

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN**



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y DE COMPUESTOS  
BIOACTIVOS DEL FRIJOL TEPARI (*Phaseolus acutifolius* Gray)  
CULTIVADO EN NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

**POR**

**L.C.A. LAURA HEREDIA RODRÍGUEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN**

**NOVIEMBRE, 2017**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN**



**Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari  
(*Phaseolus acutifolius* Gray) cultivado en Nuevo León, México**

**Por**

**L.C.A. Laura Heredia Rodríguez**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias en Nutrición**

**Director de Tesis  
Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez**

**Monterrey, Nuevo León, México**

**Noviembre, 2017**

**Dr. en C.S. Esteban Gilberto Ramones Peña**  
**Subdirector de Investigación, Innovación y Posgrado**  
**Facultad de Salud Pública y Nutrición**  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto le comunicamos que hemos concluido la dirección y codirección de la tesis titulada: **“Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray) cultivado en Nuevo León, México”**, presentada por la L.C.A. Laura Heredia Rodríguez con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

Sin otro particular, le enviamos un cordial saludo.

Atentamente

*“Alere Flamma Veritatis”*

Monterrey, Nuevo León a 30 de noviembre de 2017

---

Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez

---

Dr. en C. Aurora de Jesús Garza Juárez

---

Dr. en C. Guillermo Niño Medina

## COMITÉ DE EVALUACIÓN DE TESIS

El comité de Evaluación de Tesis APROBÓ la tesis titulada: **“Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray) cultivado en Nuevo León, México”**, presentada por la L.C.A. Laura Heredia Rodríguez con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

Monterrey, Nuevo León a 30 de noviembre de 2017

---

Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez

---

Dr. en C. Aurora de Jesús Garza Juárez

---

Dr. en C. Guillermo Niño Medina

**Caracterización fisicoquímica  
y de compuestos bioactivos del frijol tepari  
(*Phaseolus acutifolius* Gray) cultivado  
en Nuevo León, México.**

**Aprobación de tesis:**

**Comité de Tesis**

---

Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez  
**Presidente**

---

Dr. en C. Aurora de Jesús Garza Juárez  
**Secretario**

---

Dr. en C. Guillermo Niño Medina  
**Vocal**

---

Dr. Esteban Gilberto Ramos Peña  
**Subdirector de Investigación, Innovación y Posgrado**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar a Dios, por darme sabiduría, salud, fuerza y paciencia para poder terminar mis estudios.

A mi familia y seres queridos por alentarme en este camino, por llenarme de amor, darme ánimos cuando más lo necesité y por enseñarme el sentido del trabajo, dedicación y pasión por la investigación.

A todos mis amigos de vida y compañeros de maestría por hacer de este proceso algo ameno.

A todos mis profesores por compartir su conocimiento y guiarme a adquirir nuevas competencias para mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. en C. Jesús Alberto Vázquez Rodríguez, Asesor de mi tesis, así como a la Dra. en C. Aurora de Jesús Garza Juárez, por sus valiosas sugerencias e interés, en la revisión del presente trabajo. De igual manera quisiera agradecer al Dr. en C. Guillermo Niño Medina y a la Dra. en C. Beatríz Rodríguez quienes me ayudaron en el desarrollo de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios.

Al Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública de la Facultad de Salud Pública y Nutrición, al Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por permitirme el uso de su equipo y su invaluable ayuda en el desarrollo de este estudio.

A mi familia por el apoyo moral que siempre me ha brindado y a todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de este trabajo.

## **LUGARES DE TRABAJO**

La presente tesis se desarrolló en el Laboratorio de Alimentos y Laboratorio de Bioquímica Nutricional del Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública de la Facultad de Salud Pública y Nutrición de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Así mismo, se desarrolló en el laboratorio ubicado en la unidad de Nutrición del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud, de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Por último, se desarrolló en el laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
2.1 Importancia de las leguminosas en la alimentación.....	4
2.2 El género <i>Phaseolus</i> : origen y especies a nivel mundial.....	5
2.3 El género <i>Phaseolus</i> y su importancia en la nutrición.....	7
2.4 Fitoquímicos presentes en el género <i>Phaseolus</i> .....	11
2.5 Frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> Gray) .....	18
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>23</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
4.1 Objetivo general.....	23
4.2 Objetivos específicos.....	23
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
5.1 Materiales, equipos y reactivos.....	24
5.2 Esquema general de análisis.....	25
5.3 Preparación de la muestra.....	25
5.4 Análisis proximal.....	27
5.5 Propiedades tecnológicas.....	28
5.6 Análisis del perfil de textura.....	30
5.7 Análisis cualitativo de compuestos bioactivos y grupos funcionales.....	31

5.8 Obtención del extracto a partir de la testa de frijol.....	32
5.9 Cuantificación de fenoles totales a partir de la testa de frijol.....	32
5.10 Cuantificación de flavonoides totales a partir de la testa de frijol.....	33
5.11 Cuantificación de taninos condensados a partir la testa de frijol.....	34
5.12 Capacidad antioxidante del extracto por el método de DPPH.....	35
5.13 Capacidad antioxidante del extracto por el método de ABTS.....	35
5.14 Determinación de capacidad antioxidante del extracto por FRAP.....	36
5.15 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.....	37
5.16 Análisis estadístico.....	38
<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
6.1 Análisis proximal de los genotipos de frijol.....	39
6.2 Propiedades tecnológicas de los genotipos de frijol.....	40
6.3 Análisis del perfil de textura de los genotipos de frijol.....	40
6.4 Análisis de los grupos funcionales de los genotipos de frijol.....	42
6.5 Cuantificación de polifenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados a partir la testa de frijol.....	42
6.6 Determinación de la capacidad antioxidante a partir de la testa de frijol.....	43
6.7 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.....	43
<b>VII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
7.1 Análisis proximal de los genotipos de frijol.....	46
7.2 Propiedades tecnológicas de los genotipos de frijol.....	47
7.3 Análisis del perfil de textura de los genotipos de frijol.....	49
7.4 Análisis de los grupos funcionales de los genotipos de frijol.....	50

7.5 Cuantificación de polifenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados a partir la testa de frijol.....	51
7.6 Determinación de la capacidad antioxidante a partir de la testa de frijol.....	52
7.7 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.....	54
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>IX. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
Kcal/g	Kilocalorías por gramo.
FDA	Administración de alimentos y medicamentos.
EE. UU.	Estados Unidos de América
cm	Centímetros
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
ABTS	Ácido 2,2 azino bis (3-etilbenzo tiazolin-6 sulfónico)
FRAP	Poder antioxidante de reducción férrica
ELN	Extracto libre de nitrógeno.
g/semilla	Gramos por semilla
mL/g	Mililitros por gramo
g/g	Gramo por gramo
N	Newton, unidad de dureza
Kg	Kilogramo
Kg. s	Kilogramo por segundo
mg/100 g	Miligramos por cien gramos
%	Porcentaje
g	Gramo
mL	Mililitro
°C	Grados Celsius
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
WAC	Capacidad de absorción de agua
OAC	Capacidad de absorción de aceite
min	Minutos
rpm	Revoluciones por minuto
AMG	Amiloglucosidasa
v/v	Volumen por volumen
KOH 2 M	Hidróxido de potasio 2 molar

nm	Nanómetros
GOPOD	Reactivo de glucosa/peroxidasa
TPA	Análisis de perfil de textura
mm/min	Milímetros por minuto
mg	Miligramos
NaOH	Hidróxido de sodio
HCl	Ácido clorhídrico
KMnO <sub>4</sub>	Permanganato de potasio
pH	Concentración de iones hidrógeno [H] <sup>+</sup> presentes en determinadas disoluciones
μL	Microlitros
H <sub>2</sub> O	Agua
NaCO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio
NaNO <sub>2</sub>	Nitrito de sodio
AlCl <sub>3</sub>	Cloruro de aluminio
NaOH	Hidróxido de sodio
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
Mm	Milimolar
KS <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Persulfato de potasio
μM	Micromolar
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución (High Performance Liquid Chromatography)
ACN	Acetonitrilo
ANOVA	Análisis de varianza
SPSS	Programa estadístico informático muy usado en las ciencias exactas, sociales y aplicadas, además de empresas de investigación.
TC	Tiempos de cocción
CH	Capacidad de hidratación
IH	Índice de hidratación
IHI	Índice de hinchamiento
AR	Almidón resistente

ANR	Almidón no resistente
$r^2$	Coefficiente de determinación
PT	Fenoles totales
FT	Flavonoides totales
TC	Taninos condensados
mgEAG/g	Miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo
mgECat/g	Miligramos equivalentes de catequina por gramo
$\mu\text{molET/g}$	Micromoles equivalentes de trolox por gramo
AF	Ácido ferúlico
CA	Catequina
AG	Ácido gálico
AS	Ácido sinápico
mgEAF/g	Miligramos equivalentes de ácido ferúlico por gramo
mgECat/g	Miligramos equivalentes de catequina por gramo
mgEAG/g	Miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo
mgEAS/g	Miligramos equivalentes de ácido sinápico por gramo
NI	No se identificó
mEC /g	Miliequivalentes de catequina por gramo

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Características nutricionales del frijol común.	9
<b>2</b>	Compuestos fenólicos extraíbles comunes en alimentos de origen vegetal.	13
<b>3</b>	Curva de calibración para determinación de fenoles totales.	33
<b>4</b>	Curva de calibración para flavonoides totales.	34
<b>5</b>	Curva de calibración para taninos condensados.	35
<b>6</b>	Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante.	36
<b>7</b>	Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante por método de FRAP.	37
<b>8</b>	Programa de Gradiente.	38
<b>9</b>	Composición proximal de semillas de frijol Tepari ( <i>P. acutifolius</i> Gray) y frijol común ( <i>P. vulgaris</i> L.).	39
<b>10</b>	Propiedades tecnológicas del frijol Tepari ( <i>P. acutifolius</i> Gray) y dos variedades de frijol común ( <i>P. vulgaris</i> L.).	41
<b>11</b>	Análisis del perfil de textura de semillas del frijol Tepari ( <i>P. acutifolius</i> Gray) y frijol común ( <i>P. vulgaris</i> L.).	41
<b>12</b>	Análisis cualitativo de grupos funcionales de frijol	42
<b>13</b>	Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la testa de frijol	43
<b>14</b>	Compuestos fenólicos identificados por HPLC en genotipos de frijol.	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Ubicación geográfica de los principales hallazgos del frijol común ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y años de antigüedad.	6
<b>2</b>	Especie <i>Phaseolus acutifolius</i> Gray.	18
<b>3</b>	Vaina de <i>Phaseolus acutifolius</i> Gray.	19
<b>4</b>	Semillas de <i>Phaseolus acutifolius</i> Gray.	19
<b>5</b>	Esquema general de análisis.	26
<b>6</b>	Gráfica para el perfil de textura general.	31
<b>7</b>	Cromatogramas típicos a una longitud de onda de 320 nm del frijol tepari, frijol pinto y frijol jamapa.	45

## RESUMEN

Las leguminosas aportan grandes beneficios a la salud e incluso se han reconocido como alimentos funcionales. De ellas, el género *Phaseolus* abarca alrededor de 150 especies, de las cuales pocas son utilizadas para la alimentación humana. El frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray) es una especie distribuida en el desierto sonorense de Norte América, siendo tolerante a sequías, a altas temperaturas y a ciertas plagas. Esta especie ha sido poco estudiada en los últimos años respecto a su potencial nutricional y nutraceutico. El objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos del frijol tepari (*P. acutifolius* Gray) cultivado en Nuevo León, México y compararlo con dos genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) por su alto consumo y por la gran cantidad de información científica que existe de ellos, tales como el frijol pinto americano y el frijol negro jamapa. El frijol tepari presentó altos valores de proteína bruta ( $20.50 \pm 0.29$ ) y carbohidratos totales ( $49.46 \pm 2.02$ ) respecto a las variedades de frijol común. En cuanto a propiedades tecnológicas, el frijol tepari presentó menores tiempos de cocción con respecto al frijol pinto. Así mismo, presentó mayor capacidad e índice de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y absorción de aceite que las dos variedades de frijol común. Por último, presentó menor cantidad de fibra dietética, a diferencia del frijol pinto y jamapa. Respecto al perfil de textura, se pudo observar que en semillas de frijol tepari remojadas por ocho horas, disminuyeron significativamente diversos parámetros como la dureza, cohesividad, masticabilidad y adhesividad, resaltando así la importancia de remojar las semillas previo a la cocción para acelerar su tiempo de cocción. El frijol tepari, presentó una cantidad de fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y niveles de capacidad antioxidante diferentes a la de las variedades de frijol común, sin embargo, éste se pudo comparar con otras especies de leguminosas como el cacahuate y frijol caupí. Por último, se encontró por análisis cromatográfico que el frijol tepari presenta compuestos tales como el ácido gálico, ácido ferúlico y catequina en diferentes concentraciones, al igual que los genotipos de frijol común. Por lo anterior se puede concluir que el frijol tepari representa un alimento alternativo con una buena calidad nutricional, tecnológica y funcional con posible aceptación por parte del consumidor.

## ABSTRACT

Legumes provide health benefits and have been recognized as functional foods. Of these, the genus *Phaseolus* consists of about 150 species, of which few are used for human consumption. Tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray) is distributed in the Sonoran Desert of North America and is also tolerant to drought, high temperatures and certain pests, which has not been studied extensively in recent years regarding its nutritional and nutraceutical potential.

The objective of this work was to study the physico - chemical composition and the bioactive compounds of the tepary bean (*P. acutifolius* Gray) grown in Nuevo León, Mexico and to compare it with two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, such as pinto americano and black jamapa beans, because of their high consumption and its available scientific information. Tepary beans presented high values of crude protein ( $20.50 \pm 0.29$ ) and total carbohydrates ( $49.46 \pm 2.02$ ) with respect to common bean varieties. As for technological properties, the tepary beans had shorter cooking times compared to pinto beans. Likewise, it presented greater swelling capacity and index, a greater water and oil absorption capacities than the two varieties of common bean. Finally, it presented lower amount of dietary fiber with respect to pinto and jamapa beans. Regarding the texture profile, it was observed that tepary bean seeds soaked for eight hours, different parameters such as hardness, cohesiveness, chewiness and adhesiveness were significantly reduced, thus highlighting the importance of soaking the seeds prior to cooking to accelerate their cooking times. The tepary beans presented a number of total phenols, total flavonoids, condensed tannins and antioxidant capacity significantly different from those of common bean varieties; however, tepary beans values could be compared with other legume species such as peanuts and cowpea beans. Finally, it was found in a chromatographic analysis that tepary beans have compounds such as gallic acid, ferulic acid and catechin in different concentrations, as well as common bean genotypes. In conclusion, it can be said that tepary bean represents an alternative food with a good nutritional, technological and functional quality with possible acceptance by the consumer.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un incremento en el consumo de alimentos de origen vegetal, los cuales contribuyen significativamente a la alimentación humana, de los cuales se puede obtener un porcentaje de energía alimentaria considerable (FAO, 2014). Uno de los alimentos de origen vegetal ampliamente consumidos a nivel mundial es el frijol común o *Phaseolus vulgaris* L., perteneciente al género *Phaseolus*, el cual consta alrededor de 150- 200 especies conocidas (Rodríguez-Rivera y Simón-Magro, 2008). Este alimento, además de ser de bajo costo y fácil adquisición, es un alimento rico en proteínas de alta calidad, hidratos de carbono complejos, minerales, fibra dietética y otros compuestos bioactivos, los cuales juegan un papel importante en la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (Duarte-Martino et al., 2012).

A su vez, se han observado cambios climáticos que destacan por temporadas amplias de sequías, altas temperaturas y poca cantidad de lluvia. Aunado a esto, han incrementado las plagas resistentes a plaguicidas (Fatuase, 2017), por lo que la pérdida de cultivos destinados para la alimentación humana ha incrementado considerablemente. Tras esta problemática, los productores de frijol se han visto en la tarea de desarrollar cultivos resistentes a las condiciones climáticas adversas, así como resistentes a plagas, que además de estas cualidades, el aporte nutricional de los mismos sea adecuado para la nutrición humana (Fatuase, 2017).

Cabe mencionar, que existen especies de frijol las cuales, naturalmente, son resistentes a condiciones de estrés climático, hídrico y biológico, tal como el frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray) (Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos, 2012). Diversas investigaciones se han realizado sobre esta especie en diferentes lugares; sin embargo, dicha información es limitada y realizada hace décadas, lo cual conlleva a realizar investigación actualizada sobre el potencial nutricional y nutracéutico, especialmente sobre el aporte de compuestos antioxidantes, que ofrece este alimento a la población.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Importancia de las leguminosas en la alimentación.

Las semillas de cereales y leguminosas son considerados alimentos completos; contienen almidón, fibra dietética, proteínas, lípidos y algunos micronutrientes como vitaminas y también minerales, tales como calcio, hierro, potasio, magnesio y zinc, que están disponibles para la alimentación directa e indirecta del hombre; razón por la cual durante muchos años han constituido la fuente principal para el suministro de energía y proteína dietaria humana, especialmente en los países en desarrollo. Así mismo, son bajos en sodio y al ser un alimento de origen vegetal, no contienen colesterol (Elizalde, Porrilla y Chaparro, 2009; Piecyk et al., 2012). La composición de todos los nutrientes de las leguminosas, en conjunto, los hace alimentos ideales para cumplir con las recomendaciones dietéticas. Sin embargo, el número de especies de leguminosas que se utilizan como granos secos es muy reducido, ya que sólo se destinan para dicho fin alrededor de 150 especies (Fraile et al., 2007; Rodríguez-Rivera y Simón-Magro, 2008).

El valor energético de las leguminosas depende de los niveles y la distribución de los lípidos, carbohidratos y proteínas. El aporte calórico medio oscila entre 1.3 Kcal/g (Mudryjet al., 2014). Así mismo, el atributo nutricional más importante de las leguminosas es su efecto suplementario sobre las dietas compuestas por cereales. Si bien los cereales y las leguminosas ofrecen perfiles de proteínas distintas, la complementación aminoacídica que se produce al combinar cereales con leguminosas es equivalente a la que se obtiene al ingerir proteína de mayor calidad como la de origen animal (Bressani, 2002; Fraile et al., 2007; Mudryj et al., 2014). Un inconveniente que presentan las leguminosas son los llamados factores antinutrimientales; sin embargo, existen diversos estudios que demuestran que estos compuestos, en pequeñas cantidades pueden tener efectos benéficos en el organismo, razón por la cual en los últimos años se les ha denominado como compuestos bioactivos (Elizalde, Porrilla y Chaparro, 2009).

Los beneficios que aportan las leguminosas a la salud se han reportado ampliamente, llegándose a reconocer incluso como alimentos funcionales que

promueven la salud y que poseen propiedades terapéuticas (Chon, 2013). Las leguminosas tienen bajos índices glucémicos (Zhang et al., 2011), han demostrado tener efectos hipocolesterolémicos y contienen fitoquímicos que pueden actuar como agentes quimiopreventivos (Vasconcelos y Gomes, 2016).

Dentro del grupo de las leguminosas, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado originario de América. Representa una de las principales fuentes calórico-proteica en países de Asia, África y América Latina (FDA, 2007; FAO, 2008). La importancia de esta leguminosa radica en que es considerada como una fuente de alimento y sustituto de otros nutrientes en la sociedad, sobre todo en países donde el ingreso *per cápita* limita la adquisición de alimentos de alto valor proteico, pero de mayor valor económico, como los productos alimenticios de origen animal (Reyes-Rivas, Padilla-Bernal, Pérez-Reyna y López-Jaquéz, 2008).

## **2.2 El género *Phaseolus*: origen y especies a nivel mundial**

En América Latina la especie *Phaseolus vulgaris* L. se ha registrado con distintos nombres, cuando se consume el grano seco lo identifican como fríjol, frisol, fréjol, frejol, habichuela, poroto, caranota, chuwi, habilla, judía o alubia, principalmente. Al ser ingerido como leguminosa se le denomina chaucha, habichuela, vainita y tabla. En Europa el ayacote mexicano es identificado como *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, judía, *Vicia*, *Vigna*, *Canavalia*, *Cajanus* y soya. Los ingleses lo denominaron “beans” por su semejanza con un insecto llamado “bean weevil” (Flores, 2004). Lo anterior, hace suponer que las diferentes denominaciones podrían obedecer a especies diversas y no propiamente a variedades de *Phaseolus vulgaris* L.

Los estudios arqueológicos revelan que el frijol, del género *Phaseolus*, se origina en el continente americano (De-Ron y Santalla, 2013). Como se puede ver en la figura 1, se han encontrado evidencias con antigüedad de 500 a 8 mil años en algunas regiones de México, Estados Unidos y Perú (Voyses, 2000). Existe un acuerdo respecto a su origen, que es México, lugar donde se diseminaron las primeras

semillas hacia el sur del continente americano y el sitio en el que llega a cultivarse (Voysesst, 2000; Paredes-López et al., 2006).

Estudios realizados con marcadores moleculares han sugerido que algunas especies de *Phaseolus* pudieron haber sido domesticadas en el Occidente de México. Garvin y Weeden (1994), indican que los estados de Sinaloa y Jalisco son áreas geográficas potenciales para el origen de *P. acutifolius* Gray, mientras que para el caso de *P. vulgaris* L. se ha propuesto la región centro-occidente (Jalisco-Guanajuato) como lugar de domesticación (Gepts et al., 1986).

A pesar de no haber claridad en la actualidad sobre el número de especies del género *Phaseolus*, Freytag y Debouck, (2002) presentan una lista tentativa de especies distribuidas exclusivamente en Mesoamérica y EE. UU., cinco de las cuales incluyen a las formas cultivadas de *P. vulgaris* L. (frijol común), *P. acutifolius* Gray (frijol tepari), *P. coccineus* subsp. *Coccineus* (frijol ayocote, patol, botil), *P. polyanthus* (frijol acalete, botil, ibis) y *P. lunatus* (frijol lima, patachete). La región Mesoamericana es considerada centro primario de diversidad de las especies cultivadas del frijol, de sus parientes silvestres y de cerca de otras 80 especies de *Phaseolus*.



Figura 1. Ubicación geográfica de los principales hallazgos del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y años de antigüedad. Adaptado de (Reyes-Rivas, Padilla et al., 2008).

### **2.3 El género *Phaseolus* y su importancia en la nutrición**

Dentro de las leguminosas, el frijol es una de las especies más importantes a nivel mundial. Se sabe que, en América, este alimento constituye la segunda fuente de proteína vegetal (Espinosa-Alonso, 2006). Tan sólo en México, el consumo de este alimento ha cobrado importancia desde la época prehispánica. En la actualidad, el consumo *per cápita* de frijol en México se ha estimado en 8.4 kilogramos, observándose una tendencia a la baja, ya que pasó de un consumo *per cápita* de 16 kilogramos en la década de 1980 a los 8.4 kilogramos mencionados anteriormente. Se cree que lo anterior puede atribuirse a diversos factores, entre los que se pueden mencionar la migración, el urbanismo, cambios en el poder adquisitivo de la población en general y la incorporación de la mujer a la actividad laboral. Asimismo, también se ha presentado la sustitución del consumo de frijol en grano por frijol industrializado, debido a la facilidad que representa su uso con respecto al frijol en grano (FIRA, 2016).

El consumo de frijol en conjunto con el maíz constituye parte de la dieta básica en gran parte de la población. Esta combinación potencializa el valor nutritivo de la proteína ingerida. Dentro de las características que destacan el valor nutritivo de las leguminosas es que aportan 2-3 veces más proteínas que los cereales (Siddiq et al., 2010). En general, el frijol es considerado como un alimento rico en macronutrientes como proteína (16-33%), hidratos de carbono (50 – 70%), constituidos principalmente por almidón (35 – 60%) y fibra dietaria (14 – 19%), y en menor proporción por oligosacáridos (2 – 6%), favorablemente posee menor cantidad de lípidos (1-3%), así como vitaminas y micronutrientes que potencializan su valor nutritivo. Además de esto, posee otros componentes que brindan beneficios a la salud tal como los flavonoides, antocianinas, proantocianidinas, flavanoles, ácidos fenólicos e isoflavonas (Lin et al., 2008; Granito et al., 2008). En la tabla 1, se muestran las principales características nutricionales del frijol común y sus efectos biológicos.

Los hidratos de carbono son el componente principal del género *Phaseolus* ya que se encuentran en cantidades apreciables, representando 50-70% (Tabla 1) de la

materia seca (Ovando-Martínez et al., 2011). Diversos polisacáridos constituyen los componentes principales de estos carbohidratos junto con derivados de carbohidratos como los oligosacáridos (Reynoso-Camacho et al., 2006). Entre todos los carbohidratos, el almidón es el principal carbohidrato encontrado en los frijoles de diferentes formas.

El frijol también contiene cantidades considerables de fibra dietética cuyos constituyentes son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado; sin embargo, se fermentan parcial o totalmente en el intestino grueso, dando lugar a diversos compuestos que generan un impacto fisiológico benéfico para la salud (Costa et al., 2006). La fibra dietética se divide en dos tipos, la fibra soluble e insoluble. La fibra insoluble consiste en celulosa, hemicelulosa y lignina que mejoran principalmente el movimiento del material a través del sistema digestivo, mejorando así la deposición, mientras que las fracciones solubles consisten en oligosacáridos, glucanos y galactomananos que ayudan a reducir el colesterol en la sangre y a regular los niveles de glucosa en sangre (Rodríguez et al., 2006).

En contraste con el contenido de proteínas de los cereales, el contenido de proteínas del frijol común es igual al de productos de origen animal, ya que oscila entre el 16 y el 33% (Tabla 1) (Costa et al., 2006). Se ha reportado que las globulinas y las albúminas constituyen las principales fracciones proteicas en las proteínas de este alimento, mientras que las gluteninas y prolaminas se encuentran en fracciones menores (Adebowale et al., 2007). Las proteínas del frijol también contienen grandes cantidades de aminoácidos esenciales, incluida la lisina, que es deficiente en granos de cereales. Por lo tanto, los frijoles y las proteínas de los cereales son complementarios desde el punto de vista nutricional con respecto a los aminoácidos esenciales. Así, el consumo combinado de frijol y cereales satisface estas deficiencias garantizando una dieta equilibrada (Slupski, 2010).

Tabla 1. Características nutricionales del frijol común y sus efectos biológicos.  
Adaptado de (Espinosa-Alonso, 2006)

Componente	Contenido	RDA* (FAO, ONU, WHO)		Efecto biológico
		Niños	Adultos	
Hidratos de carbono %	50-70			Ingesta calórica
Almidón (%)	35-60			
Fibra dietaria (%)	14-19		25-30 g	
Fibra soluble (%)	3.3-7.6		30%	Baja los niveles de colesterol, mejora la tolerancia a la glucosa, reduce los requerimientos de insulina, promueve el buen funcionamiento del intestino.
Fibra insoluble (%)	0.1-3.1		70%	
Oligosacáridos (g/100 g)			3-12 g	
Rafinosa	0.19-0.22			
Estaquirosa	1.84-2.45			Reducción de los niveles de colesterol
Verbascosa	0.15-0.38			y presión sanguínea y anticancerígeno
Proteína (%)	16-33			
PER*	0.9-1.7			Construcción, mantenimiento y reparación de tejidos.
Digestibilidad de proteína (%)	52-75			
Metionina + cisteína (g/100 g de proteína)	2.24-2.53	1.7	2.25	
Lisina g/100 g de proteína).	8.7	1.6	5.8	Síntesis de carnitina.
Minerales (mg/100 g)				
Hierro	3.3-8		12-15mg	Transporte y almacenamiento de O <sub>2</sub> .
Calcio	70-210		1000-1200 mg	Contracción muscular y transmisión de impulsos nerviosos. Constitución ósea
Zinc	1.9-6.5		15 mg	Transportador de CO <sub>2</sub> e
Magnesio	160-230		350 mg	Immunoestimulante
Fósforo	380-570		800 mg	
Potasio	1320-1780		750 mg	
Sodio	4-21		500 mg	
Cobre	0.5-1.4		0.0015-0.003mg	
Manganeso	1-2		2.5 mg	
Ácidos grasos (g/100 g de aceite)				
Linoleico	21-28			Immunoestimulante y sustituto de drogas para reumatismo
Linolénico	37-54			
Vitaminas (g/100 g)				
Ácido fólico	0.17-0.59	0.18-0.20	0.3	Previenen la anemia megaloblástica
Niacina	2.16-2.68	15-19	5 - 6	
Riboflavina	0.14-0.27	1.3-1.7	0.4 - 0.5	
Tiamina	0.9-1.2	1.1-1.5	0.3 - 0.4	Implicaciones cardiovasculares
Piridoxina	0.34-0.64			

\*RDA: Dosis diaria recomendada; PER: Índice de eficiencia proteica.

El frijol tiene los niveles más elevados de contenido mineral comparándolo con otras leguminosas. En cuanto a minerales, el frijol es fuente importante de hierro, potasio, magnesio, manganeso, fósforo y en menor grado zinc, cobre y calcio. Cabe mencionar que la disponibilidad de los minerales está determinada por las interacciones entre éstos y otros componentes del frijol que pueden promover su biodisponibilidad, formando complejos solubles, de tal manera que puedan ser absorbidos directamente o bien transferir el mineral a un receptor específico (Espinosa-Alonso, 2006).

El contenido de lípidos en el frijol es de aproximadamente 2% con una composición de ácidos grasos insaturados (Mabaleha y Yeboah, 2004). Los principales componentes lipídicos de los frijoles son los fosfolípidos y los triacilgliceroles, mientras que también pueden presentarse menores cantidades de diacilgliceroles y ésteres de esterilo. El frijol común también es considerado una fuente esencial de ácidos grasos insaturados, que comprenden el 61% de los ácidos grasos totales, siendo los ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico los ácidos grasos dominantes. El ácido linolénico es dominante entre los ácidos grasos insaturados que consisten en el 43.1% de los ácidos grasos en el frijol (Grela y Gunter, 1995).

El frijol también es considerado una importante fuente de vitaminas, cuyo contenido varía en función de la variedad (Augustin et al., 2000). Se ha reportado que el frijol es una buena fuente de folato, tocoferoles, tiamina, riboflavina, niacina, biotina y piridoximina (Campos-Vega et al., 2010). Una cantidad de folato de 400-600 µg en frijol es suficiente para satisfacer el 95% de la necesidad diaria (Kadam y Salunkhe, 1989). La tiamina, la riboflavina, la niacina, la vitamina B6 y el contenido de ácido fólico del frijol crudo están en el rango de 0.81-1.32, 0.112-0.411, 0.85-3.21, 0.299-0.659 y 0.148-0.676 mg/100g, respectivamente (Campos-Vega et al., 2010).

Como se ha mencionado, el frijol es un alimento nutritivo; sin embargo, posee ciertos componentes que afectan su valor nutritivo conocidos como factores antinutricionales, entre ellos se encuentran los inhibidores de proteasas, hemaglutininas (lectinas), compuestos fenólicos (taninos), fitatos y lecitinas, además de ciertos oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) que reducen las

preferencias del consumidor debido a que son los responsables de la flatulencia y a largos tiempos de cocción. Sin embargo, se ha reportado que la mayor parte de estos constituyentes no deseables pueden ser removidos en gran parte durante el remojo e inactivados durante la cocción (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). A pesar de que estos compuestos son considerados antinutricionales, se ha encontrado que están asociados con la prevención de enfermedades de tipo crónico degenerativas, de manera que el estudio de estos compuestos se ha enfocado al potencial nutracéutico que poseen (Espinosa-Alonso, 2006).

El consumo de un alimento, no sólo se basa en el valor nutritivo de éste, sino en los hábitos preferenciales del consumidor. En México existen hábitos preferenciales en el consumo del frijol. Las principales características que utilizan los consumidores para definir sus preferencias se basan en el tiempo de cocción y sabor, además del color y tamaño, entre otros, las cuales son consideradas características de calidad de la semilla (Mederos, 2006).

Estas características de calidad en conjunto con un alto rendimiento y resistencia a plagas son importantes para los consumidores y productores de frijol. Es por esta razón que se ha dado gran importancia a las características físicoquímicas y culinarias de la semilla como criterios adicionales de selección, ya que dichas propiedades influyen en la aceptación comercial (Pérez et al., 2002). Dentro de los factores que determinan la calidad culinaria de la semilla del frijol se encuentra los tiempos de cocción, capacidades de hidratación e hinchamiento, capacidades de absorción de agua y aceite, entre otros.

## **2.4 Fitoquímicos presentes en el género *Phaseolus***

### ***Polifenoles***

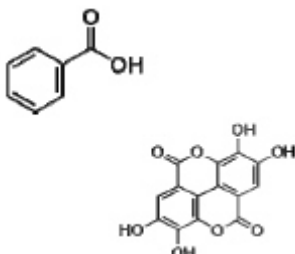
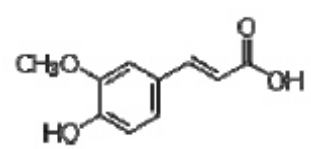
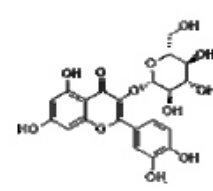
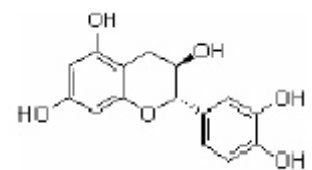
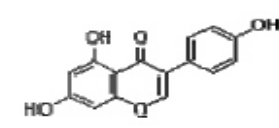
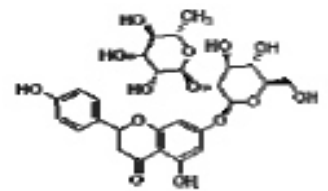
En países desarrollados, el frijol común es de gran interés ya que aporta beneficios a la salud. Se ha encontrado que está relacionado en la reducción del contenido de colesterol sanguíneo, aporta un efecto de tolerancia a la glucosa, se ve asociado en la disminución de enfermedades cardiovasculares e inclusive en la prevención de

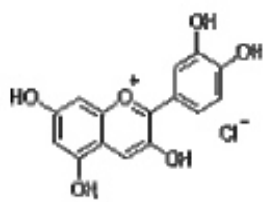
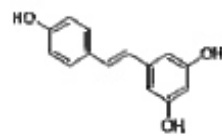
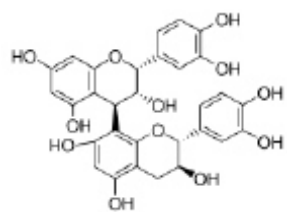
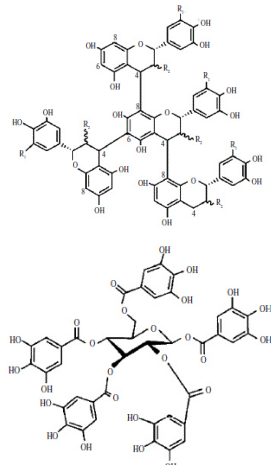
ciertos tipos de cáncer (Hayat et al., 2014). Un grupo de compuestos responsables de estos efectos benéficos es el grupo de los compuestos polifenólicos que presentan diferentes mecanismos de acción y pueden actuar de diferente manera como antioxidantes, moduladores enzimáticos, ejercen un efecto hormonal y antitumoral, entre otros (Espinosa-Alonso, 2006).

Los compuestos polifenólicos son compuestos bioactivos de carácter antioxidante más abundantes en la dieta. Éstos constan de un amplio grupo de compuestos que son el producto del metabolismo secundario de las plantas, los cuales desempeñan diversas funciones en la protección al ataque de patógenos o herbívoros. En su estructura, poseen anillos aromáticos y dobles enlaces conjugados por los cuales ejercen su acción antioxidante. Pueden también aparecer en formas conjugadas (glicósidos) con uno o más azúcares unidos a grupos hidroxilo o directamente al anillo aromático, o bien, asociados a otros compuestos (Manach y Donovan, 2004).

Los compuestos polifenólicos pueden dividirse en dos grupos: los polifenoles extraíbles, los cuales se solubilizan en disolventes acuoso-orgánico y que además poseen bajo peso molecular, y los polifenoles no extraíbles, que son los que quedan retenidos en el residuo resultante tras la extracción acuoso-orgánica y que tienen un peso molecular elevado ( $\geq 5000$  unidades) (Bravo et al., 1994). En la tabla 2 se pueden observar los compuestos fenólicos extraíbles comunes en alimentos vegetales.

Tabla 2. Compuestos fenólicos extraíbles comunes en alimentos de origen vegetal.  
Adaptado de (Arranz-Martínez, 2010).

Polifenoles extraíbles		Estructura general
Ácidos benzóicos	<p>Ácido p-hidroxibenzoico                      Ácido gálico                      Ácido protocatéquico                      Ácido vanílico                      Ácido siríngico                      Ácido elágico                      Ácido tánico                      Ácido gentísico</p>	 <p>The image shows two chemical structures. The top structure is p-hydroxybenzoic acid, consisting of a benzene ring with a carboxylic acid group (-COOH) and a hydroxyl group (-OH) in the para position. The bottom structure is gallic acid, which consists of a central benzene ring with three hydroxyl groups (-OH) and three ester-linked gallic acid units attached to it.</p>
Ácidos hidroxicinámicos	<p>Ácido clorogénico                      Ácido cafeico                      Ácido ferúlico                      Ácido sinápico                      Ácido <i>trans</i>-cinámico</p>	 <p>The image shows the chemical structure of chlorogenic acid, which is a hydroxycinnamic acid derivative. It features a central benzene ring with a methoxy group (-OCH<sub>3</sub>) and a hydroxyl group (-OH) in the meta position, and a propenoic acid side chain (-CH=CH-COOH) in the para position.</p>
Flavonoles	<p>Rutina                      Quercetina                      Miricetina                      Kaemferol                      Glícosidos de quercetina</p>	 <p>The image shows the chemical structure of rutin, a flavonol glycoside. It consists of a quercetin aglycone core with a rutinoside sugar moiety attached to the 3-OH position.</p>
Flavanoles	<p>Catequina                      Epicatequina                      Galocatequina                      Epicatequin galato                      Epigalocatequin galato                      Galocatequin galato</p>	 <p>The image shows the chemical structure of epigallocatechin gallate (EGCG), a flavan-3-ol polyphenol. It consists of an epigallocatechin core with a gallic acid moiety attached to the 2-OH position.</p>
Isoflavonas	<p>Daicina                      Genistina                      Daiceína                      Genisteína</p>	 <p>The image shows the chemical structure of daidzein, an isoflavone. It features a chromone core with a 7-hydroxy group and a 4-hydroxyphenyl group at the 3-position.</p>
Flavanonas	<p>Naringenina                      Naringina                      Hesperetina                      Hesperidina                      Floridicina</p>	 <p>The image shows the chemical structure of naringin, a flavanone glycoside. It consists of a naringenin aglycone core with a rhamnoside sugar moiety attached to the 7-OH position.</p>

<b>Polifenoles extraíbles cont.</b>		<b>Estructura general</b>
<b>Polifenoles extraíbles cont.</b>		<b>Estructura general</b>
Antocianidinas	Malvidina Cianidina Delfinidina Petunidina Glicósidos de antocianidinas	
Estilbenos	Resveratrol	
Taninos condensados (Proantocianidinas extraíbles)	Dímeros A, B Oligómeros (GP 3-10) Polímeros	
Taninos hidrolizables	Oligómeros de ácidos benzoicos y ácidos hidroxicinámicos	

La propiedad antioxidante de los polifenoles cobra importancia debido a la constante formación de radicales libres que ocurre de forma natural en el organismo humano. Originados como productos del metabolismo, algunos de ellos son esenciales para un buen funcionamiento del organismo; sin embargo, ciertos

factores ambientales como la luz solar, fumar y la contaminación industrial incrementan la formación de radicales libres en el cuerpo. Los radicales libres son inestables y altamente reactivos, pero su reactividad puede ser contrarrestada por medio de los antioxidantes de naturaleza polifenólica. Los antioxidantes polifenólicos pueden actuar a diferente nivel, ya sea disminuyendo la concentración de oxígeno, previniendo la formación de la reacción en cadena por secuestro de los radicales de iniciación, uniéndose a los iones metálicos catalizadores y descomponiendo los productos primarios de oxidación, también previenen la unión a proteínas y la mutación del ADN y el daño a tejido (Shahidi, 2000). Además de su actividad antioxidante, presentan actividad antimutagénica y anticancerígena y juegan un papel muy importante en la salud debido a que se han asociado con la reducción de enfermedades crónicas-degenerativas (Rui-Hai, 2004).

Se ha reportado que la semilla de frijol contiene diferentes compuestos fenólicos, localizados principalmente en la cascarilla y que su color está determinado por la presencia y concentración de polifenoles tales como flavonoides glicosilados, taninos condensados y antocianinas (Choung et al., 2003; Romani et al., 2004; Salinas-Moreno et al., 2005). También se han descrito diferentes propiedades antioxidantes, anticancerígenas y antimutagénicas en diferentes cultivares de frijol. (Aparicio-Fernández et al., 2005). De tal manera que se está considerando al frijol como una fuente de compuestos fenólicos en la dieta, tomando en cuenta que es un alimento de costo accesible y que se ha incorporado a los hábitos tradicionales de alimentación.

### ***Taninos condensados***

Los taninos son compuestos fenólicos hidroxilados en gran manera y de peso molecular intermedio (más de 30 kDa); pueden formar complejos insolubles con proteínas e hidratos de carbono. Además, son responsables de la sensación de astringencia en los alimentos. Se clasifican en dos grupos: hidrolizables y no hidrolizables o condensados. En los alimentos se encuentran predominantemente los taninos condensados y dentro de las leguminosas, se ha reportado contenido de

taninos condensados en habas, algarrobo, chícharos y frijol común (Parr y Bolwell, 2000).

Los taninos son los principales componentes de la cascarilla de frijol, han sido reportados en todos los colores de semilla, desde el negro, rojo, café, amarillo e inclusive en el blanco. Se les ha asociado a efectos anticancerígenos, antimutagénicos y antimicrobianos. Estos efectos están ligados al carácter antioxidante de los taninos, protegiendo los componentes celulares del daño oxidativo al reducir el nivel de radicales libres, así como la peroxidación y la inhibición de compuestos inductores de tumores. Además, presentan gran efectividad contra bacterias, hongos, levaduras y virus, por la formación de complejos con enzimas o sustratos indispensables para los microorganismos, así como al mecanismo de toxicidad que actúa en las membranas, inhibiendo el sistema de transporte electrónico o la formación de complejos insolubles con nutrientes y iones metálicos, reduciendo así, la disponibilidad y la capacidad de sobrevivencia de los microorganismos (Chung et al., 1998; Parr y Bolwell, 2000).

### *Ácidos fenólicos*

Los ácidos fenólicos se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas, pueden estar en forma esterificada, glicosilada y polimerizada, unidos a proteínas, lípidos u otros componentes. Los ácidos fenólicos se clasifican en dos tipos, los derivados del ácido hidroxibenzoico (p-hidroxibenzoico, vanílico y gálico) y los derivados del ácido cinámico (ferúlico, p-coumárico y cafeico). Los ácidos hidroxicinámicos son más comunes y están conformados por ácido coumárico, cafeico, ferúlico y sinápico. El ácido ferúlico es el más abundante en cereales y granos, éste se encuentra en la capa más externa y constituye la principal fuente dietaria (Manach, et al., 2004). La combinación de los diferentes ácidos fenólicos y otros compuestos fenólicos presentes en frutas, vegetales y plantas pueden brindar un efecto sinérgico, cuya naturaleza química promueve la actividad antioxidante y anticancerígena, así como un efecto quimiopreventivo en la inducción de hepatocarcinogénesis en ratas (Tanaka et al., 1994; Pietta, et al., 2000).

### *Flavonoides*

Los flavonoides son un grupo importante y diverso de compuestos fenólicos que presentan diferente estructura química. Dentro de este grupo se encuentran, a) Los flavonoles los cuales son los más comúnmente encontrados en los alimentos, principalmente quercetina y kaemferol y están presentes en baja cantidad en forma glicosilada entre 15 a 30 mg/kg de peso fresco; b) Las flavonas son menos comunes y las principales son luteolina y apigenina; c) Las flavanonas, donde las principales agliconas son naringenina, hesperetina y eriodictiol. d) Las isoflavonas, se encuentran exclusivamente en leguminosas, en gran cantidad únicamente en soya. Son conocidos como fitoestrógenos debido a que su estructura es similar a los estrógenos y poseen propiedades pseudo hormonales; e) Los flavanoles existen en forma de monómeros como las catequinas y de polímeros como las proantocianidinas o taninos condensados (Hollman, 2000).

En frijol se ha descrito la presencia de flavonoides en semillas de color amarillo, café y negro. Los taninos están ampliamente distribuidos en frijol, además de kaemferol y quercetina (Romani et al., 2004). El efecto biológico de los flavonoides depende del tipo, la composición de los sustituyentes de sus moléculas y de la composición de sus mezclas, numerosos estudios epidemiológicos sugieren un mayor efecto cuando éstos se consumen a partir del fruto o vegetal completo, ya que se potencializa el efecto de sus diferentes compuestos (Rui-Hai, 2004). Dentro de los posibles efectos que brindan al organismo están la modulación de las enzimas de detoxificación, relacionadas con la proliferación celular (Marchand, 2002) y sus reconocidas actividades antioxidantes (Pietta, 2000).

### ***Antocianinas***

Las antocianinas son pigmentos de tejidos epidermales que imparten el color rojo, azul y morado a las plantas y a los alimentos. Estos compuestos han atraído el interés debido a que han mostrado efectos antiinflamatorios, vasotónicos y propiedades antioxidantes (Clifford, 2000). La presencia de antocianinas en frijol sólo ha sido descrita para frijol negro y rojo (Romani et al., 2004). De ellos se ha logrado identificar en frijol todos los grupos principales de monoglucósidos de

antocianinas: delfinidina, petunidina, cianidina, malvidina, pelargonidina, y peonidina (Salinas-Moreno et al., 2005).

## **2.5 Frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray)**

### ***Características generales del frijol tepari***

La especie *Phaseolus acutifolius* Gray (figura 2) es un racimo axilar con dos a cinco flores. La vaina recta o falcada (figura 3), de 5 a 9 cm de largo por 1 cm de ancho, contiene hasta siete semillas, pero por lo general presenta cinco. Las semillas aplanadas o reniformes (figura 4), casi redondas, de 6 a 9 mm de largo y 3 a 6 mm de ancho, tienen la testa blanca, castaña o azul oscuro, uniforme o con manchas o puntos. El hilio es diminuto y circular. En suelos secos el frijol tepari puede producir más que otras leguminosas de campo. A través del uso de fertilizantes y con irrigación moderada, algunos productores han logrado entre 1.1 a 2.2 T/ha. Las vainas jóvenes y las hojas también pueden proporcionar forraje para el ganado. El frijol tepari es resistente a plagas de insectos, microorganismos y otras enfermedades que afectan al frijol común (Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos, 2012).



Figura 2. Especie *Phaseolus acutifolius* Gray. (Mogotsi, 2006).



Figura 3. Vaina de *Phaseolus acutifolius* Gray. (Nabhan, 1978).



Figura 4. Semillas de *Phaseolus acutifolius* Gray. (Nabhan, 1978).

Como ya se ha mencionado, México es un centro de origen y diversidad primaria del frijol común y del frijol tepari (Muñoz et al., 2006; Bitocchi et al., 2012), entre otros. En un estudio sobre la distribución de 25 especies silvestres el género *Phaseolus* en México, López et al., (2005) señalaron que, por su distribución, *P. acutifolius* Gray se encuentra entre las de menor requerimiento de humedad, con alta adaptación a ambientes cálidos; es decir, es tolerante al calor.

La principal área de distribución, y probablemente de origen, de *P. acutifolius* Gray es el desierto sonorense de Norte América. Esta planta es de ciclo corto, además produce un grano de alta calidad proteica, adecuada a la nutrición humana y posee resistencia al tizón común (*Xanthomonas campestris pv phaseoli*). Sin embargo, la mayor parte de la diversidad disponible en la forma silvestre y variedades criollas de esta especie permanece sin utilizarse, debido a un efecto de ‘cuello de botella’ ocurrido durante el proceso de domesticación a partir de un número reducido de poblaciones silvestres; por ello existe mayor diversidad en la forma silvestre del frijol tepari (Debouck, 1999; Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos, 2012).

La demanda comercial del grano de frijol tepari es baja, se localiza en Sonora y Sinaloa y en su mayor parte es para autoconsumo. También hay un consumo limitado en la región del Soconusco, Chiapas y en el suroeste de EE. UU. A pesar de lo anterior, y por sus características de resistencia a sequía y a altas temperaturas, aunado a el cambio climático global que en forma acelerada se ha establecido, esta especie deberá utilizarse en el mejoramiento del frijol común y mejorarse y explotarse *per se* para ambientes extremos (Jiménez-Galindo y Acosta-Gallegos, 2012).

### ***Potencial nutricional y nutraceutico del frijol tepari***

En los últimos años se ha reconocido que las enfermedades crónico-degenerativas están asociadas a los problemas de obesidad las cuales afectan a una gran parte de la población mundial tanto en países desarrollados como en los países en vías de desarrollo. Son dos los factores causales de este problema de salud: la dieta y la falta

de actividad física. Por otra parte, en Latinoamérica se han presentado cambios en los patrones de alimentación debido al desarrollo, la industrialización, los estilos modernos de vida, etc., que han afectado los patrones alimenticios de la población, incrementando el consumo de alimentos ricos en carbohidratos y grasas y reduciendo la ingesta de cereales, leguminosas, frutas y verduras (Bermudez y Tucker, 2003).

Para tratar de frenar y combatir estos problemas de salud, la Organización Mundial de la Salud ha propuesto que la mejor estrategia es la prevención y en los últimos años se ha dado gran importancia a cambiar los hábitos alimenticios (OMS, 2016). En la actualidad se recomienda una dieta rica en frutas y verduras y baja en carbohidratos y grasas, y, al menos cinco porciones de frutas y vegetales; estos nuevos patrones alimenticios han surgido como consecuencia de estudios que demuestran la presencia de componentes bioactivos presentes en los alimentos y que juegan un papel importante en la salud (OMS, 2016). A estos alimentos se les ha denominado “nutracéuticos”, alimentos que más allá del aporte nutricional contienen otros componentes que participan en la prevención o disminución del riesgo de enfermedades crónico-degenerativas, ya que poseen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimutagénicas, actúan como moduladores enzimáticos, reductores del colesterol, reguladores de la actividad intestinal y de la actividad hormonal, entre otros (Espinosa-Alonso, 2006).

El frijol tepari, como una especie de frijol, ha llamado la atención debido a que puede aportar beneficios a la salud, incluyendo la reducción del contenido de colesterol en sangre, el aporte de tolerancia a la glucosa, disminución de enfermedades cardiovasculares y prevención de ciertos tipos de cáncer. Los compuestos presentes en este alimento como la fibra, ciertos oligosacáridos, péptidos bioactivos, lectinas, inhibidores de proteasas, ácido fítico y compuestos polifenólicos pueden jugar un papel fundamental en la prevención de enfermedades ya que se ha reportado que dichos compuestos presentan diversos mecanismos de acción, y pueden actuar de diferente manera, como: antioxidantes, antitumorales, moduladores enzimáticos, reductores del colesterol, promotores de la actividad intestinal y con

efecto hormonal (Doria et al., 2012; Lim, 2012; Hayat et al., 2014; Nyau, 2014; Betancur et al., 2015; Guzmán-Rodríguez et al., 2015; Puentes y Hurrell, 2015).

Ya se ha reportado que el frijol tepari contiene cantidades similares de proteína a las de otras leguminosas y su calidad biológica es superior a la del frijol común, especialmente la de la variedad blanca. Así mismo, posee cantidades de hierro y fibra dietética mayores a las de otras especies. Además, contiene una baja concentración de ácidos grasos saturados y una alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados (Bhardwaj y Hamama, 2004; Bhardwaj y Hamama, 2005; Jiménez-Galindo & Acosta-gallegos, 2012; Bhardwaj, 2013). Por lo anterior se puede decir que el frijol tepari tiene potencial como donador de genes para obtener mejores variedades de frijol desde el punto de vista culinario, nutricional y toxicológico.

El frijol tepari se prepara como cualquier otra leguminosa de grano, remojándolas, cocinándolas y en algunos casos, horneándolas. Son usadas como base para sopas y cocidos (González-de-Mejía et al., 1988) y su alto contenido de lisina las hace excelentes fuentes suplementarias a los cereales. El frijol tepari induce flatulencia en forma más fuerte que otras leguminosas y requiere mayor tiempo para suavizarse para su consumo. Sin embargo, se sabe que dicho efecto se ve considerablemente disminuido al someter las semillas a remojo por un periodo prolongado (Mederos, 2006).

Por todo lo anterior, el frijol tepari representa un alimento que puede ser ampliamente consumido en el país dando mayor diversidad a la dieta, con una buena aceptación, lo que facilitaría su uso no sólo como alimento para cubrir las necesidades calóricas y proteicas sino también para aprovechar sus propiedades funcionales y nutraceuticas, además tiene un potencial científico como proveedor de otros compuestos bioactivos como los antioxidantes que han sido poco estudiados en este alimento, tanto del cotiledón como de la testa, los cuales podrían ser coadyuvantes en el mejoramiento de la salud de la población mexicana.

### **III. HIPÓTESIS**

Las propiedades fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos del frijol tepari son superiores a las de variedades comerciales de frijol común.

### **IV. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo general**

Estudiar las propiedades fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos del frijol tepari (*P. acutifolius* Gray) cultivado en Nuevo León, México.

#### **4.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la composición química del frijol tepari cultivado en Nuevo León, México.

2. Determinar las propiedades tecnológicas y el perfil de textura del frijol tepari cultivado en Nuevo León, México.
3. Cuantificar los compuestos fenólicos extraíbles de la testa del frijol tepari cultivado en Nuevo León, México.
4. Determinar la capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP de los compuestos fenólicos extraíbles de la testa del frijol tepari cultivado en Nuevo León, México

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Material

- |                          |                           |                                |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| • Frijol tepari          | • Vasos de precipitado    | • Tubos de plástico 15 y 50 mL |
| • Frijol jamapa          | • Matracas Erlenmeyer     |                                |
| • Frijol pinto americano | • Probetas 10, 25 y 50 mL |                                |
| • Bolsas de polietileno  |                           |                                |

### Equipos

- |                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| • Homogenizador mil-IKA universal M20 | • LECO FP-528                               | Cimarec                                   |
| • Horno SMO3 Shel Lab                 | • Extractor Goldfish                        | 588850100                                 |
| • Horno Felisa FE-292D                | • Placas de calentamiento Thermo Scientific | • Vortex                                  |
| • Mufla FE-363                        |   | • Centrífuga                              |
|                                       |   | • Analizador de textura XT2I Stable Micro |

Systems Ltd.  
Inglad

- Cromatógrafo  
Agilent 1260

### Reactivos

- Kit enzimático Megazyme para fibra dietética total
- Kit enzimático Megazyme para almidón resistente
- NaOH 10%
- Etanol
- HCl concentrado
- KMnO 2%
- Metanol
- 2,4 dinitrofenilhidracina
- Solución de antrona 0.2%
- Metanol/agua 50:50
- Acetona/agua 70:30
- Reactivo Folin-Ciocalteu
- NaCO 7%
- Ácido gálico
- Ácido ferúlico
- Catequina
- Ácido sinápico
- NaNO<sub>2</sub> 5%
- AlCl<sub>3</sub>
- NaOH 1M
- Vainillina 1%
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 25%
- DPPH
- ABTS
- FRAP
- Trolox
- Buffer de acetatos 10mM
- 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ)
- HCl 40mM y 20 mM
- FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O
- Buffer de acetatos pH 2.0
- Agua ácida 0.5%
- Acetonitrilo

### 5.2 Esquema de general de análisis.

El esquema de general de análisis se muestra en la figura 5; acorde a la realización de los cuatro objetivos específicos planteados anteriormente.

### 5.3 Preparación de la muestra

Para el análisis de frijol crudo, muestras de 100 g se limpiaron y molieron utilizando el equipo mil-IKA universal M20, hasta que se obtuvo una harina fina, la cual se pasó por un tamíz No. 40. Las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno a 4 °C hasta su uso. Posteriormente, muestras de 100 g de frijoles fueron limpiadas y cocinadas por un

método tradicional, según (Ramírez-Jiménez, Reynoso-Camacho, Mendoza-Díaz y Loarca-Piña, 2014) con ligeras modificaciones. Brevemente, se colocaron 100 g de frijoles distribuidos equitativamente en cuatro vasos de precipitados, con 300 mL de agua destilada en ebullición. Las muestras se cocinaron a una temperatura de 100 °C hasta que fueran adecuadas para su consumo. Una vez cocidos, los granos y el caldo de cocción se molieron y se secaron a 65 °C en un horno SMO3 Shel Lab Forced Air Oven. Las muestras deshidratadas se molieron de nueva cuenta y se almacenaron en bolsas de polietileno a 4 °C hasta su uso. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado para el frijol tepari, así como para las dos variedades de frijol común (pinto americano y jamapa), tomados como referencia de frijol común comercial.

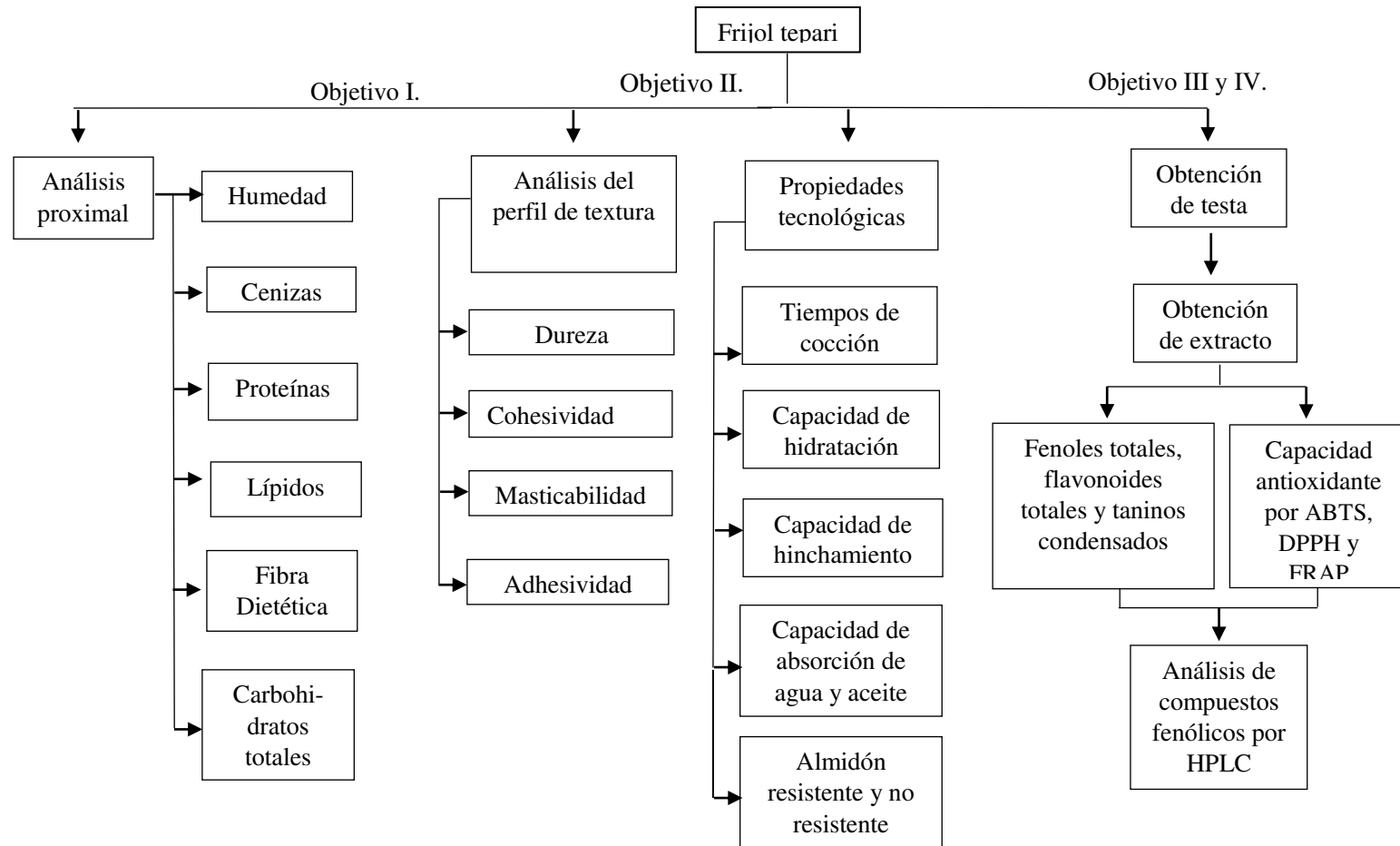


Figura 5. Esquema general de análisis.

## 5.4 Análisis proximal

Las determinaciones para el análisis proximal se realizaron de acuerdo con la Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC por sus siglas en inglés).

***Determinación de humedad (AOAC 14.003):*** El contenido de humedad, se cuantificó mediante la diferencia entre el peso inicial y final, de una muestra representativa sometida a una temperatura de 110 °C en un horno marca Felisa modelo FE-292D (AOAC, 1990a).

***Determinación de cenizas (AOAC 14.006):*** Se utilizó el método de calcinación en mufla de la marca Felisa modelo FE-363 a 500°C. El contenido de cenizas se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación (AOAC, 1990b):

$$\text{Ec. 1: } \% \text{ cenizas} = \frac{CC - C}{w} \times 100$$

Dónde:

CC = peso inicial de la muestra.

C = peso final de la muestra.

w = peso de la muestra.

***Determinación de proteínas (AOAC 968.06):*** Se realizó mediante el método de Dumas: determinación de nitrógeno a partir de la combustión de una muestra mezclándola y calentándola con óxido de cobre en una atmósfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los gases emanados de dicha combustión se reducen en cobre; el nitrógeno molecular se determinó volumétricamente, utilizando un equipo LECO FP-528 (AOAC, 2005).

***Determinación de lípidos (AOAC 7.056):*** Se realizó mediante el método de Goldfish, que consiste en someter una muestra exactamente pesada a la acción de disolvente, éter etílico (marca CTR) en el aparato extractor de Goldfish de la marca LABCONCO modelo 35001, bajo reflujo constante. El solvente se separa del extracto por destilación. El extracto etéreo resultante se secó en la estufa a 90 °C y así representó la grasa de la muestra (AOAC, 1980).

***Determinación de fibra dietética (AOAC 985.29):*** El método se basa en que el alimento seco y desgrasado es gelatinizado con  $\alpha$ -amilasa térmicamente estable y luego digerido

enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón. La fibra dietética soluble es precipitada por la adición de etanol. El residuo total se filtra, se lava, se seca y se pesa. En el residuo se determinó proteína y cenizas. La fibra dietética total se obtuvo utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 2: Fibra dietética total} = \text{Peso del residuo} - \text{Peso (proteína + cenizas)}$$

**Carbohidratos totales:** Se calculó por diferencia de porcentaje de humedad, proteína, lípidos, cenizas y fibra, de acuerdo con la siguiente ecuación (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1993):

$$\text{Ec. 3: Extracto Libre de Nitrógeno (\%)} = 100 - (A+B+C+D+E)$$

Dónde:

A = Contenido de humedad (%)

B = Contenido de proteína cruda (%)

C = Contenido de lípidos crudos (%)

D = Contenido de fibra cruda (%)

E = Contenido de ceniza (%)

## 5.5 Propiedades tecnológicas

**Tiempos de cocción:** Muestras de 25 semillas se sometieron a diferentes periodos de remojo de 0, 4 y 8 horas en 75 mL de agua destilada a una temperatura ambiente de 25 °C. Después del tiempo de remojo, las semillas se drenaron y se cocinaron en placas térmicas Thermo Scientific modelo Cimarec S88850100. Una vez que el agua alcanzó el punto de ebullición, los granos se colocaron en los vasos de precipitado. Se tomó el tiempo necesario para que los granos alcanzaran una textura granular suave. Esto se probó comprimiendo una semilla entre el dedo índice y el pulgar, según el método descrito por (Elías, García-Soto y Bressani, 1986).

**Capacidad de hidratación:** Un total 50 semillas se pesaron y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL; se añadieron 100 mL de agua destilada y los granos se remojaron durante 18 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, los granos se drenaron y el agua superficial se retiró con papel absorbente. Las semillas se pesaron de

nuevo y la capacidad de hidratación se calculó de la siguiente ecuación (Wani, Sogi, Wani, & Gill, 2015):

Ec. 4: Capacidad de hidratación: (peso después del remojo - peso antes del remojo) / 50

**Índice de hidratación:** El índice de hidratación se calculó de la siguiente manera (Wani et al., 2015):

$$\text{Ec. 5: Índice de hidratación} = \frac{\text{Capacidad de hidratación por semilla}}{\text{peso de una semilla (g)}}$$

**Capacidad de hinchamiento:** Muestras de 2 g se pesaron y se colocaron en un cilindro graduado de 25 mL, posteriormente se añadieron 10 mL de agua destilada. Para lograr la hidratación, el volumen final ocupado por la muestra se midió después de 18 h de remojo. Los resultados se expresaron como mL/g de muestra. La capacidad de hinchamiento se calculó mediante la siguiente ecuación (Wani et al., 2015):

Ec. 6: Capacidad de hinchamiento: (volumen después del remojo - volumen antes del remojo) / peso de la muestra

**Índice de hinchamiento:** El índice de hinchamiento se calculó de la siguiente manera (Wani et al., 2015):

$$\text{Ec. 7: Índice de hinchamiento} = \frac{\text{Capacidad de hinchamiento de las semillas}}{\text{volumen de una semilla}}$$

**Capacidad de absorción de agua (WAC):** El ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua (WAC por sus siglas en inglés) se realizó según el método de Kaur & Singh, (2006). Brevemente, se pesaron 3 g de harina de frijol y se colocaron en tubos de centrifugación previamente pesados. La muestra se dispersó en 25 mL de agua destilada durante un periodo de 30 minutos con agitación manual, seguido de un período de centrifugación de 25 min a 3000 rpm. El sobrenadante se decantó y el exceso de humedad se eliminó colocando los tubos en un horno a 50 °C durante 25 min. Finalmente, la muestra se pesó y los resultados se expresaron como gramos de agua absorbida por gramos de muestra en base seca.

**Capacidad de absorción de aceite (OAC):** La capacidad de absorción de aceite (OAC por sus siglas en inglés) se realizó siguiendo el método de (Julianti et al., 2015) con ligeras modificaciones. Se suspendió un gramo de muestra en 5 mL de aceite de maíz en un tubo de centrifugación previamente pesado. El tubo se agitó durante 1 min a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 3000 rpm durante 25 min. El sobrenadante se desechó y las muestras fueron pesadas. Los resultados se expresaron como gramos de aceite absorbido por gramos de muestra en base seca.

**Almidón resistente y no resistente:** Las determinaciones se realizaron con muestras de frijol a las 0 horas de cocción y siguiendo el método descrito por McCleary y Monaghan, (2002). Brevemente, las muestras se incubaron en un baño de agua con agitación con  $\alpha$ -amilasa pancreática y amiloglucosidasa (AMG) durante 16 horas a 37 °C, durante este período, el almidón no resistente se solubilizó y se hidrolizó a D-glucosa por acción de las dos enzimas. La reacción se terminó por la adición de un volumen igual de etanol y el almidón resistente se recuperó en un pellet formado en el fondo del tubo, obtenido después de un proceso de centrifugación. El sedimento se lavó con etanol al 50% (v/v), seguido de una segunda centrifugación; posteriormente el sobrenadante se retiró por decantación. El almidón resistente presente en el pellet del tubo se disolvió con KOH 2M mediante agitación vigorosa con un agitador magnético en un baño de agua con hielo. Posteriormente, la solución se neutralizó con un buffer de acetato y el almidón se hidrolizó a glucosa con AMG. La D-glucosa se midió usando el espectrofotómetro Agilent Cary 60 UV-Vis a 510 nm con el reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD), indicando el contenido de almidón resistente en la muestra. El almidón no resistente se determinó combinando los sobrenadantes de los lavados mencionados anteriormente, ajustando el volumen a 100 mL y midiendo espectrofotométricamente el contenido de D-glucosa con el reactivo GOPOD.

## **5.6 Análisis del perfil de textura**

Para el análisis del perfil de textura (TPA) se utilizaron semillas con un periodo de remojo de 8 horas y semillas sin remojo. Se utilizó un analizador de textura automatizado (Model XT2i, Stable Micro Systems Ltd., England), cuyo fundamento se basa en la imitación de la masticación por medio de una compresión de la muestra con

una deformación del 70%, a una velocidad de 2,0 mm/min. Por medio del equipo, se obtiene un gráfico de perfil de textura general, como el que se observa en la figura 6, donde se aprecia una compresión doble. Varios parámetros texturales pueden ser calculados mediante la representación gráfica de la fuerza contra el tiempo. Así, se determinó la dureza, cohesión, masticabilidad y adhesividad, reportando el promedio de diez determinaciones.

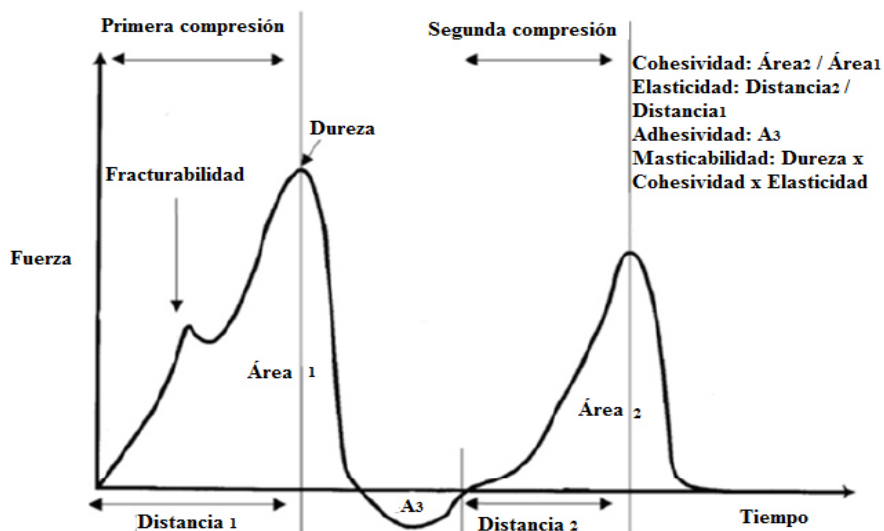


Figura 6. Gráfica para el perfil de textura general. Adaptado de (Hleap y Velasco, 2010).

### 5.7 Análisis cualitativo de compuestos bioactivos y grupos funcionales

Las pruebas coloridas son útiles para identificar en forma preliminar los compuestos presentes en un extracto, son técnicas sencillas, sensibles, específicas y rápidas de realizar. Se realizaron las siguientes pruebas fitoquímicas para identificar los principios activos presentes en el frijol:

**Coumarinas. Prueba de Hidróxido de Sodio.** Se disolvió 1 mg de la muestra en una solución de NaOH al 10%, se agregaron unas gotas a la muestra y al aparecer una coloración amarilla, que desapareció al acidular, resulta ser positiva.

**Flavonoides. Prueba de Shinoda.** Se tomó 1 mg de la muestra y se disolvieron con un 1 mL de etanol (CTR), se le agregaron 3 a 4 gotas de HCl concentrado (CTR) y se trataron

con limaduras de magnesio (CTR). Se consideró positiva con la aparición de colores naranja, rojo, rosa-azul a violeta.

**Insaturaciones. Prueba de Baeyer:**  $\text{KMnO}_4$  al 2 % en agua. Se disolvió 1 mg de la muestra en 1 mL de metanol (CTR) y se añadió gota a gota una solución de permanganato de potasio (CTR) al 2 % en agua. La prueba fue positiva si se observó decoloración o formación de un precipitado café resultado de la formación de bióxido de manganeso.

**Grupos carbonilo. Prueba de 2,4-dinitrofenilhidracina.** Se disolvió 1 mg de muestra en etanol. En un tubo de ensaye se disolvieron 100 mg de 2,4dinitrofenilhidracina (Sigma-Aldrich) en 10 mL de etanol (CTR) con 3 mL de HCl (CTR) y se aforó con agua destilada. Se añadieron unas gotas de este reactivo a la muestra disuelta. La formación de un precipitado amarillo, rojo o naranja indicó la presencia de grupos carbonilo.

**Azúcares. Prueba de Antrona.** En un tubo de ensaye se colocó 1 mg de muestra disuelta en agua, después se dejó resbalar por las paredes del tubo una solución reciente de antrona (Jalmek) al 0.2 % en ácido sulfúrico concentrado (CTR); la prueba fue positiva si en la interfase apareció un anillo azul-verdoso o violeta.

**Saponinas:** En un tubo de ensaye se colocó 1 mg de muestra disuelta en 1 mL de agua y se agitó fuertemente. La formación de espuma abundante se consideró como prueba positiva.

## **5.8 Obtención del extracto a partir la testa defrijol**

El procedimiento para la obtención del extracto del frijol tepari se realizó de acuerdo con Jiménez-Escrig et al., (2001). Inicialmente, 1 g de muestra triturada se colocó en tubo con 40 mL, de metanol/agua (50:50) y se adicionó HCl para llegar a un pH final de 2.0. Posteriormente, se agitó el tubo a temperatura ambiente por 1 hora. Se centrifugó a 3,000 rpm por 10 min y se recuperó el sobrenadante. Al residuo obtenido tras la primera centrifugación se le adicionó 40 mL de acetona/agua (70:30), repitiendo los pasos de agitación y centrifugación. Finalmente, se combinaron los extractos, fueron liofilizados y finalmente almacenados en oscuridad a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su uso.

## 5.9 Cuantificación de fenoles totales a partir la testa defrijol

Se realizó de acuerdo con el método 952.03 de la AOAC, usando para la cuantificación ácido gálico como estándar de referencia. Para la preparación de la solución stock de ácido gálico se pesaron 5 mg de ácido gálico (Sigma-Aldrich) en un matraz volumétrico de 25 mL y se aforó con metanol 80%. La curva de calibración se llevó a cabo siguiendo las relaciones mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Curva de calibración para determinación de fenoles totales.

No. de tubo	Solución stock ( $\mu\text{L}$ )	H <sub>2</sub> O ( $\mu\text{L}$ )	Reactivo Folin-Ciocalteu ( $\mu\text{L}$ )	NaCO <sub>3</sub> ( $\mu\text{L}$ )	Concentración (mg/L)
1	200	2600	200	2000	8.0
2	160	2640	200	2000	6.4
3	120	2680	200	2000	4.8
4	80	2720	200	2000	3.2
5	40	2760	200	2000	1.6
Blanco	*	2600	200	2000	0.0

\* En lugar de solución stock, se tomaron 200  $\mu\text{L}$  de metanol 80%.

Una vez preparada la curva de calibración (Anexo 11.1.1), los tubos se agitaron de forma manual, se dejaron reposar en condiciones de oscuridad por un periodo de 90 minutos y posteriormente se leyeron las absorbancias espectrofotométricamente a 750 nm.

Para la preparación de la muestra, los extractos liofilizados (0.2 g) se resuspendieron en 1 mL de metanol al 80%, se tomaron 200  $\mu\text{L}$  de la muestra y se colocaron en un tubo de vidrio. Posteriormente se agregaron 1.8 mL de agua destilada y 0.2 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, el tubo se agitó manualmente y se dejó reposar por 5 minutos. Finalmente se agregaron 2 mL de NaCO<sub>3</sub> al 7% y se agitó el tubo manualmente. Se completó el volumen final con 0.8 mL de agua destilada y se dejó reposar la muestra en condiciones de oscuridad por 90 minutos. Las absorbancias se leyeron en el espectrofotómetro a 750 nm (López-Contreras et al., 2015).

### 5.10 Cuantificación de flavonoides totales a partir la testa de frijol

Se realizó la determinación de flavonoides totales basado en la reacción de cloruro de aluminio. Brevemente se colocaron 0.2 mL de extracto fenólico en 3.5 mL de agua destilada, seguido por 0.15 mL de NaNO<sub>2</sub> 5%. Transcurridos 5 min, se agregaron 0.15 mL de AlCl<sub>3</sub> 10% y finalmente, 5 min después, se agregó 1 mL de NaOH 1M. Se dejó reaccionar por 15 min y, por último, se leyeron las absorbancias espectrofotométricamente a 510 nm (López-Contreras et al., 2015). Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra seca. Para la determinación de flavonoides totales se realizó la siguiente curva de calibración (Anexo 11.1.2):

Tabla 4. Curva de calibración para flavonoides totales.

No. de tubo	Solución stock (μL)	H <sub>2</sub> O (μL)	NaNO <sub>2</sub> (μL)	AlCl <sub>3</sub> (μL)	NaOH (μL)	Concentración (mg/L)
1	200	2300	150	150	1000	8.0
2	160	2340	150	150	1000	6.4
3	120	2380	150	150	1000	4.8
4	80	2420	150	150	1000	3.2
5	40	2460	150	150	1000	1.6
Blanco	*	2300	150	150	1000	0.0

\* En lugar de solución stock, se tomaron 200 μL de metanol 80%.

### 5.11 Cuantificación de taninos condensados a partir la testa de frijol

La determinación de taninos condensados se realizó según el método basado en la reacción de vanilina-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Brevemente se mezclaron 0.25 mL de extracto fenólico con 0.65 mL de solución de vainillina al 1% y 0.65 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 25% (ambos reactivos disueltos en metanol). Se dejó reaccionar por 15 min a 30 °C y finalmente las absorbancias de las muestras se leyeron a 500 nm en el espectrofotómetro (López-Contreras et al., 2015). Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra seca.

Se realizó la siguiente curva de calibración para la determinación de taninos condensados (Anexo 11.1.2):

Tabla 5. Curva de calibración para taninos condensados.

No. de tubo	Solución stock (μL)	Metanol (μL)	Vainillina (μL)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (μL)	Concentración (mg/L)
1	250	0	650	650	8.0
2	200	50	650	650	6.4
3	150	100	650	650	4.8
4	100	150	650	650	3.2
5	50	200	650	650	1.6
Blanco	*	250	650	650	0.0

\* En lugar de solución stock, se tomaron 200 μL de metanol 80%.

### 5.12 Capacidad antioxidante del extracto por el método de DPPH.

Para la determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH, se pesaron 0.0024 g del reactivo de DPPH y se agregaron a un matraz de aforación de 100 mL (DPPH 60 μM). Esto se aforó con metanol y finalmente la absorbancia del reactivo se ajustó a 0.7 en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm.

Para la preparación de la muestra, a 50 μL de extracto de la testa de frijol se le agregaron 1.5 mL del reactivo de DPPH, se dejó reaccionar por un periodo de 30 min a temperatura ambiente y finalmente se leyeron las absorbancias a 517 nm. Los resultados se expresaron como microequivalentes de Trolox por gramo de muestra seca (López-Contreras et al., 2015).

### 5.13 Capacidad antioxidante del extracto por el método de ABTS.

Para la determinación de capacidad antioxidante por el método de ABTS, primero se pesaron 0.0040 g del reactivo ABTS y se disolvieron en 1 mL de agua destilada (solución 1 de ABTS a 7.4 mM). Posteriormente se preparó la solución, donde se pesaron 0.007 g de KS<sub>2</sub>O<sub>8</sub> en 10 mL de agua destilada (KS<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 2.6 mM). La solución 3 se preparó de la siguiente manera: se tomó 1 mL de cada solución y se mezclaron por 12

horas en condiciones de oscuridad. En seguida, se colocó en un matraz de aforación de 100 mL y se aforó con metanol 80:20. Finalmente la absorbancia del reactivo se ajustó a 0.7 a una longitud de onda de 734 nm, y el reactivo se protegió de la luz. Para preparar las muestras, primero se mezclaron 0.1 mL de extracto y 1.4 mL del reactivo de ABTS, lo cual se dejó reaccionar por 30 min y finalmente se leyeron las absorbancias a 734 nm en el espectrofotómetro (López-Contreras et al., 2015).

Se preparó una curva de calibración para las determinaciones de la capacidad antioxidante se la siguiente manera: Se pesaron 0.0125 g de Trolox y se aforó con metanol en un matraz de 100 mL.

Tabla 6. Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante.

No. de tubo	[ $\mu$ M] Trolox	Trolox 500 $\mu$ M (mL)	Metanol (mL)
1	500	2.0	0.1
2	400	1.6	0.4
3	300	1.2	0.8
4	200	0.8	1.2
5	100	0.4	1.6
Blanco	0	0	2

Se tomaron alícuotas de 0.05 mL de cada una de las concentraciones de la solución stock y se combinan con 1.5 mL del reactivo (DPPH o ABTS según el caso).

De ser necesario, se calculó el porcentaje de inhibición del radical utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 8: \% de inhibición} = [(Ac-Am) / Ac] * 100.$$

Donde Ac: absorbancia de control y Am: absorbancia de muestra.

#### **5.14 Capacidad antioxidante del extracto por el método de FRAP.**

El ensayo se realizó siguiendo la metodología descrita previamente por Benzie y Strain (1996). El reactivo FRAP se realizó mezclando (10:1:1) de buffer de acetatos (250 mM a

pH 3.6), 10 mM de 2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) en HCl 40 mM y 20 mM FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, respectivamente. En una celda se añadieron, 20 µl de muestra, 60 µl de agua desionizada y se mezclaron con 600 µl del reactivo FRAP recién preparado, incubando a 37 °C por 30 minutos, posteriormente se leyó a 593 nm. Los resultados fueron expresados como µmol equivalentes de trolox por gramo de muestra, realizando una curva de calibración usando trolox como estándar a una concentración de 0 a 1000 µM.

Tabla 7. Curva de calibración para determinación de capacidad antioxidante por método de FRAP.

No. de tubo	[µM] Trolox	Trolox 1 mM (µL)	Agua (µL)
1	1000	500	0
2	800	400	100
3	600	300	200
4	400	200	00
5	200	100	400
6	100	50	450
7	50	25	475
Blanco	0	0	500

### 5.15 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.

Los compuestos fenólicos fueron analizados a partir de extractos metanólico-acetónico siguiendo la metodología reportada por Schieber, Keller y Carle, (2001) con ligeras modificaciones. Los análisis de HPLC se realizaron en un equipo de cromatografía de líquidos de alta resolución de la Agilent1260 provisto con detector de arreglo de diodos (G4212B) y controlador de temperatura (G1316A) de muestra y de columna cromatográfica. Como fase estacionaria se utilizó una columna C18 Supelco Nucleosil (5 µM, 250 x 3 mm). Como fase móvil se empleó un sistema constituido por buffer de acetatos a pH de 2.0 (A) y como modificador orgánico 50:50 de agua acidificada con ácido acético (0.5%) - acetonitrilo (ACN) (B). Para la elución de los compuestos fenólicos se utilizó un sistema de gradiente, iniciando con 10% de B y concluyendo con 10% al minuto 55. El programa de gradiente lineal se muestra en la tabla 8. El volumen

de inyección fue de 20  $\mu$ L con un flujo de 1 mL/min. El tiempo total de cada corrida fue de 55 min. Al finalizar cada corrida se llavó a cabo el lavado de la columna con 95% de ACN por 3 min y equilibrada con 100% A por 3 min. La detección de los compuestos se efectuó a dos longitudes de onda, 280 y 320 nm. La identificación de los compuestos se llevó a cabo con base a los tiempos de retención y corroborando con el espectro de absorción de cada compuesto. Los estándares que se utilizaron fueron ácido gálico, ácido ferúlico, catequina y ácido sinápico de la marca Sigma.

Tabla 8. Programa de gradiente lineal.

Minuto	Componente A (agua pH 2.0 ajustado con ácido acético)	Componente B 50:50 de agua ácida (0.5%) – acetonitrilo
0	90%	10%
40	45%	55%
50	0%	100%
55	90%	10%

### 5.16 Análisis estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central como media y medidas de dispersión como desviación estándar.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para comparar medias entre las especies de frijol, tras comprobar supuestos de normalidad y homocedasticidad de las muestras, así como la prueba post-hoc de Tukey para comprobar las diferencias de medias, utilizando un p-valor de 0.05 (Anexos 11.2 – 11.4).

En caso de no cumplirse el supuesto de normalidad en las muestras, se utilizó la técnica no paramétrica Kruskal-Wallis (Anexo 11.5). El programa estadístico informático utilizado fue SPSS versión 22.0 (IBM Corp., USA).

## VI. RESULTADOS

### 6.1 Análisis proximal de los genotipos de frijol.

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal del frijol tepari y las variedades de frijol comercial tomados como referencia. Se pueden observar diferencias significativas entre los genotipos de frijol en ciertos parámetros, como en humedad y proteína bruta. Respecto al porcentaje de lípidos, no se observaron diferencias significativas. Los valores de fibra dietética para las dos variedades de frijol común fueron tomados de la literatura; sin embargo, se puede observar que, teóricamente, estas variedades presentan mayor cantidad de fibra dietética que el frijol tepari. Se observan aumentos porcentuales significativos del frijol tepari en humedad y proteína bruta respecto al frijol pinto. Por otra parte, se observa una disminución porcentual significativa de los parámetros de frijol tepari en humedad, proteína bruta y fibra dietética respecto al frijol jamapa.

Tabla 9. Composición proximal de semillas de frijol Tepari (*P. acutifolius* Gray) y frijol común (*P. vulgaris* L.).

	<b>Tepari</b>	<b>Pinto</b>	<b>Jamapa</b>
<b>Humedad (%)</b>	7.41 ± 0.19 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.02 <sup>b</sup>	10.05 ± 0.21 <sup>c</sup>
<b>Ceniza (%)</b>	4.96 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.72 ± 0.31 <sup>b</sup>	4.87 ± 0.05 <sup>a</sup>
<b>Proteína bruta (%)</b>	20.50 ± 0.29 <sup>a</sup>	19.13 ± 0.37 <sup>b</sup>	23.95 ± 0.08 <sup>c</sup>
<b>Lípidos (%)</b>	1.52 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.42 ± 1.35 <sup>a</sup>
<b>Fibra dietética (%)</b>	16.15 ± 1.83	28.5 ± 0.67*	37.7 ± 0.52*
<b>Soluble</b>	0.73 ± 0.15	0.8 ± 0.1*	1.6 ± 0.7*
<b>Insoluble</b>	15.42 ± 2.44	28.2 ± 0.8*	36.1 ± 1.9*
<b>Carbohidratos totales (%)</b>	49.46 ± 2.02 <sup>a</sup>	50.53 ± 0.26 <sup>a</sup>	37.72 ± 1.84 <sup>b</sup>

Composición de semillas está en base seca.

Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3)

Medias en una fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes p < 0.05.

\* Valores obtenidos de literatura (Campos-Vega et al., 2009).

## **6.2 Propiedades tecnológicas de los genotipos de frijol.**

Los resultados de las propiedades tecnológicas del frijol tepari, frijol pinto y frijol jamapa se presentan en la tabla 10. En cuanto al tiempo de cocción, el frijol pinto requirió mayor tiempo de cocción, seguido por el frijol tepari y finalmente, el frijol jamapa que obtuvo el menor tiempo de cocción. La capacidad de hidratación e índice de hidratación resultó ser significativamente menor para el frijol tepari. En cambio, para la capacidad de hinchamiento, índice de hinchamiento, capacidad de absorción de agua (WAC) y capacidad de absorción de aceite (OAC), el frijol tepari resultó significativamente mayor, en comparación con las variedades de frijol común. La CHI del frijol tepari resultó en un 68% mayor que la del frijol pinto y un 52% mayor a la del frijol jamapa. Así mismo, el IHI del frijol tepari es cinco veces mayor a la del frijol pinto y es 80% mayor al del frijol jamapa, haciendo que la relación mL de agua / gramo de frijol sea mayor, por lo que el rendimiento del frijol tepari es superior a los de los genotipos de frijol común. La WAC del frijol tepari es significativamente mayor a la del frijol pinto y jamapa en un 21% y 15%, respectivamente. En cuanto a la OAC, el incremento en los valores del frijol tepari respecto al frijol pinto y jamapa fue de 19% y 24%, respectivamente. Respecto al contenido de almidón resistente del frijol tepari, éste resultó significativamente menor al de las variedades de frijol común. Por último, el contenido del almidón no resistente resultó ser significativamente igual tanto para el frijol tepari como para el frijol jamapa.

## **6.3 Análisis del perfil de textura de los genotipos de frijol.**

Los resultados del análisis del perfil de textura se presentan en la tabla 11. Los valores obtenidos de los parámetros de dureza, cohesividad, masticabilidad y adhesividad con y sin remojo, se presentan para el frijol tepari. Para el caso del frijol pinto y jamapa, no se pudieron obtener los datos para los cuatro parámetros de las semillas sin remojo puesto que la dureza de la semilla excedía los valores de calibración del equipo (70 Kg ó 686.47 N). Sin embargo, los parámetros de textura sí se pudieron obtener en las semillas de frijol pinto y jamapa remojadas. Para el caso del frijol tepari, se pudo observar una disminución significativa en la dureza de las semillas con y sin remojo. Dicha disminución representa hasta un 70% menos dureza en semillas remojadas. Para los

parámetros de cohesividad, masticabilidad y adhesividad se observa una disminución en los valores de dichos parámetros en 11%, 87% y 84%, respectivamente para el frijol tepari.

Tabla 10. Propiedades tecnológicas del frijol Tepari (*P. acutifolius* Gray) y dos variedades de frijol común (*P. vulgaris* L.).

Parámetro	Tepari	Pinto	Jamapa
<b>TC 0 h remojo</b>	80.49 ± 3.38 <sup>a</sup>	87.33 ± 0.58 <sup>b</sup>	62.67 ± 1.15 <sup>c</sup>
<b>TC 4 h remojo</b>	64.16 ± 1.14 <sup>a</sup>	72.67 ± 0.58 <sup>b</sup>	40.0 ± 1.0 <sup>c</sup>
<b>TC 8 hremojo</b>	55.10 ± 0.69 <sup>a</sup>	54.33 ± 0.58 <sup>a</sup>	39.0 ± 1.0 <sup>b</sup>
<b>CH (g/semilla)</b>	0.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.37 ± .01 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.004 <sup>c</sup>
<b>IH</b>	0.54 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.98 ± 0.02 <sup>b</sup>
<b>CHI (mL/g)</b>	0.76 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.02 <sup>c</sup>
<b>IHI</b>	3.66 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.08 ± 0.12 <sup>c</sup>
<b>WAC (g/g)</b>	3.09 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.44 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.64 ± 0.08 <sup>b</sup>
<b>OAC (g/g)</b>	1.13 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.05 <sup>b</sup>
<b>AR (%)</b>	0.19 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>c</sup>
<b>ANR (%)</b>	4.46 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.41 ± 0.45 <sup>b</sup>	4.63 ± 0.21 <sup>a</sup>

Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3)

Medias en una fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes p < 0.05.

TC = tiempo de cocción en minutos, CH= capacidad de hidratación, IH=índice de hidratación, CHI=capacidad de hinchamiento, IHI=índice de hinchamiento, WAC=capacidad de absorción de agua, OAC=capacidad de absorción de aceite, AR=almidón resistente, ANR=almidón no resistente

Tabla 11. Análisis del perfil de textura de semillas del frijol Tepari (*P. acutifolius* Gray) y frijol común (*P. vulgaris* L.).

Parámetro	Tepari	Pinto	Jamapa
<b>Sin remojo</b>			
<b>Dureza (N)</b>	354.79 ± 67.31	>686.47*	>686.47*
<b>Cohesividad</b>	0.18 ± 0.09	---*	---*
<b>Masticabilidad (Kg)</b>	18.62 ± 16.54	---*	---*
<b>Adhesividad (Kg·s)</b>	0.98 ± 0.92	---*	---*
<b>Remojo 8 horas</b>			
<b>Dureza (N)</b>	98.87 ± 31.24 <sup>a</sup>	182.43 ± 31.24 <sup>b</sup>	152.78 ± 26.93 <sup>c</sup>
<b>Cohesividad</b>	0.16 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.03 <sup>a</sup>
<b>Masticabilidad (Kg)</b>	2.24 ± 1.65 <sup>a</sup>	3.52 ± 1.14 <sup>b</sup>	12.83 ± 1.20 <sup>c</sup>
<b>Adhesividad (Kg·s)</b>	0.15 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.06 <sup>c</sup>

Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 10)

Medias en una fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes p < 0.05.

\* Significa que las muestras superaron los 70Kg·f (686.47N).

#### 6.4 Análisis de los grupos funcionales de los genotipos de frijol.

En la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de los grupos funcionales de los genotipos de frijol.

En los tres genotipos se identificaron los grupos funcionales: flavonoides, azúcares y saponinas. El frijol tepari y el frijol negro presentaron, además de los anteriores grupos funcionales, grupos carbonilo a diferencia del frijol pinto. En ninguno de los tres genotipos se detectaron insaturaciones. El frijol tepari y frijol negro presentaron los mismos grupos funcionales.

Tabla 12. Análisis cualitativo de grupos funcionales de frijol

	<b>Tepari</b>	<b>Pinto</b>	<b>Jamapa</b>
<b>Grupos funcionales</b>	Presencia/Ausencia	Presencia/Ausencia	Presencia/Ausencia
Flavonoides	+	+	+
Cumarinas	+	+	+
Insaturaciones	-	-	-
Grupos carbonilo	+	-	+
Azúcares	+	+	+
Saponinas	+	+	+

(n=3).

#### 6.5 Cuantificación de polifenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados a partir la testa de frijol.

En la tabla 13 se presentan las concentraciones de polifenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados. Los datos de polifenoles totales obtenidos en cada uno de los genotipos fueron comparados con una curva de ácido gálico obteniendo una  $r^2$  de 0.9938.

Mientras que para la determinación de flavonoides totales y taninos condensados se utilizó como estándar catequina; dichos datos se compararon con una curva de calibración del estándar antes mencionado con una  $r^2$  de 0.996. El frijol tepari presenta valores significativamente menores a los de las variedades de frijol comercial (pinto y jamapa). El frijol jamapa posee mayor cantidad de los compuestos fenólicos antes mencionados.

## 6.6 Determinación de la capacidad antioxidante a partir de la testa de frijol.

Los resultados de la capacidad antioxidante de los genotipos de frijol se presentan en la tabla 13. Se puede observar que el frijol tepari presenta menor capacidad antioxidante, en comparación con las especies comerciales. La variedad de frijol que presentó mayor capacidad antioxidante en las diferentes determinaciones fue el frijol jamapa, seguido del frijol pinto.

Tabla 13. Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la testa de frijol.

Compuestos Fenólicos	Tepari	Pinto	Jamapa
<b>PT*</b>	38.68±2.76 <sup>a</sup>	69.91±0.36 <sup>b</sup>	130.54±7.25 <sup>c</sup>
<b>FT**</b>	25.79±0.64 <sup>a</sup>	124.59±2.06 <sup>b</sup>	110.04±2.06 <sup>c</sup>
<b>TC**</b>	134.32±14.91 <sup>a</sup>	233.25±10.32 <sup>b</sup>	355.95±4.97 <sup>c</sup>
<b>Capacidad antioxidante</b>			
<b>ABTS***</b>	646.97±41.88 <sup>a</sup>	896.21±103.77 <sup>b</sup>	2599.487±98.91 <sup>c</sup>
<b>DPPH***</b>	313.78±7.72 <sup>a</sup>	381.17±2.89 <sup>b</sup>	895.19±6.59 <sup>c</sup>
<b>FRAP***</b>	722.49±74.14 <sup>a</sup>	1593.58±213.46 <sup>b</sup>	2087.153±4.68 <sup>c</sup>

PT = Fenoles totales, FT = Flavonoides totales, TC = Taninos condensados

ABTS = 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolona-6-sufónico, DPPH = 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil,

FRAP = poder antioxidante de reducción férrica

\*mgEAG/g, \*\*mgECat/g, \*\*\* $\mu$ molET/g

Medias con diferentes superíndices en una fila son significativamente diferentes (n=3).

## 6.7 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.

Los principales compuestos fenólicos encontrados en los diferentes genotipos de frijol se presentan en la tabla 14. Los compuestos fenólicos que se identificaron en los tres genotipos fueron ácido ferúlico, ácido gálico y catequina. Además de estos compuestos, en el frijol negro jamapa se identificó el ácido sinápico. El frijol tepari presentó valores de ácido ferúlico significativamente menores a los de las variedades de frijol común. En cuanto al contenido de catequina, no se observó diferencia en su contenido en los tres genotipos. En cuanto al contenido de ácido gálico, hubo diferencias significativas, siendo el frijol negro el genotipo que mayor cantidad presentó de este compuesto,

seguido por el frijol tepari y, por último, el frijol pinto. Los cromatogramas obtenidos por HPLC se pueden observar en la figura 7.

Tabla 14. Compuestos fenólicos identificados por HPLC en genotipos de frijol.

Compuestos fenólicos	Tepari	Pinto	Jamapa
<b>AF*</b>	0.46 ± 0.32 <sup>a</sup>	69.50 ± 2.49 <sup>b</sup>	115.05 ± 15.52 <sup>c</sup>
<b>CA**</b>	647.91 ± 249.67 <sup>a</sup>	2196.23 ± 1391.24 <sup>a</sup>	460.54 ± 34.35 <sup>a</sup>
<b>AG***</b>	2.98 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.03 <sup>b</sup>	5.424 ± 0.11 <sup>c</sup>
<b>AS****</b>	NI	NI	3.20

AF = Ácido ferúlico, CA = Catequina, AG = Ácido gálico, AS = Ácido sinápico.

\*mgEAF/g, \*\*mgECat/g, \*\*\*mgEAG/g, \*\*\*\*mgEAS/g.

Medias con diferentes superíndices en una fila son significativamente diferentes (n=3).

NI = No se identificó.

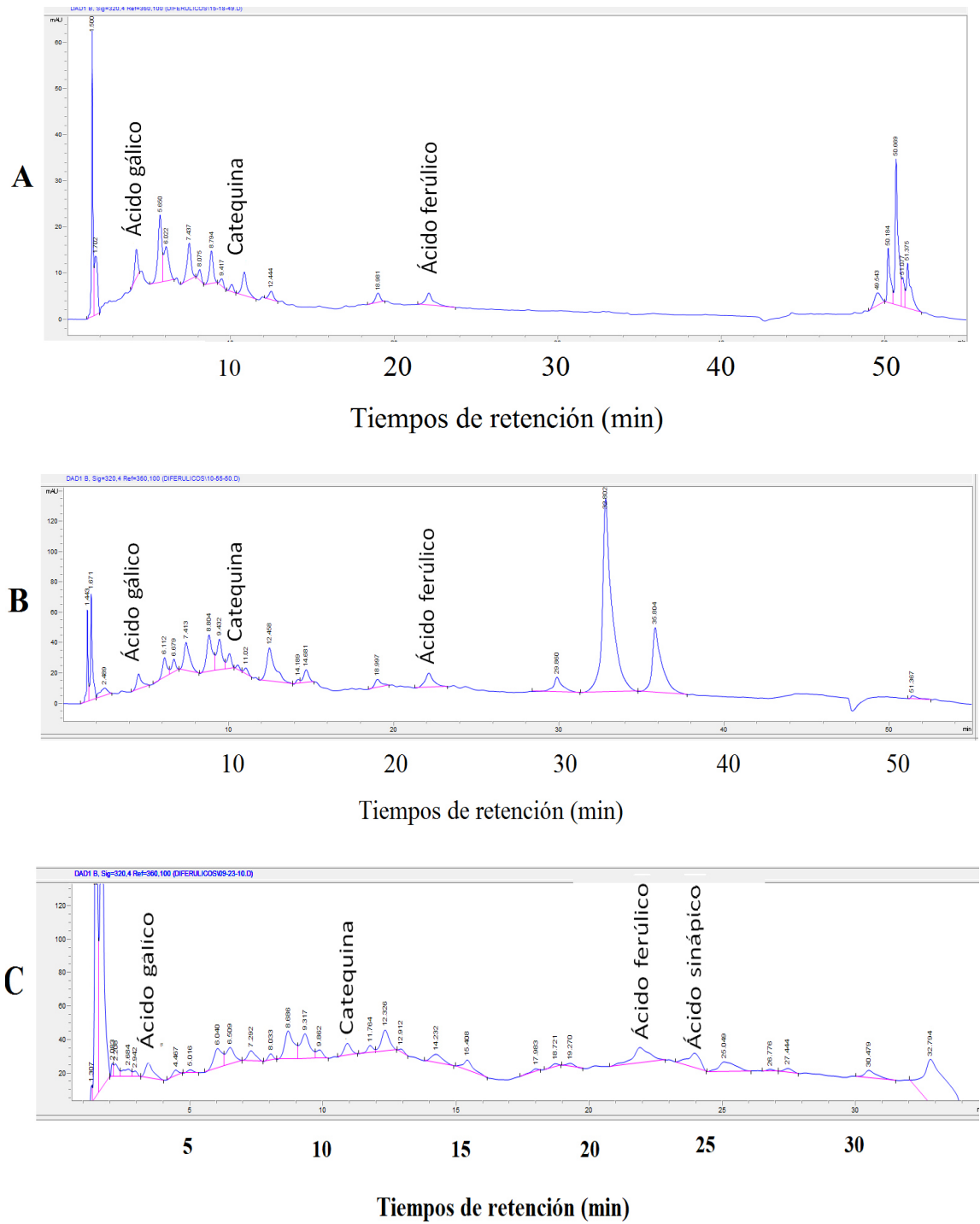


Figura7. Cromatogramas típicos a una longitud de onda de 320 nm de A: frijol tepari, B: frijol pinto, C: frijol jamapa. Se observa la presencia de compuestos no identificados en alta concentración en frijol tepari y frijol pinto.

## VII. DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis proximal de los genotipos de frijol.

Los resultados obtenidos del análisis proximal de este estudio, fue realizado en semillas de frijol cultivadas en el estado de Nuevo León. Los valores obtenidos de la composición proximal del frijol tepari son similares a los reportados por otros estudios realizados en el estado de Virginia, en Estados Unidos de América, Isabela, Puerto Rico y en Sonora, México (González-de-Mejía et al., 1988; Bhardwaj, 2013; Porch et al., 2016). Estos resultados pueden sugerir que tanto las condiciones ambientales como las características del suelo en dicha región no presenta grandes diferencias a las del estado de Nuevo León. Sin embargo, el frijol tepari analizado por González, Llano, Medina y Castellanos, (1992) presentó mayor cantidad de proteína cruda y de lípidos, así como menor cantidad fibra. Cabe mencionar que en dicho estudio se llevó a cabo la determinación de proteína cruda por el método de Kjeldahl, en el cual pueden interferir compuestos nitrogenados no proteicos, y la determinación de fibra cruda se realizó por el método tradicional de la AOAC, siendo éste un método que subestima los valores de los resultados debido a la pérdida de la fracción de fibra soluble. Sin embargo, en el presente estudio las determinaciones se realizaron por el método de Dumas, el cual se basa en una pirólisis completa de la muestra, midiendo el contenido de nitrógeno de los gases de combustión, y por determinación de fibra dietética, tomando en cuenta el residuo de fibra soluble, respectivamente.

Las diferencias encontradas en los valores de composición proximal del frijol tepari con los reportados por otros estudios pueden deberse a la sensibilidad de los métodos bromatológicos, condiciones de cultivo y condiciones ambientales, a las propiedades de suelo y a la variedad de la semilla (Cheynier, 2012). En comparación con los genotipos de frijol común (pinto y negro), se pudieron observar diferencias significativas en la composición entre los tres genotipos en cuanto a proteína bruta y el contenido de humedad, así como en el contenido de fibra dietética, tanto soluble como insoluble (tabla 9), según lo reportado por Campos-Vega et al., (2009). Dichas diferencias pueden explicarse por las diferencias genéticas entre las especies (Cheynier, 2012).

## **7.2 Propiedades tecnológicas de los genotipos de frijol.**

Los tiempos de cocción medidos para frijol tepari, resultaron en un rango de 55.10 – 80.49 minutos, desde las semillas sin remojo hasta las semillas que se remojaron por 8 horas previas a su cocción. Este rango, se encuentra dentro de los tiempos de cocción reportados para 33 variedades diferentes de frijol tepari sometidos hasta 12 h de remojo, que van desde 37.1 min hasta 107.4 min (Porch et al., 2016). Las diferencias en los tiempos de cocción pueden ser explicadas a las condiciones de almacenamiento a las que fueron sometidas las semillas, previo a la cocción, a las horas de remojo, a las diferencias genotípicas de las variedades, al porcentaje de testa de la semilla, etc., (Mederos 2006).

Cabe resaltar que el tiempo de cocción corto es una característica que ha sido considerada como criterio de selección durante procesos de domesticación, ya que representa un atributo de calidad culinaria (Peña et al., 1999). Con los resultados obtenidos de los tres genotipos con diferentes tiempos de remojo, se puede observar un efecto sobre el tiempo de cocción final. A medida que se incrementa el periodo de remojo, los tiempos de cocción se reducen hasta en un 20-40%; este efecto de remojo es de conocimiento público y puede ser de utilidad para contribuir al ahorro de energía y de combustible requerido para la elaboración de alimentos (Mora, 1980).

La capacidad de hidratación del frijol tepari del presente estudio (0.11 g/semilla) se encuentra dentro del rango de 0.01 – 0.53 g/semilla reportados por Porch et al., (2016). Los resultados de la capacidad de hidratación y la capacidad de hinchamiento para los tres genotipos de frijol en el presente estudio resultaron ser significativamente diferentes entre sí. Estos parámetros varían dependiendo de la especie y variedad analizada, pudiendo presentarse variaciones que van desde 6.1 – 126% (Jacinto, Acosta y Ortega, 1993). Esto es el resultado de la capacidad que tienen todas las leguminosas de incrementar su volumen y peso de hasta tres veces su valor original durante los procesos de remojo y cocción, ya que las membranas celulares que recubren hasta un 60% de las células vegetales, se debilitan y lisan durante estos procesos (Alfonso, 2000).

Las WAC y OAC del frijol tepari en el presente estudio, resultaron ser significativamente diferentes a los de los genotipos del frijol común, sin embargo, tanto

el frijol pinto como el frijol negro, no presentaron diferencias. Estos resultados pueden inferir que dichas capacidades de absorción son dependientes de la especie analizada. Una mayor capacidad de absorción de agua en el frijol tepari, puede deberse a que la presencia de mayor cantidad de constituyentes hidrofílicos que en las variedades de frijol común. Así mismo, al presentar mayor capacidad de absorción de aceite, el frijol tepari puede poseer mayor cantidad de constituyentes no polares en comparación de las variedades de frijol común (Hodge y Osman, 1976). Esta capacidad de unión al aceite puede explicarse debido a que, en la harina del frijol, puede haber variaciones en la presencia de cadenas laterales no polares que podrían unirse a las cadenas laterales hidrocarbonadas del aceite (Adebowale y Lawal, 2004).

Previamente, se ha reportado la presencia de diversas proteínas en el frijol tepari con cierta propiedad hidrofóbica según su composición aminoacídica. Por ejemplo, (Kusolwa y Myers, 2012) reportan la presencia de fitohemaflutina y arcelina, las cuales poseen estructuras con al menos un aminoácido terminal de naturaleza hidrofóbica como lo son la alanina y la prolina. Por otra parte (Ahmed, 1993), aisló diversas fracciones proteicas del frijol tepari, de las cuales la fracción constituida por albúminas resultó ser la que presentó mayor capacidad de absorción de aceite, seguido por la fracción constituida por globulinas, sugiriendo que estas fracciones son estructuralmente más lipofílicas que otras. Lo reportado por dichos autores, hace suponer que el frijol tepari analizado en esta investigación posee mayor cantidad de fracciones proteicas de naturaleza hidrofóbica como las albúminas y globulinas que los genotipos de frijol común.

Valores mayores de capacidad de absorción de agua o aceite en la harina del frijol tepari, puede explicarse a un mayor contenido de proteínas en su estructura. Dicha capacidad de fijación de agua y aceite de la proteína alimentaria presente en este alimento depende de factores intrínsecos como la composición de aminoácidos, la conformación de proteínas y la polaridad superficial o hidrofobicidad. La capacidad de las proteínas de la harina del frijol tepari para unirse con el aceite, la hace útil en el sistema alimentario donde se desea una absorción óptima del aceite. El OAC también hace que la harina sea adecuada para facilitar la mejora del sabor y la sensación de boca cuando se usa en la preparación

de alimentos. Debido a estas propiedades, la proteína de esta leguminosa probablemente podría ser utilizada como ingrediente funcional en alimentos (Chandra y Samsher, 2013).

Los resultados obtenidos en este estudio para el contenido de almidón en muestras acero horas de almacenamiento tras su cocción fueron similares a los reportados por Silva-Cristóbal, Osorio-Díaz, Tovar y Bello-Pérez, en el 2010, donde las leguminosas analizadas fueron: frijol común, lentejas y garbanzos. El frijol tepari y los genotipos de frijol común analizados en esta investigación presentaron cantidades significativas de almidón resistente en comparación con otros granos, como lo son los cereales, por lo que la velocidad de digestión del almidón y la liberación de glucosa en el torrente sanguíneo podría ser más lenta después de la ingestión de este tipo de leguminosas en comparación con los cereales (Jenkins et al., 2012). Además, sería de interés científico caracterizar los polímeros de almidón (amilosa y amilopectina) presentes en el frijol tepari, así como analizar los cambios que éstos sufren durante el almacenamiento, puesto que la relación de estos polímeros en el alimento influye en el índice glucémico que se genera tras su ingestión.

### **7.3 Análisis del perfil de textura de los genotipos de frijol.**

Los análisis del perfil de textura de las semillas con y sin remojo de los genotipos de frijol resultaron distintos. Por un lado, ciertos parámetros de textura no pudieron ser obtenidos para los genotipos de frijol común, puesto que los valores sobrepasaban los límites de medición del equipo, situación que coincidió con un estudio realizado por Kabbara et al., en 1987, donde el parámetro de dureza de semillas de frijol crudo tampoco pudo ser obtenido porque los valores sobrepasaron la calibración del equipo utilizado. La razón por la cual la medición de la dureza en las semillas de frijol crudo no pudo ser obtenida puede deberse a dos factores principales que pudieron presentar las semillas: el primero es el fenómeno de testa dura (impermeabilidad de la capa de la semilla) y al fenómeno “sclerema”, una condición por la cual los cotiledones no pueden captar agua, aunque se hayan eliminado las barreras de la capa de la semilla (Kabbara et al., 1987).

Aun así, los parámetros de textura de las semillas remojadas por 8 h se pudieron obtener, suponiendo que tras el periodo de remojo éstas disminuyeron considerablemente su dureza. A partir de los datos obtenidos, se puede observar que la dureza del frijol tepari, tras un periodo de remojo de 8 h, es significativamente menor que el de los genotipos de frijol común.

Ésta característica es de importancia, ya que se encuentra ligada con la calidad culinaria de la semilla. A mayor permeabilidad de la semilla durante el remojo, mayor absorción de agua y ablandamiento de la misma, lo que genera menores tiempos de cocción, evitando alteraciones en el valor nutricional, sabor y color del alimento final (Oliveira, Patto y Duarte, 2002). Naturalmente, los parámetros de textura se encuentran ligados con los altos valores de hidratación, hinchamiento y de absorción de agua observados en el frijol tepari, pues al haber mayor captación de agua durante el remojo, los parámetros texturales se ven disminuidos considerablemente.

#### **7.4 Análisis de los grupos funcionales de los genotipos de frijol.**

Las reacciones químicas de coloración y de precipitación permiten observar la existencia de determinados compuestos químicos en las plantas, lo cual de forma cualitativa le sirven al investigador para decidir hacia qué dirección se puede dirigir el estudio de un alimento vegetal basándose en los tipos de compuestos que pueden estar presentes en el mismo.

Las pruebas cualitativas para determinar la presencia o ausencia de grupos funcionales presentes en los genotipos de frijol concuerdan con lo reportado por otros autores. Por ejemplo, Oliva-Puebla, (2015) reporta la presencia de flavonoides, azúcares, cumarinas, saponinas, entre otros, en extractos de frijol común. La presencia o ausencia de los grupos funcionales puede explicarse por factores antes mencionados como diferencias genéticas entre genotipos, condiciones de cultivo y ambientales, composición de la semilla, etc.

## **7.5 Cuantificación de polifenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados a partir la testa de frijol.**

La cuantificación de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados han sido estudiados para genotipos de frijol común, reportando valores variables a los obtenidos en el presente estudio. Rocha-Guzmán et al., (2013) reportan valores de  $\approx 100$  mgEAG / g de fenoles totales para el frijol negro y  $\approx 40$  mgEAG / g para el frijol pinto. En el presente estudio se reportaron cantidades mayores de fenoles totales para las dos variedades de frijol común. Sin embargo, para el contenido de flavonoides totales y taninos, los valores obtenidos en la presente investigación resultan similares a los reportados por (Ombra et al, 2016) para variedades de frijol común, presentando valores desde los 100.15 mgEC/g hasta 244.69 mgEC/g, respectivamente. Las diferencias observadas en el contenido de compuestos fenólicos pueden deberse a diversos factores previamente mencionados, como a condiciones de cultivo, características de suelo, exposición a la luz, los cuales son factores que pueden influenciar en la cantidad de compuestos fenólicos; así mismo, las condiciones de almacenamiento prolongados afectan la cantidad de estos compuestos (Manach, Scalbert, Morand, Rémésy y Jiménez 2004).

En cuanto al frijol tepari, Valenzuela-Quintanar (1988), reporta 38.99 mgEAG/g para fenoles totales; este reporte concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio para el frijol tepari. Así mismo cabe mencionar que el frijol tepari y otra leguminosa, el cacahuete, presentan valores semejantes de fenoles totales a los obtenidos en este trabajo de  $38.68 \pm 2.76$  mgEAG/g (Khang et al., 2016). No se encontraron reportes sobre el contenido de flavonoides totales de frijol tepari analizado en otras regiones, sin embargo, se puede suponer que los valores de flavonoides podrían diferir de una variedad a otra ya que éstos compuestos son de los más susceptibles a verse disminuidos por factores como condiciones de almacenamiento, calor, humedad, etc., (Chen et al., 2015). En cuanto al contenido de taninos condensados en el frijol tepari, Valenzuela-Quintanar, (1988) reporta en el frijol tepari 40.68 mgEC/g, que son valores menores a los encontrados en el presente estudio de 134.32 mgEC/g. Las diferencias observadas en estos valores pueden ser debido a que durante los procesos de molienda y extracción de

la muestra se pueden formar complejos tanino-proteína, lo que puede generar que no sean detectados por el método empleado en dicha determinación, también puede ser explicada por las diferencias del suelo en el que la semilla fue cultivada (Elías, Fernández y Bressani, 1979).

Cabe resaltar que los análisis de compuestos fenólicos extraíbles se realizaron únicamente en extractos de la testa del frijol crudo, abriendo la posibilidad a realizar futuras investigaciones acerca del contenido de este tipo de componentes en el alimento completo, tanto en estado crudo como cocido, puesto que se sabe que dichos constituyentes pueden verse disminuidos bajo diferentes procesos de almacenamiento o cocción debido a la degradación que éstos sufren por acción del calor o humedad, siendo los flavonoides los más susceptibles (Chen et al., 2015) y otros, por el contrario, pueden verse aumentados como el caso de los ácidos benzóicos, que tras un proceso de depolarización, compuestos como la catequina se liberan de estructuras más completas como los taninos condensados (Xu y Chang, 2009). Por otra parte, sería de interés científico realizar el análisis de componentes fenólicos no extraíbles o asociados a fibra de los genotipos de frijol para, de esta manera, delucidar de forma más exacta la verdadera cantidad de estos componentes en las semillas de frijol.

#### **7.6 Determinación de la capacidad antioxidante a partir de la testa de frijol.**

Los compuestos fenólicos presentes en el frijol pueden desempeñar un papel clave al eliminar agentes reactivos nocivos del oxígeno y proteger las células del daño oxidativo relacionado con el envejecimiento y los trastornos relacionados con la edad (Dueñas et al., 2015). Estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que los compuestos fenólicos pueden presentar propiedades anti-ateroscleróticas y antiinflamatorias, además de ser capaces de inhibir el crecimiento de líneas celulares de cáncer (Del-Río et al., 2013). Diversos autores han reportado capacidad antioxidante en variedades de frijol común. Rocha-Guzmán et al., (2013), utilizando en método de DPPH reportó alrededor de  $\approx 1800 \mu\text{molET/g}$  para el frijol negro, lo cual son valores mayores a los reportados en el presente estudio; sin embargo, para el frijol pinto, los autores encontraron hasta  $\approx 3800 \mu\text{molET/g}$ ; ésto resulta ser un valor mayor al obtenido en la presente investigación. Por

otra parte, Khang et al., (2016) reportan para la capacidad antioxidante de diversas leguminosas el porcentaje de inhibición de radicales libres por el método de DPPH. El frijol jamapa analizado en la presente investigación presentó 93.33% de inhibición, en comparación con el frijol negro analizado por Khang et al., (2016) el cual presentó solo 64.92% de inhibición.

A su vez, el frijol tepari analizado en este estudio posee un porcentaje de inhibición de 63.73%, similar a lo reportado por Khang et al., (2016) para frijol negro. No se han encontrado estudios que previamente hayan reportado la capacidad antioxidante para esta especie, se puede comparar con valores similares obtenidos de otras leguminosas como el frijol caupí (*Vigna unguiculata*), que reporta 61.53% de inhibición. Por último, el frijol pinto presentó un porcentaje de inhibición de 80.3%, que es comparable con el porcentaje de inhibición de la soya de 84.84% (Khang et al., 2016).

Diversos estudios han determinado la capacidad antioxidante de extractos de testa de frijol común por otros métodos. En el trabajo publicado por Kan et al., (2016) se obtuvieron valores de capacidad antioxidante por el método de FRAP de  $1030.65 \pm 7.21 \mu\text{mol}$  equivalentes de Fe (II)/g para frijol pinto y de  $811.14 \pm 7.27 \mu\text{mol}$  equivalentes de Fe (II)/g para frijol negro. Dichos resultados parecen ser inferiores a los obtenidos en la presente investigación. Por otro lado, Gan et al., (2016) reportan valores de capacidad antioxidante por el método de ABTS para diversas variedades de frijol común, entre ellas variedades de frijol pinto y negro, obteniendo valores que van desde los  $237 \pm 4.38 \mu\text{molET/g}$  hasta  $308 \pm 12.8 \mu\text{molET/g}$ . Estos resultados son inferiores a los obtenidos en esta investigación, por lo cual se considera que diferencias en la composición de las semillas, así como otros factores previamente mencionados, son los responsables de dichas diferencias.

Cabe resaltar que la actividad antioxidante de los genotipos de frijol analizados en este trabajo, resultan diferentes según el método utilizado. Los métodos de DPPH, ABTS y FRAP representan gran estabilidad, sin embargo, presentan diferencias. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS tiene que ser generado tras una reacción que puede ser química, enzimática o electroquímica (Imeh y Khokhar, 2002). Con el ABTS se puede medir la actividad de

compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico. El radical ABTS<sup>•+</sup> tiene, además, la ventaja de que su espectro presenta máximos de absorbancia a diferentes longitudes de onda en medio alcohólico, mientras que el DPPH presenta un pico de absorbancia a 515 nm (Kim et al., 2002). Por último, la determinación de capacidad antioxidante por el método de FRAP está basada en la capacidad que tiene la muestra para reducir el ión férrico (Fe<sup>3+</sup>) presente en un complejo con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) hasta la forma ferrosa (Fe<sup>2+</sup>), teniendo un máximo de absorbancia a una longitud de onda entre 590-595 nm. Debido a que el potencial redox del Fe<sup>3+</sup>-TPTZ es comparable con el del ABTS se pueden analizar compuestos similares con ambos métodos, aunque las condiciones de la reacción sean distintas (Ou et al., 2002). El mecanismo del FRAP es de transferencia de electrones, a diferencia de otros métodos donde se produce captura de radicales libres, según esto, el FRAP puede ser útil, en combinación con otros métodos, en la determinación de la capacidad antioxidante de productos que contengan distintos tipos de antioxidantes (Ou et al., 2002).

### **7.7 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC.**

La cuantificación e identificación de diferentes compuestos fenólicos de los genotipos del frijol arrojaron resultados importantes. Con el método cromatográfico empleado fue posible detectar ácido gálico, ácido ferúlico y catequina en los tres genotipos, resultados que concuerdan con lo reportado por otros autores (López et al., 2013; Mojica et al., 2015), esto sugiere que estos constituyentes están presentes comúnmente en los genotipos del frijol del género *Phaseolus*. Por otro lado, se han reportado previamente los efectos biológicos que poseen estos compuestos en el organismo. Por ejemplo, el ácido ferúlico eleva las actividades de las enzimas desintoxicantes como la glutatión s-transferasa y se ha relacionado con una menor incidencia de carcinomas colónicos inducidos por azoximetano en estudios *in vivo* (Kawabata et al., 2000). Además, se ha demostrado que la catequina es capaz de reducir la absorción de colesterol en intestino de ratas e inhibe la oxidación del colesterol LDL inducida por la línea celular de macrófagos de ratón 1774 (Ikeda et al., 1992). Respecto al ácido gálico, se le ha

demostrado actividad antimutagénica y presenta acción protectora sobre el daño hepático inducido por tetracloruro de carbono (Leighton y Urquiaga, 2000).

Cabe mencionar que en el frijol común se han encontrado otros compuestos. Dentro del grupo de los flavanoles, se han reportado la presencia de epicatequina, epigallocatequina, y procianidina B1, B2 y B3 en las siguientes concentraciones: 0.14 mg/100 g, 0.05 mg/100 g, 1.22mg/100 g, 0.12 mg/100 g y 0.82 mg/100 g, respectivamente. Dentro del grupo de flavonoles se han reportado los compuestos Kaempferol 3-O-acetil-glucósido, Kaempferol 3-O-glucósido y Kaempferol 3-O-oxilosil-glucósido en las concentraciones de 16.40mg/100 g, 9.88mg/100 g y 11.50 mg/100 g, respectivamente. Por último, dentro del grupo de isoflavonoides se ha reportado la presencia de genisteína en una concentración de 0.20 mg/100 g (Phenol explorer, 2015). Si bien, en el presente estudio no se determinaron dichos compuestos debido a la falta de los estándares necesarios para su identificación, no se descarta que estos compuestos puedan estar presentes en las muestras analizadas.

Es importante mencionar que el método cromatográfico utilizado puede influir en la detección y cuantificación de compuestos polifenólicos, pudiendo observar diferencias en los tiempos de retención y en la concentración de estos constituyentes en las muestras analizadas en el presente estudio a diferencia de otros, puesto que la composición química de la fase estacionaria y la fase móvil, el gradiente de elución empleado, la velocidad del flujo de la fase móvil, la temperatura del equipo, etc., pueden dar lugar a una mejor resolución y altura de picos de absorción en los cromatogramas (Sierra-Alonso et al., 2009).

## VIII. CONCLUSIONES

- Se determinó la composición química del frijol tepari cultivado en Nuevo León, México con una composición similar a las variedades de frijol común y otras leguminosas.
- Se determinaron las propiedades tecnológicas de los genotipos de frijol, tras lo cual el frijol tepari presentó valores mayores de capacidad e índice de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y aceite, a diferencia de las variedades de frijol común.
- Se determinó el perfil de textura de semillas de frijol con y sin remojo, donde los parámetros de textura de las semillas con remojo disminuyeron significativamente.
- El contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil cromatográfico del frijol tepari difiere al el de las variedades de frijol común, sin embargo, es similar a las de otras leguminosas.

## **IX. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES**

- El frijol tepari presenta un alto porcentaje de proteína, el cual es considerado elevado para un alimento de origen vegetal. Esta propiedad hace del frijol tepari un alimento rico en proteínas de fácil adquisición y de bajo costo comparado con alimentos de origen cárnico, el cual podría utilizarse como un ingrediente funcional en la elaboración de productos alimenticios.
- Se puede decir que el frijol tepari puede ser un producto alimenticio con alta aceptación por parte del consumidor, ya que representa una alternativa de consumo de buena calidad al tener una alta absorción de agua, lo cual genera que la semilla se suavice considerablemente y pierda dureza (reflejado en el análisis de textura) en el proceso de remojo generando un tiempo de cocción relativamente corto, por consiguiente, una menor pérdida de nutrientes en el alimento final, destacando la importancia que tiene para el consumidor el someter el frijol a remojo previo a su cocción.
- El aporte de información sobre el perfil de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del frijol tepari es de gran importancia científica al no haber investigaciones previas relacionadas para esta especie. Así mismo, se abre la posibilidad de realizar futuras investigaciones sobre los componentes antioxidantes en el alimento completo, tanto de compuestos fenólicos extraíbles como de los asociados a fibra, con un posible incremento, tanto cuantitativo como cualitativo, de dichos constituyentes.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adebowale, K., y Lawal, O. (2004). Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) jack bean (*Canavalia ensiformis*) and Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. *Food Research International*, 37, 355-365
- Adebowale, Y. A., Adeyemi, I. A., Oshodi, A. A., y Niranjan, K. (2007). Isolation, fractionation and characterization of proteins from Mucuna bean. *Food Chem*, 104, 287-299.
- Ahmed, I. (1993). Isolation, characterization, functional properties and biological evaluation of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) proteins. Tesis de Doctorado. The University of Arizona, Arizona, EUA.
- Alfonso, C. (2000). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *ALAN*, 50, 3
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. (1980). Método oficial. 7.056. Determinación de lípidos. Official methods of analysis of AOAC International (16a ed). Estados Unidos de América: AOAC, International.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. (1990a). Método oficial. 14.003. Determinación de humedad. Official methods of analysis of AOAC International (15a ed). Estados Unidos de América: AOAC, International.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. (1990b). Método oficial. 14.006. Determinación de cenizas. Official methods of analysis of AOAC International (15a ed). Estados Unidos de América: AOAC, International.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. (2000). Método oficial. 952.03. Determinación de Polifenoles. Official methods of analysis of AOAC International (17a ed). Estados Unidos de América: AOAC, International.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. (2005). Método oficial. 968.06. Determinación de proteínas. Official methods of analysis of AOAC International (18a ed). Estados Unidos de América: AOAC, International

- Aparicio-Fernández, X., Yousef, G. G., Loarca-Piña, G., Mejía, E. y Lila, M. A. (2005). Characterization of polyphenolics in the seed coat of black Jamapa bean (L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5, 4615-4622
- Arranz-Martínez, S. (2010). Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: Metodología para su determinación e identificación. Tesis de Doctorado. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Augustin, J., Beck, C. B., Kalbfleish, G., Kagel, L. C. y Matthews, R. H. (2000). Variation in the vitamin and mineral content of raw and cooked commercial *Phaseolus vulgaris* classes. *J. Food Sci*, 46,1701–1706.
- Benzie, I. F. F., y Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76.
- Bermudez, O. I., y Tucker, K. L. (2003). Trends in dietary patterns of Latin American populations. *Cad Saude Publica*, 19, S87-99
- Betancur, D., Dávila, G., Chel-Guerrero, A. y Torruco, J. G. (2015). ACE-I inhibitory activity from *Phaseolus lunatus* and *Phaseolus vulgaris* peptide fractions obtained by ultrafiltration. *J. Med. Food*, 18, 1247-1254.
- Bhardwaj, H. L. (2013). Preliminary evaluation of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) as a forage crop. *Journal of Agricultural Science*, 5, 160-166
- Bhardwaj, H. L. y Hamama, A. A. (2004). Protein and mineral composition of tepary bean seed. *Hort Science*, 39, 1363-1365
- Bhardwaj, H. L. y Hamama, A. A. (2005). Oil and fatty acid composition of tepary bean seed. *Hort Science*, 40, 1436-1438
- Biblioteca electrónica de documentación científica sobre medidas nutricionales (eLENA). (2016). Aumentar el consumo de frutas y verduras para reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: [http://www.who.int/elena/titles/fruit\\_vegetables\\_ncds/es/](http://www.who.int/elena/titles/fruit_vegetables_ncds/es/)

- Bitocchi, E., Nanni, L., Belluci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G. y Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *PNAS*
- Bravo, L., Abia, R., y Saura-Calixto, F. (1994). Polyphenols as dietary fiber associated compounds. Comparative study on in vivo and in vitro properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1481-1487.
- Bressani, R. (2002). Factors influencing nutritive value in food grain legumes: *Mucuna* compared to other grain legumes. En: Food and feed from *Mucuna*: Current user and the way forward. Proceedings of an International Workshop. p: 164-188, Honduras.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzmán-Maldonado, S. H., Paredes-López, O. Oomah, B. D. y Loarca-Piña, G. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide germination of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74, T59-T65
- Campos-Vega., R., Loarca-Pina, G., and Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Res. Int*, 43, 461-582.
- Chandra, S. y Samsheer. (2013). Assessment of functional properties of different flours. *Academic Journals*, 8, 4849-4852
- Chen, Y., Yu, H., Wu, H., Pan, Y., Wang, K., Liu, y Zhang, C. (2015). Tracing novel hemostatic compounds from heating products of total flavonoids in Flos Sophorae by spectrum-effect relationships and column chromatography. *Journal of Separation Science*, 38, 1691-1699.
- Cheynier, V. (2012). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochem Rev*, 11, 153-177
- Chon, S. U. (2013). Total polyphenols and bioactivity of seeds and sprouts in several legumes. *Current Pharmaceutical Design*, 19, 6112-6124
- Choung, M. G., Choi, B. R., An, Y. N., Chu, Y. H. y Cho, Y. S. (2003). Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem*, 51, 7040-7043.

- Chung, K. T., Wong, T. Y., Wei, C. I., Huang, Y. W. y Lin, Y. (1998). Tannins and human health: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 38, 421-464.
- Clifford, M. N. (2000). Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric*, 80, 1063-1072.
- Costa, G. E. A., Queiroz-Monici, K. S., Reis, S. M. P. M., y Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chem*, 94, 327–330
- Debouck, D. G. (1999). Diversity in Phaseolus species in relation to the common bean. En: Singh, S. P. (Ed.). Common bean improvement in the Twenty-First Century. Springer. 420 p.
- De-Ron, A.M. y Santalla, M. (2013). *Phaseolus vulgaris* (Beans). *Brenner's Encyclopedia of Genetics*, 2, 290-292
- Doria, E, Campion, B., Sparvoli, F., Tava A. y Nielsen E. (2012). Anti-nutrient components and metabolites with health implications in seeds of 10 common bean (*Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus lunatus* L.) landraces cultivated in southern Italy. *J. Food Comp. Anal*, 26, 72-80.
- Duarte-Martino, H. S., Mara-Bigonha, S., Morais-Cardoso, L., Oliveira-Barbosa, C., Brunoro-Costa, N. M., Ramírez-Cárdenas, L. y Rocha-Ribeiro, S. M. (2012). Nutritional and Bioactive Compounds of Bean: Benefits to Human Health. En ACS Symposium Series. Hispanic Foods: Chemistry and bioactive compounds. American Chemical Society
- Dueñas, M., Martínez-Villaluenga, C., Limón, R. I., Peñas, E. y Frias, J. (2015). Effect of germination and elicitation on phenolic composition and bioactivity of kidney beans. *Food Research International*, 70, 55-63
- Elías, L. G., Fernández, D. G. y Bressani, R. (1979). Possible effects of seed coat polyphenolics on the nutritional quality of bean protein. *J. Food. Sci*, 44, 124
- Elías, L. G., García-Soto, A., y Bressani, R. (1986). Métodos para establecer la calidad tecnológica y nutricional del frijol. Guatemala, C.A.: Ins. De Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

- Elizalde, A. D., Porrilla, Y. P., Chaparro, D. C. (2009). Factores antinutrimientales en semillas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7, 45-54
- Espinosa-Alonso, 2006, L. G. (2006). Diversidad genética y caracterización nutricional y nutracéutica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Irapuato, Guanajuato.
- Fatuase, A. I. (2017). Climate change adaptation: a panacea for food security in Ondo State, Nigeria. *Teor Appl Climatol*, 129, 939-947
- Food and Agricultural Organization (FAO). (2014). Anuario estadístico de la FAO 2014. La alimentación y la agricultura en América Latina y el Caribe. FAO, Santiago
- FAO, Oficial Regional para América Latina y el Caribe. (2008). Recuperado de <http://www.rlc.fao.org>
- FDA. Food & Drug Administration/ Food/ Food Safety. (2007). Recuperado de <http://fda.gov/food.default.htm>
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2016). Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/.../Panorama\\_Agroalimentario\\_Frijol\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/.../Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf)
- Flores, E. J. (2004.) Breve historia de la comida mexicana. De bolsillo. México.
- Fraile, M. E., García-Suárez, M. D., Martínez-Bernal, A. y Slomianski, R. (2007). Nutritivas y apetecibles: conozca de leguminosas comestibles. Parte I. Hojas, vainas y semillas. *ContactoS*, 66, 27-35
- Freytag, F. G. y Debouck, D. G. (2002). Taxonomy, Distribution and Ecology of the Genus *Phaseolus* (*Leguminosae-Papilionoideae*) in North America, México and Central America. Botanical Research Institute of Texas. U.S.A.
- Gan, R. Y., Deng, Z. Q., Yan, A. X., Shah, N. P., Lui, W. Y., Chan, C. L. y Corke, H. (2016). Pigmented edible bean coats as natural sources of polyphenols with antioxidant and antibacterial effects. *LWT-Food Science and Technology*, 73, 168 – 177

- Garvin, D. F. y Weeden, N. F. (1994). Isozyme evidence supporting a single geographic origin for domesticated tepary bean. *Crop Sci*, 34, 1390-1395.
- Gepts, P. T., Osborn, C., Rashka, K. y Bliss, F. A. (1986). Phaseolin protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple center of domestication. *Econ. Bot*, 40, 451-468.
- González-de-Mejía, E. P., Grajeda-Cota, Celada, E. y Valencia, M. E. (1988). Caracterización del potencial nutricional del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) cultivado en México. *Arch. Latinoam. Nutr*, 38, 907-924
- González, R., Llano, J., Medina, L. A. y Castellanos, A. E. (1992). Chemical composition in seeds of *Phaseolus vulgaris*, *Ph. acutifolius* and *Vigna unguiculata* grown under water stress conditions. Bean Improvement Cooperative. *Annual Report (USA)*, 35, 169-170.
- Granito, M., Palolini, M., y Perez, S. (2008). Polyphenols and antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. *LWT*, 41, 994-999.
- Grela, E. R., y Gunter, K. D. (1995). Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Animal Feed Sci Technol*, 52, 325-331
- Guzmán-Rodríguez, J. J., Ochoa-Zarzosa, A., López-Gómez, R. y López-Meza, J. E. (2015). Plant antimicrobial peptides as potential anticancer agents. *BioMed. Res. Int*, 2015, 735087.
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A. y Bashir, S. (2014). Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 580-592.
- Hleap, J. I. y Velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 8, 46-56
- Hodge, J. C. y Osman, E. M. (1976). Carbohydrates. In *Principles of Food Science, Part I, Food Chemistry*; Fennema, R.O., Eds.; Marcel Dekker Inc.: New York; 97-200.

- Hollman, P. C. (2000). Flavonols, flavones and flavanols – Nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric*, 80, 1081-1093.
- Ikeda, I., Imasato, Y., Sasaki, E., Nakayama, M., Nagao, H., Takeo, T., Yayabe, F. y Sugano, M. (1992). Tea catequins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. *Biochim Biophys Acta*, 1127, 141-6
- Imeh, U. y Khokhar, S. (2002). Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *J. Agric. Food Chem*, 50, 6301- 6306
- Jacinto, H., Acosta, J. A. y Ortega, A. (1993). Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agric Tec Mex*, 19, 167-179.
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Mitchell, S., Sahye-Pudaruth, S., Mejia, S. B., et al. (2012). Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 *diabetes mellitus*: a randomized controlled trial effect of legumes on glycemic control. *Arch. Intern. Med*, 172, 1653–1660.
- Jiménez-Escrig, A., Jiménez-Jiménez, I., Pulido, R., y Saura-Calixto, F. (2001). Antioxidant activity of fresh and processed edible seaweeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 530–534.
- Jiménez-Galindo, J. C. y Acosta-Gallegos, J. A. (2012). Caracterización de genotipos criollos de frijol Tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) y común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 1565-1577
- Julianti, E., Rusmarilin, H., y Yusraini, E. (2015). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean, and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 30, 1-7.
- Kabbara, S. A. R., Abbas, I. R., Scheerens, J. C., Tinsley, A. M., y Berry, J. W. (1987). Soaking and cooking parameters of tepary beans: effects of cooking time and cooking temperature on hardness and activity of nutritional antagonist, *Plant Foods Hum. Nutr.*, 36, 295
- Kadam, S. S., y Salunkhe, D. K. (1989). Minerals and vitamins. In D. K. Salunkhe (Ed.), *Handbook of world food legumes*, Boca Raton: CRC Press.

- Kan, L., Nie, S., Hu, J., Liu, Z., y Xie, M. (2016). Antioxidant activities and anthocyanins composition of seed coats from twenty-six kidney bean cultivars. *Journal of Functional Foods*, 26, 622–631.
- Kaur, M., y Singh, N. (2006). Relationships between selected properties of seeds, flours, and starches from different chickpea cultivars. *International Journal of food properties*, 9, 597-608.
- Kawabata, K., Yamamoto, T., Hara, A., Shimizu, M., Yamada, Y., Matsunaga, K., Tanaka, T., Kayahara, H., Miao, Z. y Fujiwara, G. (2000). Synthesis and biological activities of ferulic acid and derivatives. *Anticancer Res*, 19, 3763-3768.
- Khang, D. T., Dung, T. N., Elzaawely, A. A., y Xuan, T. D. (2016). Phenolic Profiles and Antioxidant Activity of Germinated Legumes. *Foods*, 5, 27.
- Kim, D. O, Lee, K. W., Lee, H. J. y Lee, C. Y. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolics phytochemicals. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 3713-3717.
- Kusolwa, P. M. y Myers, J. R. (2012). Peptide sequences from seed storage proteins of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) accession G40199 demonstrate the presence of multiple variants of APA proteins. *Int. J. Biochem. Bioetchnol*, 1, 012-018.
- Leighton, F. y Urquiaga, I. (2000). Los componentes del vino y sus efectos beneficiosos para la salud humana. In *VII Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología*. Mendoza, Argentina.
- Lim, T. K. (2012). Edible Medicinal y Non-Medicinal Plants. *Fruits*, 2, 1100.
- Lin, L. Z., Harnly, J. M., Pastor-Corrales, M. S., y Luthria, D. L. (2008). The polyphenolic profiles of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.*, 107, 399-410.
- López, S. J. L.; Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. J. y Lépiz, I. R. (2005). Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus spp.*) en la república mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.*, 28, 221-229.

- López-Contreras, J. J., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. y Niño-Medina, G. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of sorghum bicolor genotypes. *Not Bot Horti Agrobo*, 43, 366-370
- López, A., et al. (2013). Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of fava beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 138, 547-555
- Mabaleha, M. B., y Yeboah, S. O. (2004). Characterization and compositional studies of the oils from some legume cultivars, *Phaseolus vulgaris*, grown in Southern Africa. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 81, 361–364.
- Manach, C., y Donovan, J. L. (2004). Pharmacokinetics and metabolism of dietary flavonoids in humans. *Free radical research*, 38, 771-785.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remésy, C. y Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.*, 79, 727-747.
- Marchand, L. L. (2002). Cancer preventive effects of flavonoids: a review. *Biomed. Pharmacother.*, 56, 296-301.
- McCleary, B. V. y Monaghan, D. A. (2002). Measurement of resistant starch. *J. AOAC International*, 85, 665-675
- Mederos, Y. (2006). Revisión bibliográfica. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos tropicales*, 27, 55 – 62
- Mogotsi, K. K., (2006). *Phaseolus acutifolius* A. Gray. [Internet] Record from PROTA4U. Brink, M. y Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands. Recuperado de: <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Acceso 2 May 2017.
- Mojica, L., Meyer, A., Berhow, M. A. y González-de-Mejía, E. (2015). Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, in vitro inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Research International*, 69, 38-48

- Mora, M. (1980), Efecto de la humedad y temperatura sobre el endurecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) almacenado durante seis meses. *Agronom. Costarr*, 4, 195-197.
- Mudryj, A. N., Yu, N. y Aukema, M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 39, 1197-1204.
- Muñoz, L. C., Duque, M. C., Debouck, D. G. y Blair, M. (2006). Taxonomy of tepary bean and wild relatives as determined by amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Crop Sci.* 46, 1744-1754.
- Nabhan, G. P. y Felger, R. S. (1978). Teparies in southwestern North America. A biogeographical and ethnohistorical study of *Phaseolus acutifolius*. *Economic Botany*, 32, 2-19.
- Nyau, V. (2014). Nutraceutical perspectives and utilization of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. *AJFAND*, 14, 9483-9496.
- Oliveira, A. de, Patto, C. y Duarte, A. (2002). Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do Feijoo (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Ciênc. Agrotec., Lavras*, 26, 545-549.
- Oliva-Puebla, E. (2015). Caracterización fitoquímica de la fracción hipoglucemiante aislada del extracto acuoso de la vaina del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- Ombra, M. N., d' Acierno, A., Nazzaro, F., Riccardi, R., Spigno, P., Zaccardelli, M., ... Fratianni, F. (2016). Phenolic Composition and Antioxidant and Antiproliferative Activities of the Extracts of Twelve Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Endemic Ecotypes of Southern Italy before and after Cooking. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1, 398298.
- Ou, B., Huagn, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A. y Deemer, E. K. (2002). Analysis of antioxidant in common vegetable employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferri reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J.Agric.Food.Chem*, 50, 3122-3128

- Ovando-Martinez, M., Luis, A., Bello-Perez, L. A., Whitney, K., Osorio-Diaz, P., Senay Simsek, S. (2011). Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. *Carboh. Polym*, 85, 54–64
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F. y Bello-Pérez, L. A. (2006). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas, Fondo de Cultura Económica, México.
- Parr, A. J. y Bolwell, G. P. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenol content of profile. *J. Agric. Food Chem.*, 80, 985-1012.
- Peña, C. et al. (1999). Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia*, 24, 8-13.
- Pérez, P. et al. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Arch Latinoamer Nutr*, 52, 2.
- Phenol explorer. (2015). Phenol Explorer Database on polyphenols content un foods. USA. Recuperado de <http://phenol-explorer.eu/contents/food/585>
- Piecyk, M., Wołosiak, R., Druzynska, B. y Worobiej, E. (2012). Chemical composition and starch digestibility in flours from Polish processed legume seeds. *Food Chemistry*, 135, 1057-1064.
- Pietta, P. (2000). Flavonoids and antioxidats. *J. Nat. Prod.*, 63, 1035-1042.
- Porch, T. G., Cichy, K., Wang, W., Brick, M., Beaver, J. S., Santana-Morant, D. y Grusak, M. A. (2016). Nutritional composition and cooking characteristics of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray) in comparison with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Genet Resour Crop Evol.*, 64, 935-953
- Puentes, J. P. y Hurrell, J. A. (2015). Plantas andinas y sus productos comercializados con fines medicinales y alimentarios en el Área Metropolitana Buenos Aires- La Plata, Argentina. *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromat.*, 14, 206-236.

- Ramírez- Jiménez, A. K., Reynoso-Camacho, R., Mendoza-Díaz, S., y Loarca-Piña, G. (2014). Functional and technological potential of dehydrated *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 161, 254-260.
- Reyes-Moreno, C. y Paredes-López, O. (1993). Hard-to-cook phenomenon in common beans-a review. *Crit. Rev. Food Sci.Nutr.*, 33, 227-286.
- Reyes-Rivas, E., Padilla-Bernal, L. E., Pérez-Reyna, O. y López-Jaquéz, P. (2008). Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. *Investigación Científica*. 4, 1-21
- Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gomez, M., y Loarca-Pina, G. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Advances Agric. Food Biotechnol.*, 1, 217-236.
- Rocha-Guzmán, N. E., et al. (2013). Evaluation of culinary quality and antioxidant capacity for Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in pilot plant. *International Food Research Journal*, 20, 1087-1093.
- Rodríguez, R., Jimenez, A., Fernandez-Bolanos, J., Guillen, R., y Heredia, A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as a source of functional ingredients. Trends in *Food Sci. Technol.*, 17, 3–15.
- Rodríguez-Rivera, V. B. y Simón-Magro, E. (2008). Bases de la alimentación humana. España. Netbiblo.
- Romani, A., Vignolini, P., Galardi, C., Nulinacci, N., Benedettelli, S. y Heimler, D. (2004). Germplasm characterization of Zolfino landraces (*Phaseolus vulgaris* L.) by flavonoid content. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 3838-42.
- Rui-Hai, L. (2004). Health benefits on fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am.J. Clin. Nutr.*, Suplemento 78, 517S- 20S.
- Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E. y Pérez-Herrera, P. (2005). Anthocyanin composition in black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in México. *Agrociencia*, 39, 385-394.

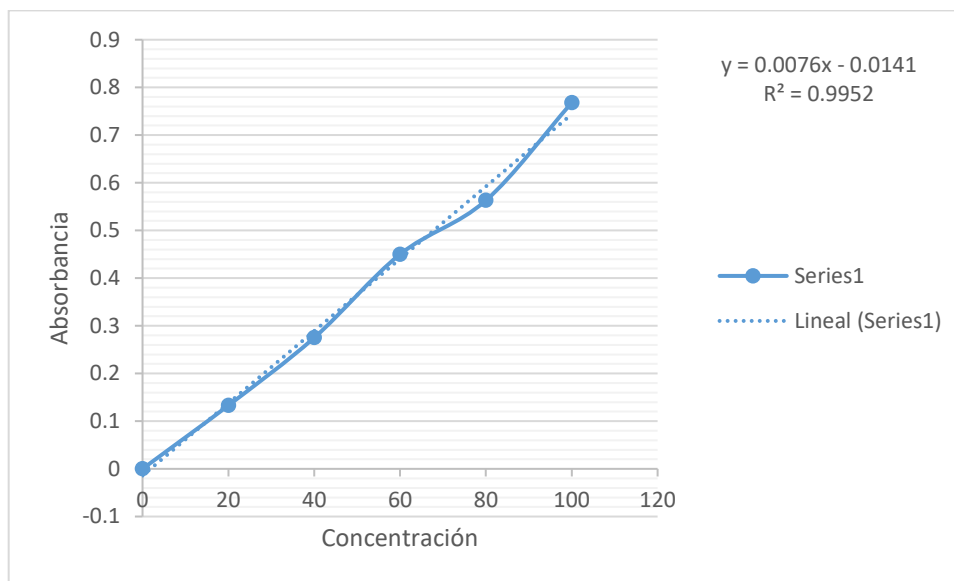
- Schieber, A., Keller, P. y Carle, R. (2001). Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 910, 265-273.
- Shahidi, F. (2000). Antioxidants in food and food antioxidants. *Nahrung.*, 44, 158-163.
- Siddiq, M., Ravi, R., y Dolan, K. D. (2010). Physical and Functional Characteristics of Selected Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L. flour. *LWT-Food Sci Technol.*, 43, 232-237.
- Sierra-Alonso, I., Gómez-Ruiz, S., Pérez-Quinilla, D. y Morante-Zarcelero, S. (2009). Análisis Instrumental. Netbiblo, España.
- Silva-Cristóbal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J. y Bello-Pérez, L. A. (2010) Chemical Composition, Carbohydrate Digestibility, Antioxidant Capacity of Cooked Black Bean, Chickpea, and Lentil Mexican Varieties. Composición química, digestibilidad de carbohidratos, y capacidad antioxidante de variedades mexicanas cocidas de frijol negro, garbanzo y lenteja. *CyTA Journal of Food*, 8, 7-14.
- Slupski, J. (2010). Effect of cooking and sterilization on the composition of amino acids on immature seeds of flageolet beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Chem.*, 121, 1171-1176.
- Tanaka, T. Kojima, T., Kawamori, T., Yoshimi, N. y Mori, H. (1994). Chemoprevention of diethylnitrosamine- induced hepatocarcinogenesis by a simple phenolic protocatechuic acid in rats. *Cancer Res.*, 53, 2775-2779.
- Valenzuela-Quintanar, A. I. (1988). Caracterización química y biológica de los fenoles condensados en el frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*). Tesis de Maestría. Universidad de Sonora, Sonora.
- Vasconcelos, M. A. y Gomes, A. M. (2016). The legume grains: When tradition goes hand in hand with nutrition. En K. Kristbergsson, J. Oliveira. *Traditional Foods, Integrating Food Science and Engineering Knowledge Into the Food Chain*. New York: Springer Science
- Voysest, V. O. (2000) Mejoramiento genético del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.), Centro Americano de Agricultura Tropical, Cali, Colombia

- Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A., y Gill, B. S. (2015). Physical and cooking characteristics of some Indian kidney bean *Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 30, 1-9.
- Xu, B. J., y Chang. (2009). Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4754-4764.
- Zhang, Z., Lanza, A., Ross, A. C., Albert, P. S., Colburn, N. H., Rovine, M. J., Bagshaw, D., Ulbrecht, J. S. y Hartman, T. J. (2011). A high-legume low-glycemic index diet reduces fasting plasma leptin in middle-aged insulin-resistan and sentive men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 65, 415-418.

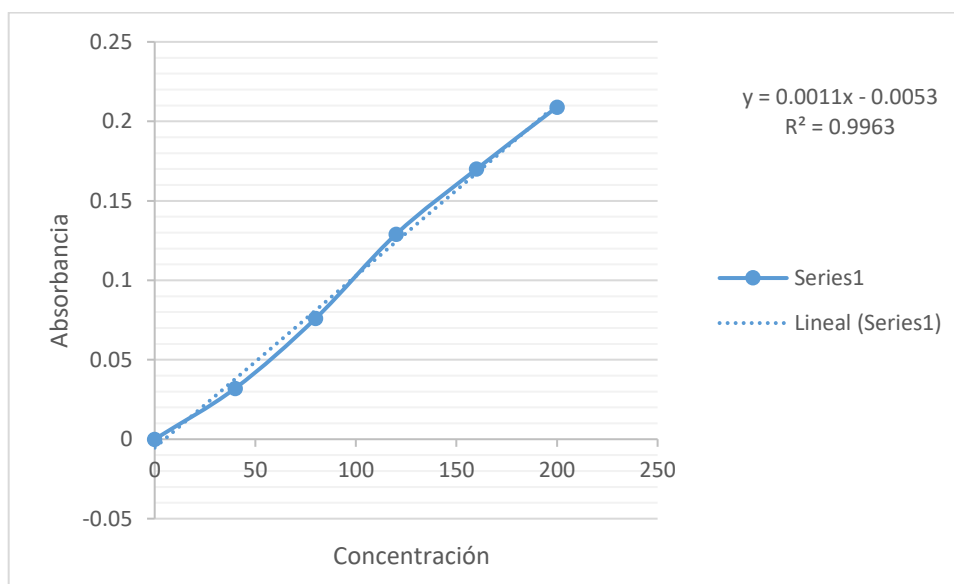
## XI. ANEXOS

### 11.1 Curvas de calibración.

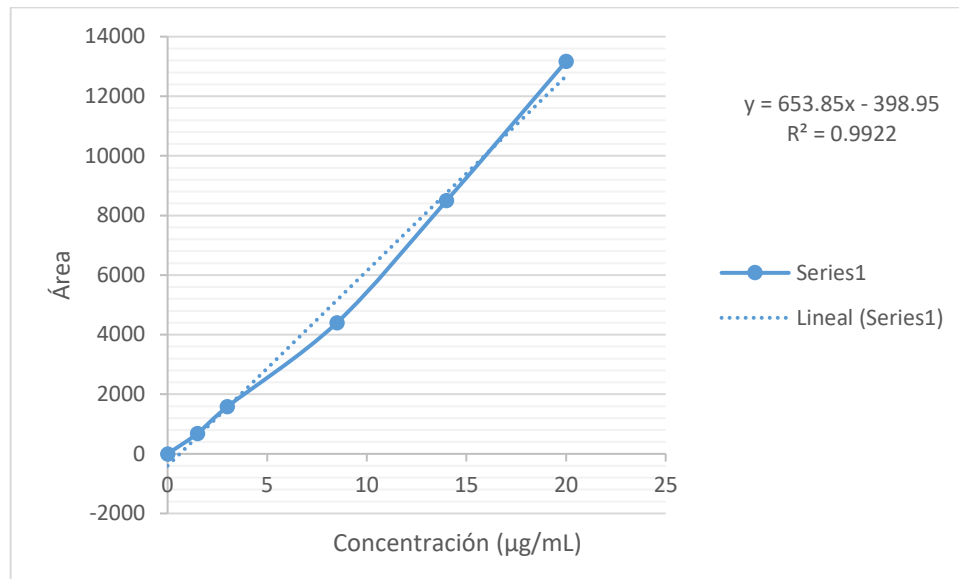
11.1.1 Curva de calibración de ácido gálico para determinación de fenoles totales.



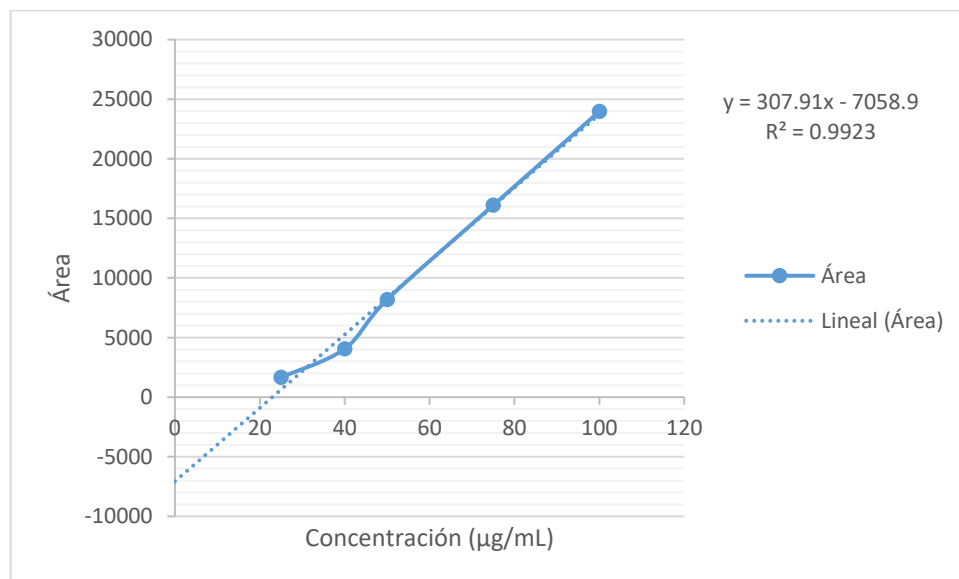
11.1.2 Curva de calibración de catequina para determinación de flavonoides totales y taninos condensados.



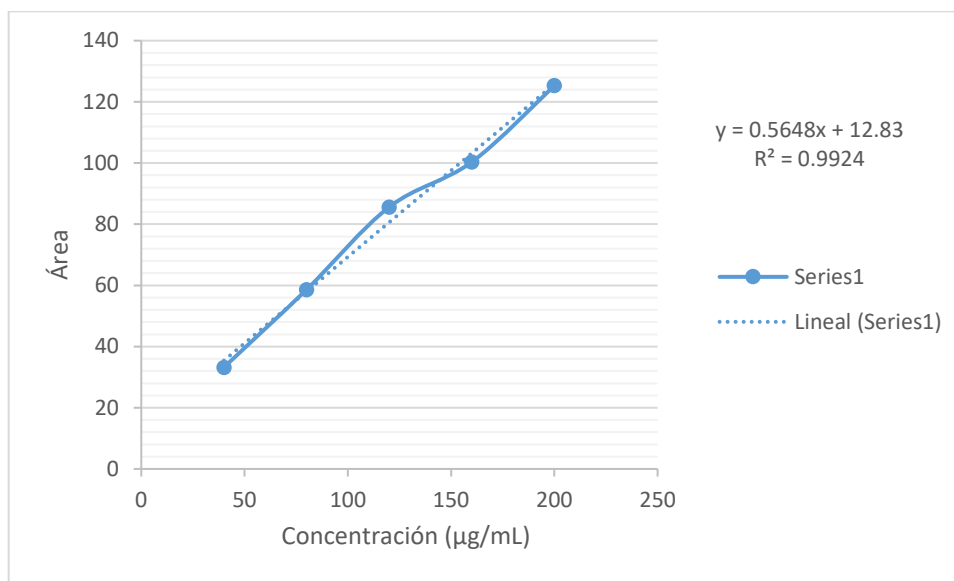
### 11.1.3 Curva de calibración de ácido gálico en HPLC.



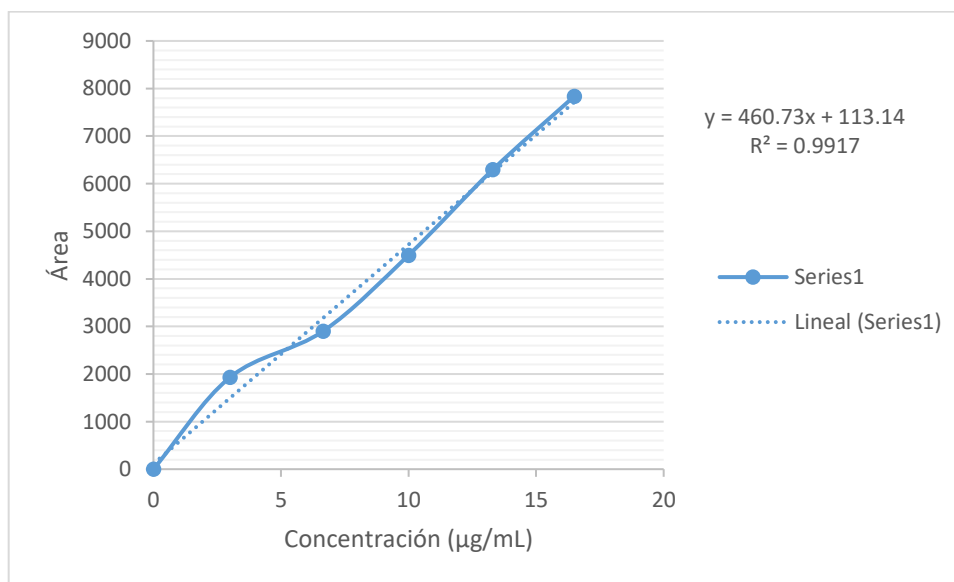
### 11.1.4 Curva de calibración de ácido sinápico en HPLC.



### 13.1.5 Curva de calibración de catequina en HPLC.



### 13.1.6 Curva de calibración de ácido ferúlico en HPLC.



## 11.2 Pruebas de normalidad

### 11.2.1 Pruebas de normalidad para valores del análisis bromatológico (p-valor > 0.05).

<b>Pruebas de normalidad</b>				
Frijol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Humedad del frijol	Tepari	.941	3	<b>.533</b>
	Pinto	1.000	3	<b>1.000</b>
	Jamapa	.966	3	<b>.646</b>
Cenizas	Tepari	.974	3	<b>.690</b>
	Pinto	1.000	3	<b>1.000</b>
	Jamapa	.998	3	<b>.924</b>
Proteína Bruta	Tepari	.776	3	<b>.058</b>
	Pinto	.971	3	<b>.675</b>
	Jamapa	.829	3	<b>.186</b>
Lípidos	Tepari	.974	3	<b>.689</b>
	Pinto	.987	3	<b>.784</b>
	Jamapa	.925	3	<b>.469</b>
Hidratos de carbono totales	Tepari	.964	3	<b>.636</b>
	Pinto	.784	3	<b>.076</b>
	Jamapa	.997	3	<b>.897</b>
Fibra dietética	Tepari	1.000	3	<b>1.000</b>
	Pinto	.991	3	<b>.819</b>
	Jamapa	.944	3	<b>.544</b>
Fibra insoluble	Tepari	1.000	3	<b>1.000</b>
	Pinto	.955	3	<b>.591</b>
	Jamapa	.778	3	<b>.064</b>
Fibra soluble	Tepari	1.000	3	<b>1.000</b>
	Pinto	.995	3	<b>.859</b>
	Jamapa	.785	3	<b>.079</b>

11.2.2 Pruebas de normalidad para valores de propiedades tecnológicas (p-valor > 0.05).

<b>Pruebas de normalidad</b>				
Frijol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Tiempos de cocción	Tepari	.889	3	<b>.049</b>
	Pinto	.797	3	<b>.009</b>
	Jamapa	.781	3	<b>.006</b>
Capacidad de hidratación	Tepari	.949	3	<b>.567</b>
	Pinto	.916	3	<b>.439</b>
	Jamapa	.750	3	<b>.056</b>
Capacidad de hinchamiento	Tepari	.923	3	<b>.463</b>
	Pinto	.992	3	<b>.826</b>
	Jamapa	.750	3	<b>.051</b>
Índice de hidratación	Tepari	.955	3	<b>.593</b>
	Pinto	.902	3	<b>.391</b>
	Jamapa	.797	3	<b>.107</b>
Índice de hinchamiento	Tepari	.927	3	<b>.476</b>
	Pinto	.993	3	<b>.835</b>
	Jamapa	.760	3	<b>.053</b>
WAC	Tepari	.959	3	<b>.609</b>
	Pinto	.867	3	<b>.288</b>
	Jamapa	.827	3	<b>.179</b>
OAC	Tepari	.770	3	<b>.055</b>
	Pinto	.944	3	<b>.543</b>
	Jamapa	.999	3	<b>.948</b>
AR	Tepari	.981	3	<b>.738</b>
	Pinto	.920	3	<b>.452</b>
	Jamapa	.906	3	<b>.406</b>
ANR	Tepari	.944	3	<b>.544</b>
	Pinto	.990	3	<b>.806</b>
	Jamapa	.813	3	<b>.147</b>

11.2.3 Pruebas de normalidad para valores de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante (p-valor > 0.05).

<b>Pruebas de normalidad</b>				
Frijol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Fenoles totales	Tepari	.923	3	<b>.463</b>
	Pinto	.893	3	<b>.363</b>
	Jamapa	.952	3	<b>.578</b>
Flavonoides totales	Tepari	.893	3	<b>.363</b>
	Pinto	.864	3	<b>.278</b>
	Jamapa	.791	3	<b>.093</b>
Taninos condensados	Tepari	.867	3	<b>.288</b>
	Pinto	.871	3	<b>.298</b>
	Jamapa	.883	3	<b>.332</b>
DPPH	Tepari	.942	3	<b>.537</b>
	Pinto	.980	3	<b>.726</b>
	Jamapa	.750	3	<b>.053</b>
ABTS	Tepari	.912	3	<b>.424</b>
	Pinto	.845	3	<b>.227</b>
	Jamapa	.871	3	<b>.298</b>
FRAP	Tepari	.843	3	<b>.223</b>
	Pinto	.931	3	<b>.493</b>
	Jamapa	.871	3	<b>.298</b>

11.2.4 Pruebas de normalidad para valores de compuestos fenólicos por HPLC (p-valor > 0.05).

<b>Pruebas de normalidad</b>				
Frijol		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Ácido ferúlico	tepari	.855	3	<b>.253</b>
	pinto	.940	3	<b>.527</b>
	jamapa	.921	3	<b>.457</b>
Catequina	tepari	.810	3	<b>.138</b>
	pinto	.950	3	<b>.570</b>
	jamapa	.975	3	<b>.697</b>
Ácido gálico	tepari	.939	3	<b>.522</b>
	pinto	.796	3	<b>.104</b>
	jamapa	.817	3	<b>.155</b>

### 11.3 Análisis de varianza de un factor.

#### 11.3.1 Análisis de varianza de un factor de la composición bromatológica (p-valor < 0.05).

<b>ANOVA</b>						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad del frijol	Entre grupos	39.587	2	19.794	713.824	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.166	6	.028		
	Total	39.754	8			
Cenizas	Entre grupos	1.312	2	.656	19.752	<b>.002</b>
	Dentro de grupos	.199	6	.033		
	Total	1.511	8			
Proteína Bruta	Entre grupos	36.975	2	18.487	241.699	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.459	6	.076		
	Total	37.433	8			
Lípidos	Entre grupos	4.429	2	2.215	3.616	<b>.093</b>
	Dentro de grupos	3.675	6	.612		
	Total	8.104	8			
Hidratos de carbono totales	Entre grupos	182.323	2	91.161	36.069	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	15.164	6	2.527		
	Total	197.487	8			
Fiebra dietética	Entre grupos	24.188	2	12.094	7.002	<b>.027</b>
	Dentro de grupos	10.363	6	1.727		
	Total	34.550	8			

11.3.2 Análisis de varianza de un factor de las propiedades tecnológicas (p-valor < 0.05).

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Capacidad de hidratación	Entre grupos	.107	2	.054	987.830	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.000	6	.000		
	Total	.108	8			
Capacidad de hinchamiento	Entre grupos	.437	2	.219	227.081	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.006	6	.001		
	Total	.443	8			
Índice de hidratación	Entre grupos	.387	2	.194	323.713	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.004	6	.001		
	Total	.391	8			
Índice de hinchamiento	Entre grupos	13.091	2	6.546	508.252	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.077	6	.013		
	Total	13.169	8			
WAC	Entre grupos	.665	2	.333	52.964	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.038	6	.006		
	Total	.703	8			
OAC	Entre grupos	.130	2	.065	13.338	<b>.006</b>
	Dentro de grupos	.029	6	.005		
	Total	.159	8			
AR	Entre grupos	.037	2	.018	143.435	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.001	6	.000		
	Total	.038	8			
ANR	Entre grupos	2.635	2	1.318	12.775	<b>.007</b>
	Dentro de grupos	.619	6	.103		
	Total	3.254	8			

11.3.3 Análisis de varianza de un factor de los compuestos fenólicos totales (p-valor < 0.05).

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Fenoles totales	Entre grupos	.012	2	.006	49.400	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	.001	6	.000		
	Total	.012	8			
Flavonoides totales	Entre grupos	.018	2	.009	20.849	<b>.002</b>
	Dentro de grupos	.003	6	.000		
	Total	.020	8			
Taninos condensados	Entre grupos	.094	2	.047	24.338	<b>.001</b>
	Dentro de grupos	.012	6	.002		
	Total	.105	8			

11.3.4 Análisis de varianza de un factor de la capacidad antioxidante (p-valor < 0.05).

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
ABTS	Entre grupos	6775592.678	2	3387796.339	455.648	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	44610.723	6	7435.121		
	Total	6820203.402	8			
DPPH	Entre grupos	606791.915	2	303395.958	8158.041	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	223.139	6	37.190		
	Total	607015.054	8			
FRAP	Entre grupos	2864730.341	2	1432365.171	84.116	<b>.000</b>
	Dentro de grupos	102170.939	6	17028.490		
	Total	2966901.280	8			

11.3.5 Análisis de varianza de un factor para el contenido de ácido ferúlico analizado por HPLC (p-valor < 0.05).

ANOVA						
Ácido ferúlico						
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F		Sig.
Entre grupos	19970.786	2	9985.393	121.201	<b>.000</b>	
Dentro de grupos	494.320	6	82.387			
Total	20465.106	8				

11.3.6 Análisis de varianza de un factor para el contenido de catequina analizada por HPLC (p-valor < 0.05).

ANOVA					
Catequina					
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4964276.006	2	2482138.003	2.321	<b>.179</b>
Dentro de grupos	6415355.856	6	1069225.976		
Total	11379631.860	8			

11.3.7 Análisis de varianza de un factor para el contenido de ácido gálico analizado por HPLC (p-valor < 0.05).

ANOVA					
Ácido gálico					
	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24.147	2	12.074	288.242	<b>.000</b>
Dentro de grupos	.251	6	.042		
Total	24.398	8			

11.4 Pruebas *post hoc* de Tukey para determinar diferencias entre las medias.

11.4.1 Prueba *post hoc* de Tukey para composición bromatológica (p-valor < 0.05).

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Humedad	Tepari	Pinto	2.500367*	.135963	.000	2.08319	2.91754
		Jamapa	-2.636300*	.135963	.000	-3.05347	-2.21913
	Pinto	Jamapa	-5.136667*	.135963	.000	-5.55384	-4.71949
Cenizas	Tepari	Pinto	-.765000*	.148802	.005	-1.22157	-.30843
		Jamapa	.083433	.148802	.845	-.37313	.54000
	Pinto	Jamapa	.848433*	.148802	.003	.39187	1.30500
Proteína Bruta	Tepari	Pinto	1.376333*	.225815	.002	.68347	2.06920
		Jamapa	-3.443000*	.225815	.000	-4.13586	-2.75014
	Pinto	Jamapa	-4.819333*	.225815	.000	-5.51220	-4.12647
Lípidos	Tepari	Pinto	.820397	.638988	.453	-1.14019	2.78099
		Jamapa	-.897400	.638988	.397	-2.85799	1.06319
	Pinto	Jamapa	-1.717797	.638988	.080	-3.67839	.24279
Hidratos de carbono totales	Tepari	Pinto	3.308333	1.298046	.096	-.67443	7.29109
		Jamapa	10.762000*	1.298046	.000	6.77924	14.74476
	Pinto	Jamapa	7.453667*	1.298046	.003	3.47091	11.43643
Fiebra dietética	Tepari	Pinto	-2.867333	1.073039	.082	-6.15971	.42505
		Jamapa	-3.868333*	1.073039	.026	-7.16071	-.57595
	Pinto	Jamapa	-1.001000	1.073039	.641	-4.29338	2.29138

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

11.4.2 Prueba *post hoc* de Tukey para propiedades tecnológicas ( $p$ -valor < 0.05).

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Capacidad de hidratación	Tepari	Pinto	-.265667*	.006018	.000	-.28413	-.24720
		Jamapa	-.105667*	.006018	.000	-.12413	-.08720
	Pinto	Jamapa	.160000*	.006018	.000	.14153	.17847
Capacidad de hinchamiento	Tepari	Pinto	.516000*	.025330	.000	.43828	.59372
		Jamapa	.395333*	.025330	.000	.31761	.47305
	Pinto	Jamapa	-.120667*	.025330	.007	-.19839	-.04295
Índice de hidratación	Tepari	Pinto	-.434333*	.019965	.000	-.49559	-.37308
		Jamapa	-.445333*	.019965	.000	-.50659	-.38408
	Pinto	Jamapa	-.011000	.019965	.850	-.07226	.05026
Índice de hinchamiento	Tepari	Pinto	2.952000*	.092660	.000	2.66769	3.23631
		Jamapa	1.575667*	.092660	.000	1.29136	1.85997
	Pinto	Jamapa	-1.376333*	.092660	.000	-1.66064	-1.09203
WAC	Tepari	Pinto	.648067*	.064708	.000	.44953	.84661
		Jamapa	.456900*	.064708	.001	.25836	.65544
	Pinto	Jamapa	-.191167	.064708	.058	-.38971	.00737
OAC	Tepari	Pinto	.224900*	.057024	.018	.04993	.39987
		Jamapa	.277133*	.057024	.007	.10217	.45210
	Pinto	Jamapa	.052233	.057024	.651	-.12273	.22720
AR	Tepari	Pinto	-.081166*	.009259	.000	-.10958	-.05276
		Jamapa	-.156789*	.009259	.000	-.18520	-.12838
	Pinto	Jamapa	-.075622*	.009259	.000	-.10403	-.04721
ANR	Tepari	Pinto	1.054319*	.262218	.016	.24976	1.85888
		Jamapa	-.168457	.262218	.803	-.97301	.63610
	Pinto	Jamapa	-1.222776*	.262218	.008	-2.02733	-.41822

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

11.4.3 Prueba *post hoc* de Tukey para compuestos fenólicos totales (p-valor < 0.05).

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Fenoles totales	Tepari	Pinto	-.019667	.008840	<b>.015</b>	-.04679	.00746
		Jamapa	-.084000*	.008840	<b>.000</b>	-.11112	-.05688
	Pinto	Jamapa	-.064333*	.008840	<b>.001</b>	-.09146	-.03721
Flavonoides totales	Tepari	Pinto	-.064333*	.016731	<b>.020</b>	-.11567	-.01300
		Jamapa	-.107333*	.016731	<b>.002</b>	-.15867	-.05600
	Pinto	Jamapa	-.043000	.016731	<b>.093</b>	-.09434	.00834
Taninos condensados	Tepari	Pinto	-.107000	.035857	<b>.049</b>	-.21702	.00302
		Jamapa	-.249333*	.035857	<b>.001</b>	-.35935	-.13932
	Pinto	Jamapa	-.142333*	.035857	<b>.017</b>	-.25235	-.03232

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

11.4.4 Prueba *post hoc* de Tukey para capacidad antioxidante (p-valor < 0.05).

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
ABTS	Tepari	Pinto	-249.231000*	70.404169	<b>.028</b>	-465.25032	-33.21168
		Jamapa	1952.513000*	70.404169	<b>.000</b>	-2168.53232	-1736.49368
	Pinto	Jamapa	1703.282000*	70.404169	<b>.000</b>	-1919.30132	-1487.26268
DPPH	Tepari	Pinto	-67.381000*	4.979278	<b>.000</b>	-82.65879	-52.10321
		Jamapa	-581.404667*	4.979278	<b>.000</b>	-596.68246	-566.12688
	Pinto	Jamapa	-514.023667*	4.979278	<b>.000</b>	-529.30146	-498.74588
FRAP	Tepari	Pinto	-871.091000*	106.547297	<b>.000</b>	-1198.00737	-544.17463
		Jamapa	1364.666333*	106.547297	<b>.000</b>	-1691.58270	-1037.74997
	Pinto	Jamapa	-493.575333*	106.547297	<b>.009</b>	-820.49170	-166.65897

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

11.4.5 Prueba *post hoc* de Tukey para cantidad de compuestos fenólicos por HPLC (p-valor < 0.05).

Comparaciones múltiples						
HSD Tukey		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	superior
<b>Ácido gálico</b>						
Tepari	Pinto	1.53133*	.16711	.000	1.0186	2.0441
	Jamapa	-2.44600*	.16711	.000	-2.9587	-1.9333
Pinto	Jamapa	-3.97733*	.16711	.000	-4.4901	-3.4646
HSD Tukey						
<b>Ácido ferúlico</b>						
Tepari	Pinto	-69.0373333*	7.4111062	.000	-91.776642	-46.298024
	Jamapa	114.5860000*	7.4111062	.000	-137.325309	-91.846691
Pinto	Jamapa	-45.5486667*	7.4111062	.002	-68.287976	-22.809358
HSD Tukey						
<b>Catequina</b>						
Tepari	Pinto	-1548.32333	666.51290	.128	-3593.3679	496.7213
	Jamapa	187.36900	666.51290	.958	-1857.6756	2232.4136
Pinto	Jamapa	1671.02567	844.28509	.198	-919.4728	4261.5242

11.5 Pruebas no paramétricas para valores que no cumplen con normalidad (tiempos de cocción).

11.5.1 Pruebas no paramétricas para comparación de medianas de los tiempos de cocción a 0 horas de remojo (p-valor < 0.05).

**Resumen de contrastes de hipótesis**

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de Tiempo_coccion son las mismas entre las categorías de FrijolA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.011	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de Tiempo_coccion es la misma entre las categorías de FrijolA.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.025	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es .05.

11.5.2 Pruebas no paramétricas para comparación de medianas de los tiempos de cocción a 4 horas de remojo ( $p$ -valor  $< 0.05$ ).

**Resumen de contrastes de hipótesis**

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de tiempo cocción <sup>2</sup> son las mismas entre las categorías de Frijol.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.043	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de tiempo cocción <sup>2</sup> es la misma entre las categorías de Frijol.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.026	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es .05.

11.5.3 Pruebas no paramétricas para comparación de medianas de los tiempos de cocción a 8 horas de remojo ( $p$ -valor  $< 0.05$ ).

**Resumen de contrastes de hipótesis**

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de tiempo cocción <sup>3</sup> son las mismas entre las categorías de FRIJOLC.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.043	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de tiempo cocción <sup>3</sup> es la misma entre las categorías de FRIJOLC.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.038	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es .05.