez et al., 2013).

La densidad de los ingredientes alimentarios, que es la relación masa-volumen medida en gramos por mililitro (g/mL), proporciona información valiosa sobre su calidad. La medición de las densidades de los materiales alimentarios permite evaluar su calidad general. La ingeniería de máquinas, estructuras, procesos y

control se ha beneficiado enormemente de las investigaciones recientes sobre las características físicas fundamentales de los materiales agrícolas. Esta investigación ha enfatizado la importancia de comprender el transporte de materiales, particularmente en los sistemas neumáticos e hidráulicos utilizados para productos agrícolas, para garantizar un transporte eficiente, los datos sobre la densidad de semillas son cruciales (Wani et al., 2013; Binelo et al., 2019; Mirzabe et al., 2021).

Otro factor a considerar es la resistencia al flujo de aire durante la aireación y secado de las semillas, que viene determinada por su porosidad. La porosidad se calcula en función de la densidad aparente y la densidad real de las semillas. Además, el área superficial de las semillas afecta la resistencia al flujo de aire dentro del lecho de material a granel. Esta información es fundamental a la hora de diseñar el proceso de secado (Sharma et al., 2011).

Como se muestra en las Tablas 3 y 4, uno de los aspectos cruciales en relación con el ayocote hidratado y cocido es la determinación de los parámetros de tiempo y temperatura a los que fueron sometidos, ya que esto incide directamente en la calidad sensorial del grano. El tiempo de cocción tiende a variar debido a diversos factores, tales como el tratamiento previo de los frijoles, como su hidratación antes de la cocción, así como el lugar de cultivo, las condiciones de remojo, el procesamiento y el almacenamiento. Las dos últimas variables, si no se desarrollan adecuadamente, pueden generar desventajas que complican el proceso de cocción en términos de tiempo.

Otro factor significativo es la variedad de ayocote, ya que cada cubierta de semilla del ayocote presenta características distintas, como su color. Por ejemplo, los frijoles con cubiertas de semilla más oscuras, como el ayocote negro, tienden a ser menos duros, lo que implica que los frijoles coloreados poseen paredes celulares menos resistentes. Se observaron diferencias notables en los rangos del ayocote crudo, especialmente cuando se llevó a cabo un proceso de hidratación durante 24 h, generando una absorción de agua a lo largo del tiempo prolongado. Este hecho facilitó que el proceso de cocción fuera más rápido.

En la Tabla 2 el ayocote negro presentó menor área superficial ( $350 \text{ mm}^2$ ) y volumen ( $434 \text{ mm}^3$ ) respecto al lila, atribuible a su menor tamaño promedio. Esto depende de la disparidad dimensional observada entre las diversas variedades de una misma especie, es un fenómeno común en el caso de las leguminosas, ya que la variabilidad responde a una combinación de factores genotípicos y ambientales que influyen durante el crucial proceso de formación de granos, la interacción única entre los rasgos genéticos inherentes a cada variedad y las condiciones del entorno en el que se desarrollan juega un papel fundamental en la configuración de las características dimensionales de los granos. Este fenómeno refleja la complejidad inherente a la interacción genética y ambiental que da forma a la expresión fenotípica en las leguminosas, contribuyendo así a la diversidad observada dentro de la misma especie (Pedrali et al., 2022).

Comparando con descripciones previas del frijol ayocote en estado seco, los promedios de longitud que se han reportado entre el rango de 15.5 a 17 mm, estos resultaron superiores a los 14 mm reportados (Alcázar-Valle et al., 2020). Esta discrepancia refleja la enorme diversidad fenotípica de *P. coccineus* para caracteres seminales cuantitativos. Los valores de esfericidad hallados, entre 0.67 y 0.68, denotan una forma moderadamente ovalada típica del grano arriñonado de *Phaseolus*. La relación de aspecto de 0.45-0.47 indica tendencia a oblongo, consistente con la morfología esperada para estas legumbres (Chandra et al., 2015).

Como se muestra en la Tabla 3, al someter las semillas a un proceso de hidratación, se observó una marcada expansión en sus dimensiones y parámetros derivados. En el caso del ayocote negro, la longitud experimentó un aumento del 32%, mientras que la superficie se incrementó en un 75% en comparación con el estado crudo. Este fenómeno se atribuye a la absorción y retención de agua en los tejidos e interfaces celulares de las semillas. Es importante señalar que, a pesar de este significativo hinchamiento dimensional inducido por la acción del agua, ni la esfericidad ni la relación de aspecto experimentan cambios sustanciales durante el proceso de hidratación en ninguna de las variantes estudiadas. En otras palabras, la

forma global de las semillas se conserva, evidenciando una notable estabilidad morfológica frente a la expansión causada por la presencia del agua. Este patrón de inflamamiento anisotrópico con preservación de la morfología ha sido previamente descrito en otros tipos de frijol durante el remojo previo a la cocción (Akinterinwa et al., 2014). Este experimento evidenció que el agua penetra efectivamente en el frijol a través de su hilio. A partir de este punto, se dispersa hacia la periferia del frijol, provocando que la cubierta de la semilla se arrugue. Dichas arrugas desaparecen cuando los cotiledones se hinchan posteriormente, llenando la cubierta de la semilla. La velocidad con la que los frijoles secos absorben el agua está directamente relacionada con su temperatura (Charley, 1987).

En comparación con la Tabla 4 del ayocote cocido, se observó que la cocción ejerce un efecto relativamente menor sobre la morfología de la semilla de ayocote como se detalla en la Tabla 3. En la variedad de ayocote negro, la longitud prácticamente no experimentó cambios significativos entre los estados hidratado (20.6 mm) y cocido (21 mm), ya que los tejidos están saturados después del remojo. Las únicas diferencias notables debido a la acción térmica se manifestaron en una ligera contracción del grosor y un moderado aumento volumétrico adicional (+6%), atribuible a fenómenos como la gelatinización del almidón nativo (Akinterinwa et al., 2014). Nuevamente, ni la esfericidad ni la relación de aspecto se ven afectadas entre las Tablas 3 y 4. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que la morfología de la semilla se ve predominantemente afectada durante la hidratación, mientras que la cocción térmica introduce cambios mínimos una vez que los tejidos que están completamente hidratados. Este comportamiento difásico concuerda con informes sobre otras leguminosas tales como el frijol común, lenteja y garbanzo (Kaur et al., 2005; Pedrali et al., 2022). Un mayor índice de expansión se debe a que la unión es más débil entre las moléculas, este fenómeno ocurre en el incremento del índice de expansión con el aumento de la temperatura, ya que esto debilita la interacción molecular, permitiendo así una mayor capacidad de absorción de moléculas de agua (Barbosa-Fuentes, 2019).

**Tabla 2.** Propiedades morfométricas de las diferentes variedades de ayocote (*P. coccineus*) crudo.

| Parámetros         | Negro                            | Morado                            | Lila                             | Beige                              | Café                             |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <b>T</b>           | 10.7280 ± 1.0813 <sup>b</sup>    | 11.0435 ± 1.2308 <sup>a,b</sup>   | 11.3403 ± 1.7318 <sup>a</sup>    | 11.1160 ± 0.9963 <sup>a,b</sup>    | 10.7510 ± 1.1468 <sup>b</sup>    |
| <b>W</b>           | 7.0170 ± 0.8323 <sup>b</sup>     | 7.5370 ± 1.1865 <sup>a</sup>      | 7.7860 ± 0.7513 <sup>a</sup>     | 7.3690 ± 0.8504 <sup>a,b</sup>     | 7.0540 ± 0.9771 <sup>b</sup>     |
| <b>L</b>           | 15.5320 ± 1.4870 <sup>b,c</sup>  | 16.1530 ± 1.7203 <sup>c,d</sup>   | 17.0040 ± 1.4715 <sup>a</sup>    | 16.2490 ± 1.8154 <sup>c,d</sup>    | 15.4990 ± 1.7620 <sup>b</sup>    |
| <b>Peso</b>        | 0.8350 ± 0.1971 <sup>b</sup>     | 1.1486 ± 1.4305 <sup>a</sup>      | 1.0701 ± 0.1894 <sup>a,b</sup>   | 0.9528 ± 0.2218 <sup>a,b</sup>     | 0.8240 ± 0.2180 <sup>b</sup>     |
| <b>Esfericidad</b> | 0.6785 ± 0.0344 <sup>a</sup>     | 0.6830 ± 0.0364 <sup>a</sup>      | 0.6710 ± 0.0626 <sup>a</sup>     | 0.6783 ± 0.0400 <sup>a</sup>       | 0.6808 ± 0.0346 <sup>a</sup>     |
| <b>Dg</b>          | 10.5185 ± 0.9324 <sup>b</sup>    | 11.0013 ± 0.9903 <sup>a</sup>     | 11.3829 ± 1.2142 <sup>a</sup>    | 10.9770 ± 0.9013 <sup>a,c</sup>    | 10.5351 ± 1.0899 <sup>b</sup>    |
| <b>S</b>           | 350.2897 ± 62.0786 <sup>b</sup>  | 383.2754 ± 68.0476 <sup>c,d</sup> | 411.6414 ± 75.3112 <sup>a</sup>  | 381.0708 ± 61.4661 <sup>c</sup>    | 352.3758 ± 71.1369 <sup>b</sup>  |
| <b>Vg</b>          | 433.7040 ± 117.9311 <sup>b</sup> | 497.8525 ± 130.9964 <sup>d</sup>  | 552.4459 ± 139.8774 <sup>a</sup> | 490.8061 ± 117.8655 <sup>c,d</sup> | 440.2406 ± 333.2101 <sup>b</sup> |
| <b>Ra</b>          | 0.4528 ± 0.0446 <sup>a</sup>     | 0.4689 ± 0.0730 <sup>a</sup>      | 0.4600 ± 0.0483 <sup>a</sup>     | 0.4564 ± 0.0549 <sup>a</sup>       | 0.4559 ± 0.0498 <sup>a</sup>     |
| <b>A</b>           | 295.5398 ± 52.5143 <sup>b</sup>  | 323.5851 ± 57.4051 <sup>c,d</sup> | 347.4527 ± 62.3547 <sup>a</sup>  | 231.7159 ± 52.4075 <sup>c</sup>    | 297.4045 ± 60.1893 <sup>b</sup>  |
| <b>Pg</b>          | 1.0674 ± 0.1196 <sup>a</sup>     | 1.0230 ± 0.0199 <sup>a</sup>      | 1.0907 ± 0.1857 <sup>a</sup>     | 0.9799 ± 0.0496 <sup>a</sup>       | 0.9785 ± 0.0186 <sup>a</sup>     |
| <b>Pb</b>          | 0.7479 ± 0.0999 <sup>a</sup>     | 0.6754 ± 0.0098 <sup>a</sup>      | 0.6708 ± 0.0141 <sup>a</sup>     | 0.6705 ± 0.0129 <sup>a</sup>       | 0.6879 ± 0.0054 <sup>a</sup>     |
| <b>Porosidad</b>   | 37.8981 ± 6.0522 <sup>a</sup>    | 33.1060 ± 0.9379 <sup>a</sup>     | 31.5125 ± 3.4975 <sup>a</sup>    | 33.6549 ± 2.4146 <sup>a</sup>      | 28.6704 ± 0.5235 <sup>a</sup>    |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=100). T: Espesor; W: Ancho; L: Longitud; Dg: Diámetro medio geométrico; S: Superficie; Vg: Volumen; Ra: Relación del aspecto; A: Área de la superficie., Pg: Densidad real de la semilla; Pb: Densidad aparente de la semilla. Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 3.** Propiedades morfométricas de las diferentes variedades de ayocote (*P. coccineus*) hidratado.

| Parámetros         | Negro                            | Morado                            | Lila                              | Beige                             | Café                              |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>T</b>           | 13.5500 ± 1.0840 <sup>c,b</sup>  | 14.009 ± 1.3947 <sup>d</sup>      | 13.9810 ± 1.0406 <sup>c,d</sup>   | 13.4110 ± 0.9862 <sup>b</sup>     | 14.6710 ± 1.1451 <sup>a</sup>     |
| <b>W</b>           | 9.6720 ± 0.8287 <sup>b</sup>     | 10.1700 ± 0.8276 <sup>a</sup>     | 10.1090 ± 0.9285 <sup>a</sup>     | 9.8870 ± 0.8467 <sup>a,b</sup>    | 10.0050 ± 0.8674 <sup>a</sup>     |
| <b>L</b>           | 20.6503 ± 2.1946 <sup>b</sup>    | 21.5216 ± 2.3499 <sup>b,c</sup>   | 21.5530 ± 1.9411 <sup>c</sup>     | 20.7260 ± 2.1032 <sup>b</sup>     | 23.3750 ± 1.9081 <sup>a</sup>     |
| <b>Peso</b>        | 1.7430 ± 0.3702 <sup>a</sup>     | 1.8960 ± 0.4355 <sup>a</sup>      | 1.8820 ± 0.3780 <sup>a</sup>      | 1.9010 ± 2.0905 <sup>a</sup>      | 2.0420 ± 0.4243 <sup>a</sup>      |
| <b>Esfericidad</b> | 0.6766 ± 0.0332 <sup>a</sup>     | 0.6772 ± 0.0429 <sup>a</sup>      | 0.6738 ± 0.0361 <sup>a</sup>      | 0.6775 ± 0.0338 <sup>a</sup>      | 0.6459 ± 0.0289 <sup>b</sup>      |
| <b>Dg</b>          | 13.9209 ± 1.0924 <sup>b</sup>    | 14.5069 ± 1.1855 <sup>c</sup>     | 14.4778 ± 1.0083 <sup>c</sup>     | 13.9934 ± 1.0613 <sup>b</sup>     | 15.0674 ± 1.0373 <sup>a</sup>     |
| <b>S</b>           | 612.5242 ± 97.3968 <sup>b</sup>  | 665.5249 ± 108.5198 <sup>c</sup>  | 661.6651 ± 93.7967 <sup>c</sup>   | 618.6766 ± 93.3482 <sup>b</sup>   | 716.5697 ± 98.1899 <sup>a</sup>   |
| <b>Vg</b>          | 995.6780 ± 233.1818 <sup>b</sup> | 1129.9302 ± 268.8800 <sup>c</sup> | 1115.0529 ± 239.8007 <sup>c</sup> | 1011.0028 ± 221.2849 <sup>b</sup> | 1227.3624 ± 253.8592 <sup>a</sup> |
| <b>Ra</b>          | 0.4709 ± 0.0395 <sup>a</sup>     | 0.4767 ± 0.0554 <sup>a</sup>      | 0.4714 ± 0.0493 <sup>a</sup>      | 0.4796 ± 0.0420 <sup>a</sup>      | 0.4295 ± 0.0375 <sup>b</sup>      |
| <b>A</b>           | 516.4778 ± 81.4422 <sup>b</sup>  | 561.6692 ± 90.5667 <sup>c</sup>   | 557.9426 ± 78.7857 <sup>c</sup>   | 521.7386 ± 78.0120 <sup>b</sup>   | 602.6780 ± 82.4590 <sup>a</sup>   |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=100). T: Espesor; W: Ancho; L: Longitud; Dg: Diámetro medio geométrico; S: Superficie; Vg: Volumen; Ra: Relación del aspecto; A: Área de la superficie. Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 4.** Propiedades físicas de las diferentes variedades de ayocote (*P. coccineus*) cocido.

| Parámetros         | Negro                               | Morado                              | Lila                                | Beige                               | Café                              |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>T</b>           | 13.6730 ± 1.1052 <sup>d,c</sup>     | 14.1000 ± 1.3129 <sup>c</sup>       | 13.599 ± 1.4105 <sup>b</sup>        | 13.5840 ± 1.0478 <sup>b</sup>       | 14.6870 ± 1.1846 <sup>a</sup>     |
| <b>W</b>           | 9.9400 ± 0.9239 <sup>a,b</sup>      | 10.3230 ± 0.9247 <sup>a</sup>       | 9.7710 ± 1.3491 <sup>b</sup>        | 10.1300 ± 0.8795 <sup>a,b</sup>     | 10.2550 ± 0.9067 <sup>a</sup>     |
| <b>L</b>           | 21.0360 ± 2.0167 <sup>b,c</sup>     | 21.5400 ± 2.4368 <sup>c</sup>       | 20.4110 ± 2.6859 <sup>b</sup>       | 20.7030 ± 2.0519 <sup>b,c</sup>     | 23.3230 ± 2.1373 <sup>a</sup>     |
| <b>Peso</b>        | 1.9700 ± 0.4576 <sup>b,c</sup>      | 2.1570 ± 0.5275 <sup>c</sup>        | 1.8740 ± 0.5434 <sup>b</sup>        | 1.9310 ± 0.4762 <sup>b,c</sup>      | 2.4910 ± 1.2719 <sup>a</sup>      |
| <b>Esfericidad</b> | 0.6759 ± 0.0322 <sup>a</sup>        | 0.6829 ± 0.0588 <sup>a</sup>        | 0.6860 ± 0.0593 <sup>a</sup>        | 0.6861 ± 0.0310 <sup>a</sup>        | 0.6530 ± 0.0339 <sup>b</sup>      |
| <b>Dg</b>          | 14.1806 ± 1.1319 <sup>b,c</sup>     | 14.6147 ± 1.2674 <sup>c</sup>       | 13.9112 ± 1.5436 <sup>b</sup>       | 14.1647 ± 1.1090 <sup>b,c</sup>     | 15.1835 ± 1.0905 <sup>a</sup>     |
| <b>S</b>           | 635.7247 ± 101.5485 <sup>b,c</sup>  | 676.0064 ± 114.9580 <sup>c</sup>    | 615.3733 ± 132.4223 <sup>b</sup>    | 634.1485 ± 99.3163 <sup>b,c</sup>   | 727.9567 ± 103.7069 <sup>a</sup>  |
| <b>Vg</b>          | 1053.8267 ± 253.1656 <sup>b,c</sup> | 1163.8199 ± 281.8965 <sup>a,d</sup> | 1020.3418 ± 317.5343 <sup>b,c</sup> | 1057.8662 ± 243.8498 <sup>c,d</sup> | 1264.4311 ± 268.2218 <sup>a</sup> |
| <b>Ra</b>          | 0.4743 ± 0.0399 <sup>a</sup>        | 0.4844 ± 0.0686 <sup>a</sup>        | 0.4841 ± 0.0803 <sup>a</sup>        | 0.4914 ± 0.0388 <sup>a</sup>        | 0.4421 ± 0.0452 <sup>b</sup>      |
| <b>A</b>           | 536.0143 ± 85.3996 <sup>c,d</sup>   | 571.6937 ± 93.6314 <sup>d</sup>     | 520.4471 ± 109.5860 <sup>b,c</sup>  | 535.2814 ± 83.2296 <sup>b,c</sup>   | 612.6667 ± 87.0210 <sup>a</sup>   |

El promedio ± desviación estándar se reportó (n=100). T: Espesor; W: Ancho; L: Longitud; Dg: Diámetro medio geométrico; S: Superficie; Vg: Volumen; Ra: Relación del aspecto; A: Área de la superficie. Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

## 4.2 Propiedades físicas de la harina de ayocote

En la tabla 5 se muestra la determinación de las propiedades de flujo de acuerdo a las cinco variedades de ayocote, que conforma las propiedades de densidad aparente, densidad empacada, índice de car, coeficiente de Hausner y el ángulo de reposo. La evaluación de las características de flujo desempeña un papel fundamental al caracterizar materiales sólidos, especialmente en sectores como la industria farmacéutica, alimentaria y el procesamiento de materiales en polvo. Las propiedades de flujo están relacionadas con la capacidad de los materiales en polvo para fluir de manera eficiente y sin problemas durante los procesos de manufactura. Se reportó una capacidad de las cinco variedades de ayocote (negro, morado, café, lila, beige) entre 0.46-0.51% de Da, 0.67-0.73% de, 32.72-55.61% en el IC, 1.32-1.55 para los valores de CH y finalmente 38.49-49.98% de Ar. El ayocote Beige mostró mayor diferencias en cuanto a su densidad aparente, el morado en el IC, y café en Ar con respecto al resto de las variedades. Los resultados obtenidos en la Da coincide con los informes sobre harinas de garbanzo, frijol y arveja, que presentan rangos de densidad de 0.4-0.6 g/mL y 0.6-0.8 g/mL, respectivamente (Rulli et al., 2016).

El ángulo de reposo es una medida empírica de la fluidez relativa de las partículas sólidas y está fuertemente influenciado por factores como el contenido de humedad, el tamaño de las partículas y el tiempo de almacenamiento, entre otros. Su importancia se extiende a la industria alimentaria, particularmente en términos de consumo de productos y el proceso de combinación de polvos con líquidos. La fluidez de los polvos se puede atribuir a la adhesión y pegajosidad entre las partículas. Para comprimir o prensar material harinero, es esencial poseer buenas características de fluidez. Los polvos se clasifican según el ángulo formado entre el cono de polvo y la superficie plana que actúa como base. Se considera que un material fluye libremente cuando  $\theta < 35^\circ$ , bastante cohesivo entre  $35 < 45^\circ$ , cohesivo entre  $45 < 55^\circ$  y altamente cohesivo si  $\theta > 55^\circ$  como afirman Barbosa-Cánovas et al. (2005). Alavi & Caussat

(2005) utilizaron una categorización diferente, distinguiendo entre fluidez alta, media y baja según el ángulo  $\theta$ . Cuando  $\theta$  es inferior a  $45^\circ$ , se clasifica como fluidez baja para  $38^\circ < \theta < 45^\circ$ , fluidez media para  $30^\circ < \theta < 38^\circ$  y fluidez alta para  $25^\circ < \theta < 30^\circ$ . Haciendo referencia a la Tabla 5, que se centra en el ángulo de reposo, el frijol negro presenta un ángulo de  $38.4950^\circ$ , indicando una fluidez media según Alavi y Caussat (2005). Por otro lado, el frijol morado tiene un ángulo de  $49.9800^\circ$ , lo que significa baja fluidez. Además, el frijol marrón mide  $47.3300^\circ$  y el frijol beige mide  $47.1250^\circ$ , ambos entran en la categoría cohesiva según la clasificación de Barbosa-Cánovas et al. (2005).

En cuanto a los índices de Carr, que oscilan entre el 32% y el 56%, indican una capacidad de flujo aceptable, aunque no sobresaliente. El ayocote negro muestra el índice más alto (56%), lo que concuerda con su ángulo de reposo más bajo ( $38^\circ$ ) en comparación con otras variedades evaluadas. Estos parámetros resultan valiosos para anticipar el comportamiento de flujo en diversas etapas, como el transporte neumático, la dosificación y el mezclado en seco con otros ingredientes (Rulli et al., 2016).

**Tabla 5.** Propiedades de flujo en harinas de ayocote.

| <b>Variedad</b> | <b>Da (g/mL)</b>             | <b>De</b>                    | <b>IC (%)</b>                   | <b>CH</b>                      | <b>Ar (°)</b>                 |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>Negro</b>    | 0.4601 ± 0.0327 <sup>a</sup> | 0.6787 ± 0.0452 <sup>a</sup> | 55.6183 ± 6.6269 <sup>a</sup>   | 1.5562 ± 0.0663 <sup>a</sup>   | 38.4950 ± 0.2333 <sup>b</sup> |
| <b>Morado</b>   | 0.4624 ± 0.0164 <sup>a</sup> | 0.6857 ± 0.0443 <sup>a</sup> | 42.3836 ± 0.1994 <sup>a,b</sup> | 1.4238 ± 0.0020 <sup>a,b</sup> | 49.9800 ± 0.5798 <sup>a</sup> |
| <b>Café</b>     | 0.4919 ± 0.0214 <sup>a</sup> | 0.6895 ± 0.0310 <sup>a</sup> | 40.5196 ± 0.6725 <sup>a,b</sup> | 1.4052 ± 0.0067 <sup>a,b</sup> | 47.3300 ± 0.7920 <sup>d</sup> |
| <b>Lila</b>     | 0.4990 ± 0.0160 <sup>a</sup> | 0.6852 ± 0.0320 <sup>a</sup> | 32.7202 ± 5.6094 <sup>b</sup>   | 1.3272 ± 0.0561 <sup>b</sup>   | 44.3900 ± 0.8627 <sup>c</sup> |
| <b>Beige</b>    | 0.5074 ± 0.0299 <sup>a</sup> | 0.7319 ± 0.0406 <sup>a</sup> | 35.1087 ± 1.6201 <sup>b</sup>   | 1.3511 ± 0.0162 <sup>b</sup>   | 47.1250 ± 0.5020 <sup>d</sup> |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). Da: densidad aparente; De: densidad empacada; IC: índice de car; CH: coeficiente de hausner; Ar: ángulo de reposo. Letras diferentes por columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ).

### 4.3 Propiedades químicas de la harina de ayocote

En la Tabla 6 se muestran los distintos porcentajes del análisis químico-proximal de acuerdo a las 5 variedades de ayocote (negro, morado, café, lila, beige). El contenido de humedad es la cantidad de agua en un alimento o producto expresada como porcentaje del peso total, reportando un contenido de humedad de las cinco variedades de ayocote entre 8.14-10.11%, donde solo hubo una diferencia significativa entre el café y negro, ya que en las otras variedades no presentaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos por Teniente-Martínez et al. (2016) fueron mayores, los cuales indican que en la colecta del frijol morado y negro presentaron 9.62 y 9.37% de humedad, respectivamente. Mientras López et al. (2019) identificaron un porcentaje de humedad de cuatro variedades de ayocote (negro, purpura, marrón, blanco), presentaron un rango del 79.8-87.6 (g/kg) de humedad. Mosisa (2017) identificó un porcentaje de *P. coccineus* L. dentro de un rango de 7.13-8.67%, los cuales están por debajo de los reportados. Sin embargo, algunos autores informan rangos más amplios de 5.5% a 14% (Akinterinwa et al., 2014). Por otra parte, Álvarez-Salas & Turbay-Ceballos (2009) demostraron que se tiene un porcentaje de humedad de *P. coccineus* de 7.79% y Pacheco et al. (2019) identificaron un 7.9% de humedad de *P. lunatus*. En productos deshidratados como harinas, la humedad impacta propiedades funcionales al interactuar fisicoquímicamente con otros constituyentes como proteínas, lípidos y polisacáridos. Por ello, es de gran importancia monitorear este parámetro durante procesamiento y almacenamiento (Rulli et al., 2016).

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 6 se observó una variación en la concentración de cenizas, que va desde un 4.55% en el caso del ayocote negro hasta un 5.17% en la variedad beige. Esto indica una notable diversidad entre las diferentes variedades de ayocote. Estudios anteriores respaldan estos resultados, ya que han informado intervalos de 2.5%-5% en diferentes variedades de frijol ayocote, siendo coherentes con los datos que hemos analizado (Akinterinwa et al., 2014).

Álvarez-Salas & Turbay-Ceballos (2009) reportó un contenido de cenizas de 2.41%, ambos inferiores a los reportados. Teniente-Martínez et al. (2016) identificaron un contenido de cenizas en ayocote de 3.77% del morado y 3.50% del negro, inferiores a los resultados obtenidos en este trabajo. La razón por la que no son similares es por la disparidad entre ellas que radica en las condiciones específicas del entorno donde fueron cultivadas las diversas variedades de ayocote. Pacheco et al. (2019) identificaron el 4.4% de cenizas en *P. lunatus* y Calvo-Garza & Mariscal-Moreno. (2023) identificaron el 3.86% de *P. coccineus*. La contribución mineral proveniente de estas harinas es de gran importancia tanto para la nutrición como para las interacciones químicas que pueden tener con otros ingredientes en la elaboración de alimentos. Como ejemplo ilustrativo, los iones de calcio pueden conferir un sabor amargo, mientras que cationes como el sodio y el potasio desempeñan un papel crucial en la regulación de la actividad acuosa en el producto final (Rulli et al., 2016).

Posteriormente, se determinó el porcentaje de contenido de lípidos (negro, morado, lila, café, beige) los cuales no presentaron diferencias significativas en las cinco variedades, encontrándose en un rango entre 1.71-3.56% del contenido de lípidos, de acuerdo a los resultados obtenidos por los autores Teniente-Martínez et al. (2016) quienes identificaron en ayocote morado y negro un contenido de 3.78% y 3.50%, respectivamente los cuales son superiores a los reportados. Granito et al. (2004) determinaron 1.5 mL/g en *P. coccineus*, muy cercano al dato analizado. Esta funcionalidad permite mejorar las propiedades sensoriales de productos con alto contenido lipídico. Álvarez-Salas & Turbay-Ceballos (2009) reportaron un contenido de lípidos de 15.18% el cual es superior a los que aquí se presentan. Dado su carácter lipofílico, el extracto etéreo impacta propiedades viscoelásticas de masas y contribuye a la palatabilidad en productos como galletas, panes y pastas donde es incorporado algunas de las harinas de ayocote (Rulli et al., 2016).

**Tabla 6.** Contenido nutricional de las distintas harinas de ayocote (*P. coccineus*).

| <b>Variedad</b> | <b>Humedad (%)</b>              | <b>Lípidos (%)</b>           | <b>Cenizas (%)</b>           |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Negro</b>    | 8.1493 ± 0.6894 <sup>b</sup>    | 1.9082 ± 0.7052 <sup>a</sup> | 4.6786 ± 0.2055 <sup>a</sup> |
| <b>Morado</b>   | 8.4609 ± 0.5648 <sup>a,b</sup>  | 1.7119 ± 0.2901 <sup>a</sup> | 4.5466 ± 0.3461 <sup>a</sup> |
| <b>Café</b>     | 10.1101 ± 0.1759 <sup>a</sup>   | 2.9327 ± 0.1396 <sup>a</sup> | 4.9342 ± 0.4633 <sup>a</sup> |
| <b>Lila</b>     | 9.1068 ± 0.8942 <sup>a,b</sup>  | 2.0265 ± 0.7740 <sup>a</sup> | 4.7024 ± 0.2809 <sup>a</sup> |
| <b>Beige</b>    | 10.0513 ± 0.9910 <sup>a,b</sup> | 3.5637 ± 0.0418 <sup>a</sup> | 5.1700 ± 0.0626 <sup>a</sup> |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). Letras diferentes por columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

#### 4.4 Propiedades tecno-funcionales de la harina de ayocote

Las características tecno-funcionales abarcan las propiedades físico-químicas que proporcionan información sobre el comportamiento de un componente específico (como proteínas, carbohidratos, etc.) dentro de una matriz alimentaria. Estas propiedades son determinantes para la elección del método de producción y la aplicación de ingredientes en la elaboración de alimentos, al mismo tiempo que supervisan los procesos de procesamiento y almacenamiento (Guiñazú-Fernández, 2020).

En la tabla 7 se muestra la capacidad emulsificante en distintos niveles de pH de acuerdo a las 5 variedades de ayocote (negro, morado, café, lila, beige), se refiere a la habilidad de una sustancia para formar y estabilizar emulsiones, que son sistemas coloidales que consisten en la dispersión de una fase inmisible (generalmente aceite) en otra fase (generalmente agua), con la ayuda de un agente emulsionante. Se reportó una capacidad de las cinco variedades de ayocote entre 20.67- 62.67%, donde se presentaron variedades significativas únicamente en las variedades café y beige, mientras las demás no poseían diferencias significativas. La harina de ayocote generó emulsiones más estables a pH alcalino (60-62%) que en condiciones ácidas (21-29%), consistente con reportes sobre el efecto del pH en la solubilidad/emulsionabilidad proteica (Sangronis et al., 2004). Sin embargo, los valores absolutos resultaron bajos respecto a datos reportados, quienes informan capacidades emulsificante del 40% a pH ácido y 60% a pH alcalino.

Sangronis et al. (2004) determinaron la capacidad emulsionante a diferentes niveles de pH, los resultados indicaron que a pH 3, la capacidad emulsionante es del 23.7%, a un pH de 6 es del 32.5% y a un pH de 8 es del 40.7%. Así mismo, Pacheco et al. (2019) observaron una capacidad emulsificante del 43.8% en *P. lunatus*, mientras Fabián & Lucía (2022) identificaron un pH de 3 es del 58.73% y pH de 6 es del 50% de capacidad emulsificante. Diversos factores influyen en esta capacidad, entre ellos se encuentran el pH, el tamaño de las gotas, la carga neta, la tensión interfacial, la

viscosidad y la estructura molecular de la proteína (Guiñazú-Fernández, 2020). Esta propiedad es relevante en diversos campos, como la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. El pH, que mide la acidez o alcalinidad de una solución, puede influir en la capacidad emulsificante de una sustancia. La solubilidad de las proteínas está muy influenciada por el pH, las condiciones alcalinas aumentan la capacidad emulsionante y las condiciones ácidas dan como resultado una menor capacidad emulsionante. Las diferencias pueden deberse al método de extracción y composición de las proteínas de cada variedad, que modula el balance hidrofílico-lipofílico en la interface y con ello la estabilidad emulsionante (Rulli et al., 2016).

**Tabla 7.** Capacidad emulsificante de las distintas harinas de ayocote de acuerdo al pH.

| <b>pH</b> | <b>Negro</b>                  | <b>Morado</b>                 | <b>Café</b>                   | <b>Lila</b>                   | <b>Beige</b>                    |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>3</b>  | 20.6667 ± 0.9428 <sup>a</sup> | 29.0000 ± 0.4714 <sup>a</sup> | 24.6667 ± 4.7140 <sup>a</sup> | 26.0000 ± 0.9428 <sup>a</sup> | 25.0000 ± 3.2998 <sup>a</sup>   |
| <b>6</b>  | 39.6667 ± 1.4142 <sup>a</sup> | 38.0000 ± 3.7712 <sup>a</sup> | 30.6667 ± 4.7140 <sup>a</sup> | 36.3333 ± 3.2998 <sup>a</sup> | 39.3333 ± 4.7140 <sup>a</sup>   |
| <b>9</b>  | 62.6667 ± 1.8856 <sup>a</sup> | 57.3333 ± 1.8856 <sup>a</sup> | 41.0000 ± 1.4142 <sup>b</sup> | 60.0000 ± 0.9428 <sup>a</sup> | 59.6667 ± 8.0139 <sup>a,c</sup> |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

Como se aprecia en la Tabla 8, todas las harinas mostraron excelentes propiedades espumantes, con valores de 106-107% de capacidad espumante, sin diferencias significativas entre las cinco variedades. Estas cifras resultaron incluso superiores a reportes previos por Chandra et al. (2015) quienes reportaron en frijol ayocote de 37% y 59%, respectivamente. Esta alta funcionalidad espumante se relaciona con actividad interfacial y conformación de películas cohesivas por parte de proteínas y glucoproteínas para encapsular y estabilizar burbujas de aire generadas durante el batido (Rulli et al., 2016). Granito et al. (2004) observaron una fase espumante de 59%, indicando que dichos valores son inferiores a los datos reportados. Enwere et al. (1998) afirman que las harinas de frijol poseen propiedades espumantes favorables, generando espumas estables, aunque se pueden esperar variaciones entre especies de frijol. El potencial espumante de estas harinas permite su aplicación en productos como tortas, merengues, mousses y postres espumosos. Sin embargo, la eficaz capacidad espumante se vincula con la flexibilidad de las moléculas proteicas con la disminución de la tensión superficial y la presencia significativa de las proteínas globulares organizadas, esta organización dificulta la desnaturalización superficial, la cual conduce a una baja formación de espuma, entre los valores que fueron comparativos. Uno de los factores para que se pueda generar una buena capacidad espumante, se genera por la existencia de proteínas que están presentes tienen una superficie activa. Las proteínas solubles tienden a disminuir la tensión superficial en la interfaz, entre las burbujas de aire y el líquido circundante, obstruyendo así la coalescencia. Además, las moléculas proteicas pueden extenderse e interactuar entre sí, formando una película o multicapa de proteínas que aumenta la flexibilidad de la interfaz aire/líquido. Como resultado, se dificulta más la ruptura de las burbujas y la espuma se vuelve más estable. Por ello a medida que se incrementa la concentración de proteínas, se favorecen las interacciones proteína-proteína en la interfaz agua/aire, impulsando así la formación de una película multicapa altamente viscoelástica, la cual desempeña un papel crucial al

proporcionar resistencia a la coalescencia de las burbujas, resultando en un notable aumento de la estabilidad espumante (Chaparro et al., 2011).

Con respecto a la capacidad de absorción de agua (CAA), el contenido osciló entre 1.3 y 1.6 (g/g). Estos resultados son comparables a reportes previos, Granito et al. (2004) mostraron una CAA y la capacidad de absorción de aceite (ACG), que exhiben una similitud de 1.3% para CCG y 1.5% para CAA, reflejando los datos reportados. Garcia et al. (2012) identificaron 3.72 (g/g) de CAA, mientras Pacheco et al. (2019) identificaron el 2.4 (g/g) de CAA, los cuales son superiores a los reportados. Las fluctuaciones observadas pueden atribuirse a las diversas combinaciones de proteínas y carbohidratos con afinidad por el agua (Guiñazú-Fernández, 2020). La capacidad mencionada depende intrínsecamente de la proteína y diversos parámetros asociados, tales como su tamaño, forma, factores estéricos y el equilibrio hidrofílico-hidrofóbico de los aminoácidos presentes en las moléculas. Además, esta capacidad se ve influenciada por la interacción con lípidos y carbohidratos, la comprensión de estos elementos resulta crucial para entender y caracterizar adecuadamente la función de la proteína en cuestión a las capacidades de absorción de agua y aceite (Chaparro et al., 2011). La CAA depende de la textura de productos como horneados, se ve influenciada por la composición de las proteínas y la presencia de carbohidratos hidrofílicos. Esta particularidad contribuye a generar una sensación de frescura y suavidad en los productos horneados, por lo tanto, el uso de harinas con una alta capacidad de absorción de agua podría ser beneficioso para mantener una textura suave, un alto valor de capacidad de absorción de agua, depende de una alta concentración de almidón en su composición puede ser la causa de esta característica, ya que su estado físico influye directamente en la misma (Guiñazú-Fernández, 2020). Esta propiedad resulta crucial en productos como embutidos y salsas, donde la harina de legumbres puede potenciar la retención acuosa, mejorando la jugosidad y rendimiento. También influye en parámetros reológicos de pastas y masas al modificar la fracción de agua disponible para hidratación de biopolímeros (Rulli et al., 2016).

García et al. (2012) identificaron una CAG del 2.04 (g/g) y Pacheco et al. (2019) 2.4 (g/g), que representan valores superiores a los reportados. Las variaciones en los niveles de capacidad de absorción de aceite se originan a partir del tipo de proteína presente en cada fuente. Esto se debe a que, al contar con una mayor cantidad de cadenas laterales de aminoácidos no polares, existe la posibilidad de que se vinculen con más cadenas laterales de hidrocarburos presentes en el aceite (Guiñazú-Fernández, 2020).

En la Tabla 9 se muestran los resultados de tiempo de humectación, tiempo de disolución e higroscopicidad, en las distintas harinas de acuerdo a las 5 variedades de ayocote (negro, morado, café, lila, beige). La higroscopicidad es la habilidad de un material de absorber la humedad en un ambiente de alta humedad relativa. Generalmente, un polvo con baja higroscopicidad, bajo contenido en agua y grado de apelmazamiento, al igual que una alta solubilidad, se considera un buen polvo (Sapper, 2015), reportando un valor de las cinco variedades de ayocote entre 0.12-0.18%, donde no hubo ninguna diferencia significativa entre las cinco variedades. Por ello se revela una baja capacidad higroscópica de las harinas, lo que indica un descenso efectivo de la actividad acuosa por debajo de 0.65. Este fenómeno se vincula con la escasa humedad residual mencionada anteriormente, promoviendo así la estabilidad fisicoquímica durante el periodo de almacenamiento (Rulli et al., 2016). La inclusión de ciertos solutos conlleva a una reducción en la higroscopicidad de los productos en polvo, brindándoles una mayor estabilidad y minimizando los problemas de pegajosidad y apelmazamiento (Costache, 2021).

En cuanto a las cinéticas de hidratación, los breves tiempos de humectación, situados entre 0.05 y 0.1 min, señalan una rápida solubilización inicial en un medio acuoso. Este proceso se atribuye a componentes tales como azúcares, péptidos de bajo peso molecular y ciertas sales solubles. Por otro lado, los tiempos de reconstitución total, fluctuando entre un rango de 0.05 y 0.07 min, indican una excelente miscibilidad global. En comparación con investigaciones previas, Granito et al. (2004) identificaron tiempos de 15-20 min para lograr la completa rehidratación de harinas

de otras leguminosas como el frijol. Las cinéticas inferiores observadas en el ayocote se atribuyen a un tamaño de partícula más reducido, con una mayor área superficial específica que facilita la penetración y difusión del ligante (Akinterinwa et al., 2014).

Los resultados obtenidos por Teniente-Martínez et al., (2016) fueron mayores en el tiempo de humectación, los cuales indican el tiempo real (efectivo) para los procesos de corrosión de metales, ya que estos se desarrollan solamente en la presencia de una capa húmeda, formada en la superficie metálica, siendo el Beige de mayor rango. Los datos recopilados sobre la capacidad de expansión de harinas de legumbres revelan variaciones en el rango del 1-2.5%. Sin embargo, al someterse a procesos como la cocción, se observa un incremento en la capacidad de expansión, ya que dicha transformación se ve beneficiada por distintos procedimientos, métodos y operaciones en la unidad correspondiente (Aguilera Gutiérrez, 2009).

Posteriormente, se identificó un porcentaje de tiempo de disolución (negro, morado, lila, café, beige), donde no presentaron diferencias significativas en las cinco variedades, encontrándose en un rango entre 0.05-0.06%, de acuerdo a los resultados obtenidos por los autores Teniente-Martínez et al. (2016), identificaron un tiempo de disolución menor al morado y café de apenas 0.01% de diferencia, los cuales son superiores a los reportados.

Las propiedades morfológicas, físicas, químicas y tecno-funcionales de las semillas de ayocote son de gran importancia en diversos aspectos, incluyendo la distribución, almacenamiento y comercialización. Estas propiedades también juegan un papel crucial en la aplicación de las semillas de ayocote en la industria alimentaria (Corzo-Ríos et al., 2020). Los investigadores han explorado el uso de las semillas de ayocote en la formulación de diferentes productos, como pan (Mariscal-Moreno et al., 2021; Espinosa-Ramírez et al., 2022), tortas veganas (Saraç et al., 2022), galletas (Pedrali et al., 2022), bebidas (Salmeán et al., 2019) y tortillas (Sánchez-Villa et al., 2020).

**Tabla 8.** Propiedades tecno-funcionales de las variedades de ayocote.

| <b>Variedad</b> | <b>Capacidad espumante (%)</b> | <b>Capacidad de absorción de agua (CAA) (g/g)</b> | <b>Capacidad de absorción de aceite (CAG) (g/g)</b> |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Negro</b>    | 107.0667 ± 0.6658 <sup>a</sup> | 1.3056 ± 0.0481 <sup>b</sup>                      | 1.2850 ± 0.1296 <sup>a</sup>                        |
| <b>Morado</b>   | 106.9400 ± 0.3407 <sup>a</sup> | 1.3690 ± 0.1031 <sup>b</sup>                      | 1.3690 ± 0.1031 <sup>a</sup>                        |
| <b>Café</b>     | 107.0967 ± 0.2421 <sup>a</sup> | 1.6317 ± 0.1615 <sup>a</sup>                      | 1.3056 ± 0.0481 <sup>a</sup>                        |
| <b>Lila</b>     | 107.6333 ± 0.0577 <sup>a</sup> | 1.4652 ± 0.0634 <sup>a,b</sup>                    | 1.3056 ± 0.0481 <sup>a</sup>                        |
| <b>Beige</b>    | 107.4333 ± 0.2082 <sup>a</sup> | 1.3056 ± 0.0481 <sup>b</sup>                      | 1.3333 ± 0.0000 <sup>a</sup>                        |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). Letras diferentes por columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ).

**Tabla 9.** Propiedades tecno-funcionales de las variedades de ayocote.

| <b>Variedad</b> | <b>Tiempo de humectación<br/>(min)</b> | <b>Tiempo de disolución<br/>(min)</b> | <b>H</b>                     |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| <b>Negro</b>    | 0.1028 ± 0.0108 <sup>a</sup>           | 0.0583 ± 0.0129 <sup>a</sup>          | 0.1258 ± 0.0009 <sup>a</sup> |
| <b>Morado</b>   | 0.0544 ± 0.0072 <sup>b</sup>           | 0.0512 ± 0.0065 <sup>a</sup>          | 0.1287 ± 0.0050 <sup>a</sup> |
| <b>Café</b>     | 0.0565 ± 0.0076 <sup>b</sup>           | 0.0537 ± 0.0076 <sup>a</sup>          | 0.1297 ± 0.0078 <sup>a</sup> |
| <b>Lila</b>     | 0.0618 ± 0.0130 <sup>b</sup>           | 0.0500 ± 0.0068 <sup>a</sup>          | 0.1865 ± 0.1079 <sup>a</sup> |
| <b>Beige</b>    | 0.1028 ± 0.0108 <sup>a</sup>           | 0.0692 ± 0.0041 <sup>a</sup>          | 0.1275 ± 0.0045 <sup>a</sup> |

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=3). H: higroscopicidad. Letras diferentes por columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ).

# **Capítulo V**

## **Conclusiones**

## 5.1 Conclusión

Se observó un aumento en los parámetros morfométricos relacionados con la expansión en todas las variedades de ayocote crudo. Estos cambios muestran disparidades en comparación con las longitudes obtenidas durante el proceso de hidratación, logrando cumplir de esta manera el primer objetivo establecido. El segundo objetivo de este estudio hace referencia a la composición química y proximal de diversas variedades de ayocote, se identificó poca variabilidad, en los análisis, esto en función de las condiciones de cultivo que presentaron. La evaluación de las propiedades tecno-funcionales ha sido de vital importancia, ya que evidencian una destacada capacidad espumante, se ha confirmado que las harinas de frijol exhiben propiedades espumantes altamente favorables, dando lugar a la generación de espumas estables, este atributo abre la puerta a su aplicación en la industria alimentaria, particularmente en la elaboración de productos como tortas, merengues, mousses y postres de consistencia espumosa, cumpliendo así el tercer objetivo. Por ello, comprender la morfología y la distribución del tamaño de las semillas de ayocote son datos de gran importancia para la industria alimentaria, ya que son cruciales para diseñar adecuadamente los equipos de limpieza, clasificación y separación o algún producto alimentario. A partir de los resultados obtenidos de las distintas variedades de ayocote se observó que el color, tiene una gran influencia en las propiedades químicas, físicas, morfométricas, independientemente que sean de la misma variedad de ayocote (*P. coccineus*).

# **Capítulo VI**

## **Competencias desarrolladas**

## **Competencias desarrolladas y/o aplicadas**

- Búsquedas de fuentes bibliográficas.
- Desarrollo o área experimental.
- Colaboración con diferentes autores.
- Trabajo en equipo.
- Uso de software
- Realización de análisis físico-químicos.
- Realización de análisis tecno-funcionales.
- Realización de análisis de flujo.

# **Capítulo VII**

## **Fuentes de información**

## Bibliografía

Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales.

Akinterinwa, A., Osemeahon, SA, Akinsola, AF y Reuben, U. (2014). Caracterización fisicoquímica y de empaste del almidón de habichuela escarlata (*Phaseolus coccineus*) carboximetilado. *Revista de Agricultura y Tecnología de los Alimentos*, 4 (2), 13-20.

Arriagada, O., Schwember, AR, Greve, MJ, Urban, MO, Cabeza, RA y Carrasco, B. (2021). La caracterización morfológica y molecular de genotipos seleccionados de frijol chileno (*Phaseolus coccineus* L.) muestra una variabilidad agronómica y genética moderada. *Plantas*, 10 (8), 1688.

Al-Hassan, M., Morosan, M., López-Gresa, MDP, Prohens, J., Vicente, O., & Boscaiu, M. (2016). La variación inducida por la salinidad en los marcadores bioquímicos proporciona información sobre los mecanismos de tolerancia a la sal en el frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y el frijol (*P. coccineus*). *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 17(9), 1582.

Alegría-León, J., & Farrera-Olea, J. J. (2022). Manual de obtención, caracterización y uso de harinas y almidones de fuentes no convencionales.

Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales.

Aremu, MO, Olaofe, O., Basu, SK, Abdulazeez, G. y Acharya, SN (2010). Harina de semilla de frijol arándano procesada (*Phaseolus coccineus* L.) para la dieta africana. *Revista Canadiense de Ciencias Vegetales*, 90 (5), 719-728.

Alavi, S. y Caussat, B. (2005). Estudio experimental sobre fluidización de polvos micrónicos. *Tecnología de Polvos*, 157(1-3), 114-120.

Ayala-Garay, A. V., Acosta-Gallegos, J. A., & Reyes-Muro, L. (2021). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Inifap. [https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/media/librotecnico/123195085\\_El\\_cultivo\\_del\\_frijol\\_presente\\_y\\_futuro\\_para\\_M%C3%A9xico.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/librotecnico/123195085_El_cultivo_del_frijol_presente_y_futuro_para_M%C3%A9xico.pdf)

Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, JN, & García-Morales, S. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y contenido antinutricional de legumbres: una comparación entre cuatro especies de *Phaseolus*. *Moléculas*, 25 (15), 3528.

Álvarez-Salas, L. M., & Turbay-Ceballos, S. (2009). El frijol petaco (*Phaseolus coccineus*) y la maravilla (*Phaedranassa sp.*): aspectos etnobotánicos de dos plantas alimenticias de origen americano en el Oriente antioqueño, Colombia. *Agroalimentaria*, 15(29), 101-113.

Alfaro-Díaz, A., Urías-Silvas, JE, Loarca-Piña, G., Gaytán-Martínez, M., Prado-Ramírez, R., & Mojica, L. (2021). Propiedades tecnofuncionales del concentrado proteico de frijol negro tratado térmicamente y generado mediante un proceso de ultrafiltración. *Lwt*, 136, 110296.

Abu-Ghannam, N. I. S. S. R. E. E. N., & McKenna, B. (1997). Hydration kinetics of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 62(3), 520-523.

Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality* ( Vol. 86, pp. 71-75). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Barbosa-Fuentes, C. C. (2019). Estudio reológico y determinación de las propiedades fisicoquímicas del mucílago de semilla de chía (*Salvia hispánica* L.)

Barriga-Macedo, S. H., & Sánchez-Ledesma, C. L. (2019). Propiedades tecnofuncionales de la pasta de trigo adicionada con proteína de *Phaseolus coccineus* L.

Binelo, MO, de Lima, RF, Khatchatourian, OA y Stránský, J. (2019). Modelado de la fuerza de arrastre de semillas agrícolas aplicado al método de elementos discretos. *Ingeniería de Biosistemas*, 178, 168-175.

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

Chacón S, M. I., Pickersgill, B., & Debouck, D. G. (2005). Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and andean cultivated races. *Theoretical and Applied Genetics*, 110, 432-444.

Chandra, S., Singh, S. y Kumari, D. (2015). Evaluación de propiedades funcionales de harinas compuestas y atributos sensoriales de galletas de harina compuesta. *Revista de ciencia y tecnología de los Alimentos*, 52, 3681-3688.

Charley, H. (1987). Leguminosas. Avila, F. A. G., & Torres, M. E. S. Tecnología de alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos (No. 968-18-1953-5. 01-A1 LU. AL-TcAl. 1., pp 623-636). Limusa.

Corzo-Ríos, LJ, Sánchez-Chino, XM, Cardador-Martínez, A., Martínez-Herrera, J., & Jiménez-Martínez, C. (2020). Efecto de la cocción sobre compuestos nutricionales y no nutricionales en dos especies de *Phaseolus* (*P. vulgaris* y *P. coccineus*) cultivadas en México. *Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos*, 20, 100206.

Costache, A. M. (2021). Propiedades tecnofuncionales del coproducto del zumo de naranja en polvo para uso como ingrediente en alimentación humana (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Chaparro, S. P., Gil, J. H., & Aristizabal, I. D. (2011). Efecto de la hidratación y la cocción en las propiedades físicas y funcionales de la harina de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Vitae*, 18(2), 133-143.

Enwere, N. J., McWatters, K. H., & Phillips, R. D. (1998). Effect of processing on some properties of cowpea (*Vigna unguiculata*), seed, protein, starch, flour and akara. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49(5), 365-373.

Escalante-Estrada, J. A., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2015). Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. *Bioagro*, 27(2), 75-82.

Espinosa-Ramírez, J., Mariscal-Moreno, RM, Chuck-Hernández, C., Serna-Saldivar, SO, & Espiricueta-Candelaria, RS (2022). Efectos de la sustitución de harina de trigo por harina de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) cruda o germinada sobre las propiedades nutricionales y la calidad del pan. *Revista de Ciencia de los Alimentos*, 87(9), 3766-3780.

Escalante-Estrada, JAS, Rodríguez-González, MT, & Escalante-Estrada, YI (2017). Modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie. *Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Manual TI.-© ECORFAN, Texcoco de Mora, México*, 9-17.

Duarte, E. R., Mangeón, V., Küppers, G., Rocha, P., & Niella, F. (2017). Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). *Caldasia*, 39(2), 388-399.

Ferreira, CD, Ziegler, V., da Silva Lindemann, I., Hoffmann, JF, Vanier, NL y de Oliveira, M. (2018). Calidad de los frijoles negros en función del almacenamiento a largo plazo y del desarrollo de moho: propiedades químicas y funcionales de la harina y la proteína aislada. *Química de los Alimentos*, 246, 473-480.

Fabián, E., & Lucía, L. (2022). *Obtención de hidrolizados proteicos de frijol ayocote y su caracterización* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).

FAO. 2016. Legumbres: semillas nutritivas para un futuro sostenible. Rome. <https://doi.org/10.4060/i5528s>

Gomes, L. (2023). *Phaseolus Coccineus*: Cuidados y Características del Ayocote Frijol. Grama-cesped.com. <https://grama-cesped.com/plantas/como-cuidar-phaseolus-coccineus>

García-Narváez, A. L., Hernández-Delgado, S., Chávez-Servia, J. L., & Mayek-Pérez, N. (2020). Morphological and agronomic variability of bean germplasm cultivated in Oaxaca, México. *Revista Bio Ciencias*, 7.

García, O., Aiello, C., Chirino, M. C. P., Ruíz-Ramírez, J., & Pons, I. A. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919-928.

Guiñazú-Fernández, C. (2020). Harinas sin gluten de origen vegetal para el desarrollo de productos alimentarios. Aplicaciones, propiedades nutricionales y características funcionales.

Guerra-García, A., Suárez-Atilano, M., Mastretta-Yanes, A., Delgado-Salinas, A., & Piñero, D. (2017). Domestication genomics of the open-pollinated scarlet runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8, 1891.

Gutiérrez-Rodríguez, M., Escalante-Estrada, J. A., Rodriguez-Gonzalez, M. T., & Reynolds, M. P. (2004). Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno.

Granito, M., Guerra, M., Torres, A., & Guinand, J. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna Sinensis*. *Interciencia*, 29(9), 521-526.

Hernández-Delgado, S., Muruaga-Martínez, JS, Vargas-Vázquez, MLP, Martínez-Mondragón, J., Chávez-Servia, JL, Gill-Lagarica, HR, & Mayek-Pérez, N. (2015). Avances en el análisis de la diversidad genética de *Phaseolus* en México. *Enfoques Moleculares de la Diversidad Genética*, 1, 47-73.

Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2000). Association of official analytical chemists. *Gaithersburg, MD, USA*.

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.

Kamath, S., Puri, VM y Manbeck, HB (1994). Medición de la propiedad de flujo utilizando la celda Jenike para harina de trigo con diversos contenidos de humedad y tiempos de consolidación. *Tecnología de Polvos*, 81 (3), 293-297.

Kaur, M. y Singh, N. (2005). Estudios sobre propiedades funcionales, térmicas y pastantes de harinas de diferentes cultivares de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Química de los Alimentos*, 91 (3), 403-411.

Kinyanjui, P. K., Njoroge, D. M., Makokha, A. O., Christiaens, S., Ndaka, D. S., & Hendrickx, M. (2015). Hydration properties and texture fingerprints of easy-and hard-to-cook bean varieties. *Food Science & Nutrition*, 3(1), 39-47.

López-Báez, L. I., Taboada-Gaytán, O. R., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Ortiz-Torres, E., Vargas-Vázquez, M. L. P., & Díaz-Cervantes, R. (2018). Diversidad morfoagronómica del frijol ayocote en el altiplano centro-oriente de Puebla. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(4A), 487-497.

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

Lopez, L., y Gonzalez, G. (2022). El ayocote, un gran frijol. CONAHCYT. <https://www.ciad.mx/el-ayocote-un-gran-frijol/>

- López-Ibarra, C. (2018). *Evaluación de las características nutricionales y funcionales del concentrado proteico de Phaseolus acutifolius gray* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Lopez-Martinez, L. X. (2020). Bioactive compounds of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*, 1-17.
- Mazhar, K. A. R. A., Sayinci, B., Elkoca, E., ÖZTÜRK, İ., & ÖZMEN, T. (2013). Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. *Journal of Agricultural Sciences*, 19(3), 219-234.
- Márquez-Siguas, B. M. (2014). Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones.
- Mirzabe, A. H., Hajiahmad, A., & Asadollahzadeh, A. H. (2021). Moisture-dependent engineering properties of arugula seed relevant in mechanical processing and bulk handling. *Journal of Food Process Engineering*, 44 (6), e13704.
- Mariscal-Moreno, R. M., Chuck-Hernández, C., Figueroa-Cárdenas, J. D. D., & Serna-Saldivar, S. O. (2021). Physicochemical and nutritional evaluation of bread incorporated with ayocote bean (*Phaseolus coccineus*) and black bean (*Phaseolus vulgaris*). *Processes*, 9(10), 1782.
- Magalhaes-Amade M., J. Auke-Postma and J. Paul-Lynch. (2015). Phene synergism between root hair length and basal root growth angle for phosphorus acquisition. *Plant Physiology*. 167: 1430-1439.
- Martínez-Mondragón, J. (2018). Análisis de la diversidad genética en *Phaseolus sp.*
- Mosisa, MT. (2017). Efecto del procesamiento sobre la composición próxima y mineral de la harina de frijol negro trepador (*P. coccineus* L.). *Revista Africana de Ciencias de los Alimentos*, 11 (3), 74-81.  
<https://academicjournals.org/journal/AJFS/article-full-text/BD6079163122>

Mendoza, M. C., Vallejo, P. R., González, F. C., & Colín, S. M. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 111-119.

Mondragón-Pichardo Juana. (2009, 22 julio). *Phaseolus coccineus* L. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/phaseolus-coccineus/fichas/ficha.htm>

NMX-AA-005-SCFI-2013. Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000). Secretaría de economía. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166764/nmx-aa-005-scfi2013.pdf>

Oyededeji, A. B., Sobukola, O. P., Green, E., & Adebo, O. A. (2021). Physical properties and water absorption kinetics of three varieties of Mucuna beans. *Scientific Reports*, 11(1), 5450.

Omobuwajo, TO, Akande, EA y Sanni, LA (1999). Propiedades físicas, mecánicas y aerodinámicas seleccionadas de las semillas del fruto del pan africano (*Treculia africana*). *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 40 (4), 241-244.

Pedrali, D., Proserpio, C., Borgonovi, S. M., Zuccolo, M., Leoni, V., Borgonovo, G., & Giupponi, L. (2022). Nutritional characterization and novel use of “copafam” bean (*Phaseolus coccineus* L.) for the Sustainable Development of Mountains Areas. *Sustainability*, 14(20), 13409.

Pablo-Pérez, M., Lagunes-Espinoza, L. D. C., López-Upton, J., Ramos-Juárez, J., & Aranda-Ibáñez, E. M. (2013). Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de *Lupinus silvestres*. *Bioagro*, 25(2), 101-108.

Pruneda, A. (2018). 6 razones para comer ayocotes y 5 ideas para prepararlos. <https://www.cocinadelirante.com/tips/beneficios-de-los-frijoles-ayocotesmorados>

- Porras-Saavedra, J., Palacios-González, E., Lartundo-Rojas, L., Garibay-Febles, V., Yáñez-Fernández, J., Hernandez-Sanchez, H., & Alamilla-Beltran, L. (2015). Propiedades microestructurales y distribución de componentes en micropartículas obtenidas por secado por aspersión. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 152, 105-112.
- Pacheco, Y. G., Mercado, D. C., Santos, J. A. B., & Arrieta, M. J. C. (2019). Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tecfuncionales de la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus* L.) y la determinación de su potencial uso agroalimentario. *INGE CUC*, 15(2), 132-142.
- Rodríguez, A. S. (2004). Desarrollo y evaluación de harina para tortillas a base de maíz y harina de soya parcialmente desgrasada (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2014).
- Rosales-Vicelis, E. J. (2019). Efecto del ácido salicílico en el desarrollo del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), en minirizotrones (bachelor's thesis, benemérita universidad autónoma de Puebla).
- Rodino, AP, Lema, M., Pérez-Barbeito, M., Santalla, M. y De Ron, AM (2007). Evaluación del germoplasma de frijol (*Phaseolus coccineus* L.) para determinar la tolerancia a las bajas temperaturas durante el crecimiento temprano de las plántulas. *Eufítica*, 155 (1-2), 63-70.
- Rulli, M. C., Bellomi, D., Cazzoli, A., De Carolis, G., & D'Odorico, P. (2016). The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific reports*, 6 (1), 22521.
- Salazar, R. R., Delgado, S. H., Vázquez, M. L. P. V., & Pérez, N. M. (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://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n3.32297>
- Salinas, A. D., & López, S. G. (2015) Cultura, patrimonio y futuro del frijol en México.

Schwember, AR, Carrasco, B. y Gepts, P. (2017). Desentrañando aspectos agronómicos y genéticos del frijol (*Phaseolus coccineus* L.). *Investigación de Cultivos Extensivos*, 206, 86-94.

SIAP. (2023, 15 abril). El ayocote, un frijol que es grande por su potencial. Recuperado 10 de enero de 2014, de <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-ayocote-un-frijol-que-es-grande-por-su-potencial?idiom=es>

Sangronis, E., Machado, C., & Cava, R. (2004). Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Caján cajan*) germinadas. *Interciencia*, 29 (2), 80-85. [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442004000200007&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442004000200007&script=sci_arttext)

SIAP, S. (2020). Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Salmeán, G. G., Ortega, M. H., Hernández, C. H., & Velázquez, S. O. (2019). Efecto de una bebida a base harinas de maíz chapalote y frijol ayocote sobre la composición corporal y las alteraciones de motilidad gastrointestinal en sujetos con obesidad abdominal: resumen de cartel presentada en el II congreso internacional del colegio Mexicano de nutriólogos "nutrición traslacional: investigación e implementación personalizada. *REDCieN*, 1, 1-1.

Sánchez-Villa, CE, Zepeda-Bautista, R., Ramírez-Ortiz, ME y Corzo-Ríos, LJ (2020). Tortillas nixtamalizadas suplementadas con proteínas aisladas de harina de *Phaseolus coccineus* y huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *Nuttalliae*): Propiedades reológicas, texturales y sensoriales. *Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos*, 22, 100274.

SAGARPA, S. (2023). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*.

Sapper, M. I. (2015). Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo.

Saraç, MG, Dedebaş, T., Hastaoğlu, E. y Arslan, E. (2022). Influencia del uso de harina de habichuela en la producción y propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de tortas veganas: técnicas WASPAS-SWARA. *Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos*, 27, 100489.

Sharma, V., Das, L., Pradhan, RC, Naik, SN, Bhatnagar, N. y Kureel, RS (2011). Propiedades físicas de la semilla de tung: un cultivo industrial que produce aceite. *Cultivos y Productos Industriales*, 33 (2), 440-444.

Teniente-Martínez, G., González-Cruz, L., Cariño-Cortés, R., & Bernardino-Nicanor, A. (2016). Caracterización de las proteínas del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). *Inv. y Des. en Cien. y Tec. de Aliment*, 1, 1-6.

Tobar Bächler, S. (2018). Innovación en legumbres. *Revista Chilena de Nutrición*, 45, 50-53.

Trujillo, T. D. J. R., León, M. V., & Orduño, M. G. (2016) Producción, postproducción y agrotecnias de semillas, hortalizas y frutas. Coadyuvantes en la seguridad alimentaria en México y Cuba.

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).

Vázquez, V., Patricia, M. L., Muruaga Martínez, J. S., & 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), 843-853.

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.

Vázquez, V., Patricia, M. L., Muruaga Martínez, J. S., Mayek Pérez, N., Pérez Guerrero, A., & Ramírez-Sánchez, S. E. (2014). Caracterización de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (2), 191-200.

Wani, I. A., Sogi, D. S., & Gill, B. S. (2013). Physical and cooking characteristics of black gram (*P haseolus mungoo* L.) cultivars grown in India. *International Journal of Food Science & Technology*, 48 (12), 2557-2563.

Wani, IA, Sogi, DS, Wani, AA y Gill, BS. (2017). Características físicas y culinarias de algunos cultivares de frijol indio (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Sociedad Saudita de Ciencias Agrícolas*, 16 (1), 7-15.

# **Capítulo VIII**

## **Anexos**

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**Teziutlán, Puebla, **15/enero/2024**

Asesor(a): **JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA**  
 Integrante de Comisión Revisora: **MAYRA NICOLAS GARCIA**  
 Integrante de Comisión Revisora: **ESPINOSA VALDES MARIA ELISA**  
 Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno(a): **ORTEGA CHINO FABIOLA**  
Apellido paterno/materno/nombre (s)  
 Número de Control: **19TE0384** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
 Plan: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0384@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es: **DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS MORFOMETRICOS, FISICO-QUIMICOS Y TECNO-FUNCIONALES DE LA SEMILLA DE AYOCOTE (PHASEOLUS COSSINEUS).**

25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente 5 días para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

**Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM**

Siendo el día: 3 de febrero de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

**JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA**  
 Nombre y Firma de la Asesor(a)

*Maria Elisa Espinosa Valdes*  
**ESPINOSA VALDES MARIA ELISA**  
 Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

R08/06/2023  
 Folio:56



GOBIERNO DEL ESTADO  
 S.E.P.  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO  
 SUPERIOR DE TEZIUTLÁN  
 SUBDIRECCIÓN  
 ACADÉMICA

**MAYRA NICOLAS GARCIA**  
 Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

*Myriam Sánchez Pérez*  
**MYRIAM SÁNCHEZ PÉREZ**  
 Subdirección Académica

F-SAC-18



TecNM y sus Institutos Tecnológicos, Teziutlán, Puebla, 01 de febrero de 2024. Hora 08:40 AM. Visto y firmado por el Asesor(a) y los integrantes de la Comisión Revisora.



LICENCIA DE USO OTORGADA POR Fabiola Ortega Chino, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle 16 Ignacio Allende, localidad El Jobo, Tlapacoyan, Veracruz, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada "Determinación de los parámetros morfométricos, físico-químicos y tecnológicos de la semilla de ayocote (*Phaseolus coccineus*)" en adelante "LA OBRA" quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se registrará por las cláusulas siguientes:

**PRIMERA –OBJETO:** "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

**SEGUNDA - TERRITORIO:** La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

**TERCERA -ALCANCE:** La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

**CUARTA – EXCLUSIVIDAD:** La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

**QUINTA – CRÉDITOS:** El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

**SEXTA – AUTORÍA:** "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, al **primer** día del mes **febrero** de 2024.

"EL(LA) AUTOR(A) Y/O  
EL(LA) TITULAR",



**Fabiola Ortega Chino**  
Nombre y Firma

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN"

**Arminda Juárez Arroyo**  
Directora General  
Nombre, Firma y Sello



Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL (LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y  
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

**FABIOLA**

**ORTEGA**

**CHINO**

Con Número de  
Control **19TE0384**

Perteneciente  
al Programa **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con  
el producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS, FÍSICO-QUÍMICOS Y TECNO-FUNCIONALES DE LA SEMILLA DE AYOCOTE (*PHASEOLUS COCCINEUS*).**

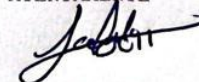
Correspondiente al periodo:

**AGOSTO-DICIEMBRE 2023**

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

**DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS  
ESPINOSA**

ATENTAMENTE



FABIOLA ORTEGA CHINO

Nombre y firma

Fecha de emisión: **01/02/2024**  
c.c.p. Subdirección Académica