

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**Diversidad morfológica, contenido de minerales y
compuestos bioactivos en grano de frijol común**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

PRESENTA

Ing. Felson Florvil

DIRECTOR

Dr. César Márquez Quíroz


CODIRECTOR


Dr. Esteban Sánchez Chávez


Villahermosa, Tabasco

Octubre 2019

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

 UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

 DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS



ASUNTO: El que se indica.
OFICIO: DACA-424


Villahermosa, Tabasco, a 22 de octubre de 2019


C. FELSON FLORVIL
EGRESADO DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
PRESENTE

Por este conducto y de acuerdo a su solicitud de autorización de impresión, informo a usted que sobre la base del Artículo 26 del reglamento de Posgrado de esta Universidad, esta Dirección a mi cargo, le **autoriza la impresión de su trabajo recepcional** bajo la modalidad de Tesis titulada "**Diversidad morfológica, contenido de minerales y compuestos bioactivos en grano de frijol común**".

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE


Ph.D. ROBERTO ANTONIO CANTÚ GARZA
DIRECTOR



C.c.p.- Archivo.

Miembro CISMEX desde 2008
Consortio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA EN LA DUDA POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Km 25, Carret. Villahermosa-Teapa
Ra. La Huasteca, 2ª sección, 86298, Centro, Tabasco, México
Tel. (+52 993) 358-1585 y 142-9150
Correos electrónicos: direccion.daca@ujat.mx, daca.direccion@gmail.com

www.ujat.mx
www.facebook.com/ujat.mx | www.twitter.com/ujat | www.youtube.com/UJATmx

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Lo que suscribe, autoriza por medio del presente escribo a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) para que utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada "Diversidad morfológica, contenido de minerales y compuestos bioactivos en grano de frijol común", de la cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes de mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro, autorización que se hace de manera enunciativa más no limitada para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la universidad tenga relación institucional.

Por lo antes mencionado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los veintidós días del mes de octubre del año 2019.

Autoriza



Felson Florvil

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por que él, es el único que decide sobre nuestras vidas. A la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), por permitir realizar mis estudios de posgrado para continuar preparándome académicamente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca otorgada durante el Posgrado (CVU: 883113), por el apoyo para realizar una estancia en El Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD- DELICIAS, CHIHUAHUA).

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por esa dicha beca.

Al Dr. César Márquez Quiroz y Dr. Efraín de la Cruz Lázaro, por guiarme, aconsejarme y brindarme su amistad, apoyo y confianza durante este proyecto donde juntos hemos llegado a la meta.

Al Dr. Esteban Sánchez Chávez (CIAD- DELICIAS, CHIHUAHUA), por sus aportaciones a la investigación y acompañamiento durante mi estancia en sus instalaciones del laboratorio.

Al comité de revisores por sus sugerencias y aportaciones para la mejora del trabajo.

Dr. Rufo Sánchez Hernández, Dr Rodolfo Osorio Osorio, Dr. Pedro García Alamilla

A los profesores del posgrado por su apoyo y enseñanzas, que hoy son parte de mi formación académica. A mis compañeras y amigas de generación: David, Azalia, Karina, Mezo, Emmanuel, y mis paisanos de Haiti Felix Jean Wildort, Jean Jacques Donatien, Ephésien Zidor y Elson Saino, por que sin duda con ustedes aprendí de la vida, también a las nuevas generaciones que se aventuran en este camino.

DEDICATORIA

Daniel Florvil (DEP) y mamá Monique Monfils: Les dedico este trabajo fruto de su esfuerzo y dedicación hacia mi, gracias por acompañarme y apoyarme siempre. Este logro es nuestro, por alentarme siempre a seguir preparándome académicamente.

A mi NOVIA Mtra. Fanny Adabel González Alejo siempre estás ahí para apoyarme, yo dedico cada página de este manuscrito a ti mi amor. Te amo mucho.

Gracias a mis hermanas: Leana, Marie-Nicole, Darline, Matilde, Melina, Emmanuella y Metilia, mis cuñados y mis sobrinos y sobrinas, por sus apoyos y consejos. Yo les amo mucho con todo mi corazón.

A mi suegra Lic. Graciela Alejo Méndez

A mi cuñada Dra. Tamara González Alejo

A mi familia: Que sería de mi sin ustedes, las personas que me han enseñado como ir por la vida, gracias tíos, tías, primos y primas. Son maravillosos

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Origen y distribución del frijol	3
2.2. Producción de <i>Phaseolus vulgaris</i>	4
2.3. Tipos de <i>Phaseolus</i> presentes en México	4
2.4. Clasificación de acuerdo a las características, color de grano y tamaño	5
2.5. Descripción taxonomía del frijol	5
2.6. Propiedades nutritivas del frijol	6
2.7. Propiedades no nutricionales	7
2.8. Compuestos bioactivos	7
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
HIPÓTESIS	10
IV. LITERATURA CITADA	11
CAPÍTULO I. Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) del estado de Tabasco	18
CAPÍTULO II. Mineral content and bioactive compounds of common bean varieties grown in the humid tropics of tabasco, mexico	42
VI. ANEXOS	66

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro 1. Diferencias entre las características morfológicas y agronómicas de dos centros de domesticación del frijol común.	3
Cuadro 2. Taxonomía del frijol común.	6
Cuadro 3. Compuestos bioactivos encontrados en el frijol común.	9
CAPÍTULO I. Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) del estado de Tabasco.	18
Tabla 1. Municipio y comunidad de colecta de 17 cultivares criollos de <i>Phaseolus vulgaris</i> de la Región Grijalva del estado de Tabasco.	37
Tabla 2. Valores y vectores propios de los Componentes Principales (CP) del análisis de 17 colectas de cultivares criollos de <i>Phaseolus vulgaris</i> de la Región Grijalva del estado de Tabasco.	38
Tabla 3. Medias y desviación estandar de los tres grupos formados con las 17 poblaciones de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de la Región Grijalva del estado de Tabasco.	39
CAPÍTULO II. Mineral content and bioactive compounds of common bean varieties grown in the humid tropics of Tabasco, Mexico.	42
Tabla 1. Collections of common beans grown in the state of Tabasco, Mexico.	50
Tabla 2. Proximal bromatological analysis of common bean collections grown in Tabasco, Mexico.	53
Tabla 3. Microelement content of common bean collections grown in Tabasco, Mexico.	54
Tabla 4. Microelement content of common bean collections grown in Tabasco, Mexico.	55
Tabla 5. Content of bioactive compounds of common bean collections grown in Tabasco, Mexico.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I. Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Tabasco. 18

Figura 1. Distribución de las 17 colectas de cultivares criollos de *Phaseolus vulgaris* en función de los componentes principales 1 y 2. 40

Figura 2. Dendrograma de agrupamiento de las 17 colectas de cultivares criollos de *Phaseolus vulgaris* criollo de la Región Grijalva del estado de Tabasco. 41

México.

Autónoma de Tabasco.

RESUMEN

El frijol es uno de los alimentos de mayor consumo en el mundo por su alto valor nutricional, es una leguminosa rica en proteínas, minerales, fibra y compuestos bioactivos. El objetivo de la investigación fue conocer la diversidad del frijol común cultivado en la Región Grijalva del estado de Tabasco, así como, la morfología, el contenido mineral y compuestos bioactivos del grano. Se determinó el tamaño del grano, color de la testa, contenido de proteína, grasa, fibra cruda, cenizas, contenido de minerales, contenido de fenoles totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante. El experimento se dividió en dos etapas: (1) determinación de la variabilidad de frijoles cultivados en la Región Grijalva del estado de Tabasco con base en características físicas y análisis bromatológico proximal del grano; (2) caracterización del contenido de minerales, compuestos bioactivos y análisis bromatológico proximal del grano de las colectas de frijol común cultivadas en el estado de Tabasco. Para la etapa 1, se realizó un análisis de componentes principales y de agrupamiento jerárquico con base en la distancia euclidiana. Los primeros cuatro componentes principales explicaron el 72.88 % de la variabilidad total entre las colectas. El mayor aporte lo tuvieron las variables morfológicas del grano. En este sentido, para el peso de 100 granos valores oscilaron entre 13.11 y 26.20 g, la longitud de grano osciló entre 3.5 y 10.8 mm, el ancho de grano osciló entre 1.6 y 6.6 mm, y el grosor de grano osciló entre 1.5 y 5.0 mm. Los valores de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* oscilaron entre 20.21 y 58.51, 0.90 y 10.80, y -1.92 y 15.98, respectivamente. En tanto que el ángulo hue y el índice croma oscilaron entre 1.34 y 16.37°, y 16.48 y 329.27, respectivamente. El contenido de flavonoides, antocianinas, y la capacidad antioxidante osciló entre 0.21 y 1.45 mg CA g^{-1} , 0.17 y 2.67 mg EC3G g^{-1} , y 72.88 y 91.05 %, respectivamente. El análisis de conglomerados diferenció a las poblaciones de frijol común en tres grupos, el grupo I se formó con tres poblaciones que tuvieron el mayor contenido de flavonoides y peso promedio de grano de color negro, el grupo II incluyó a tres poblaciones con grano de color rojo claro, rojo oscuro y blanco con el mayor contenido de proteínas; en tanto que el grupo III se formó con poblaciones de grano de color negro con los menores tamaños y peso de grano. De acuerdo, al peso de grano todas las poblaciones tienen granos pequeños, capacidad antioxidante y contenido de proteína mayor del 81 y 21

%, respectivamente. Por otra parte, para la etapa 2, se realizó un análisis de varianza, para la diferencia entre medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad. Las distintas poblaciones de frijol común mostraron un comportamiento diferencial para las variables evaluadas. Las colectas presentaron los valores individuales más sobresalientes de las mediciones realizadas. La colecta C104, C111 y C102 registraron el mayor contenido de cenizas (5.03 %), grasa cruda (1.90 %) y fibra cruda (2.93 %), respectivamente. Mientras que la colecta C115 registró el mayor contenido de nitrógeno (4.24 %) y proteína cruda (26.43 %), y la colecta C117 registró el mayor contenido de hierro (83.17 mg kg⁻¹) y zinc (38.75 mg kg⁻¹). En tanto que las colectas C104, C109 y C113 registraron la mayor concentración de fenoles totales (55.45 mg AG g⁻¹), flavonoides (1.45 mg CE g⁻¹), antocianinas (2.87 mg EC3G g⁻¹) y capacidad antioxidante (91.05 %) respectivamente. De las colectas (C102, C104, C109, C111, C113, C115 y C117) de frijoles sobresalientes en el contenido de mineral (C117) de propiedades fisicoquímicas (C115, C104, C111 y C102) y compuestos bioactivos medidos (C104, C109 y C113) son buenas perspectivas para ser incluidas en el programa de biofortificación, y de este modo mejoran la nutrición y la seguridad alimentaria en la Región Grijalva de Tabasco, México.

Palabras clave: Análisis bromatológico, análisis de componentes principales, hierro, zinc.

ABSTRACT

Beans are one of the most consumed foods in the world because of their high nutritional value, it is a legume rich in proteins, minerals, fiber and bioactive compounds. The objective of the research was to know the diversity of common beans grown in the Grijalva Region of the state of Tabasco, as well as the morphology, mineral content and bioactive compounds of the grain. Grain size, testa color, protein content, fat, crude fiber, ash, mineral content, total phenolic content, flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity were determined. The experiment was divided into two stages: (1) determination of the variability of beans grown in the Grijalva Region of the state of Tabasco based on physical and proximal bromatological analysis of the grain; (2) characterization of the content of minerals, bioactive compounds and proximal bromatological analysis of common bean collections grown in the state of Tabasco. For stage 1, an analysis of main components and hierarchical clustering based on the Euclidean distance was performed. The first four main components explained 72.88 % of the total variability among the collections. The largest contribution was the morphological variables of the grain. In this sense, for the weight of 100 grains values ranged between 13.11 and 26.20 g, the grain length ranged between 3.5 and 10.8 mm, the grain width ranged between 1.6 and 6.6 mm, and the grain thickness ranged between 1.5 and 5.0 mm. The values of the color coordinates L *, a * and b * ranged between 20.21 and 58.51, 0.90 and 10.80, and -1.92 and 15.98, respectively. While the hue angle and chroma index ranged between 1.34 and 16.37 °, and 16.48 and 329.27, respectively. The content of flavonoids, anthocyanins, and antioxidant capacity ranged between 0.21 and 1.45 mg CA g⁻¹, 0.17 and 2.67 mg EC3G g⁻¹, and 72.88 and 91.05 %, respectively. Cluster analysis differentiated common bean populations into three groups, group I was formed with three populations that had the highest flavonoid content and average black grain weight, group II included three populations with colored grain light red, dark red and white with the highest protein content; while group III was formed with black grain populations with the smallest grain sizes and weight. According to the grain weight, all populations have small grains, antioxidant capacity and protein content greater than 81 and 21 %, respectively. On the other hand, for stage 2, an analysis of variance was performed, for the difference between means of the

treatments the Tukey test was used at 95 %. The different common bean populations showed a differential behavior for the evaluated variables. Eight collections presented the most outstanding individual values of the measurements made. Collection C104, C111 and C102 recorded the highest ash content (5.03 %), crude fat (1.90 %) and crude fiber (2.93 %), respectively. While the C115 collection recorded the highest content of nitrogen (4.24 %) and crude protein (26.43 %), and the C117 collection recorded the highest content of iron (83.17 mg kg⁻¹) and zinc (38.75 mg kg⁻¹). While the C104, C109 and C113 collections recorded the highest concentration of total phenols (55.45 mg GA g⁻¹), flavonoids (1.45 mg CE g⁻¹), anthocyanins (2.87 mg EC3G g⁻¹) and antioxidant capacity (91.05 %) respectively. From the collections (C102, C104, C109, C111, C113, C115 and C117) of outstanding beans in the mineral content (C117) of proximal bromatological analysis (C115, C104, C111 and C102) and measured bioactive compounds (C104, C109 and C113) are good prospects to be included in the biofortification program, and to improve nutrition and food security in the Grijalva region of Tabasco, México.

Keywords: Bromatological analysis, principal component analysis, iron, zinc.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo, sus granos se componen principalmente de carbohidratos, proteínas (Suárez-Martínez *et al.*, 2016; Aquíños-Bolaños *et al.*, 2016), fibra, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos (Juárez-López *et al.*, 2012). Estudios recientes indican que el grano de frijol tiene efecto protector contra enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Alvarado-López *et al.*, 2019; Puertas-Mejía *et al.*, 2016; Mayor-Oxilia, 2010).

La producción mundial anual de frijol común es de 26.5 millones de toneladas, la mayoría de las cuales se utiliza para el consumo humano (FAOSTAT, 2018). Por lo que es un cultivo estratégico, que por producción ocupa el segundo lugar a nivel nacional con 1,183,868 toneladas (SIAP, 2018). Siendo México uno de los países de América considerado como el centro de origen y domesticación del frijol (Gálvez *et al.*, 2015).

En los países desarrollados y subdesarrollados el consumo de frijol ha disminuido debido a los hábitos de alimentación e ingestión de calorías y grasas por parte de la población humana (Pimentel y Pimentel, 2003; González *et al.*, 2011). Por lo tanto, las organizaciones internacionales y los especialistas recomiendan aumentar el consumo de frijoles y otras leguminosas para satisfacer las necesidades nutricionales y prevenir enfermedades crónico degenerativas (Leterme, 2002; FAO, 2016; De Ron *et al.*, 2017; McDermott y Wyatt, 2017).

Los consumidores tienen sus preferencias de consumo en función de las características físicas del grano, tiempo de cocción, y preparación del platillo regional (Chávez-Servia *et al.*, 2016), de ahí que, el color sea un atributo que determina las preferencias de consumo en las cinco regiones de México. Por ejemplo, los frijoles con testa de color amarillo en el Noroeste, frijoles con testa de color beige con moteados marrones y crema en el Noreste, frijoles con testa de color negro en el Sur (Espinosa-Alonso *et al.*, 2006) y varios colores de testa específicos en el Centro (alubia, rojo o vaquina, frijol negro, amarillo bola, flor de mayo y torito) (Espinosa-Pérez *et al.*, 2015).

Las características del frijol común, como el color de la testa de la semilla, están determinadas en gran medida por su contenido de metabolitos secundarios. Al respecto, Herrera-Flores *et al.* (2005) encontraron que el contenido fenólico varía entre las variedades, especies de frijoles y etapas de madurez del grano. Mientras que Soto-Figueroa (1994) encontró estrecha relación entre la morfología de los granos y el contenido fenólico, con un sabor diferente en los frijoles. Nutricionalmente, el frijol representa una fuente considerable de micronutrientes, tales como hierro, calcio, fósforo, magnesio y zinc (Yuliem, 2006).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue conocer la diversidad de frijol común cultivado en la Región Grijalva del estado de Tabasco, así como, la morfología, el contenido mineral y compuestos bioactivos del grano.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución del frijol

La información reciente indica que México es el centro de origen, diversificación y domesticación del frijol común acorde con las evidencias arqueológicas, etnobotánicas, morfológicas, bioquímicas y genéticas (Chávez-Servia *et al.*, 2016). El frijol domesticado se divide en dos grupos, Mesoamericano y Andino (Cuadro 1) (Bitocchi *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Diferencias entre las características morfológicas y agronómicas de dos centros de domesticación del frijol común (Singh *et al.*, 1991a; Singh *et al.*, 1991b; Islam *et al.*, 2002).

Característica	Mesoamericano	Andino
Forma de la hoja	Acorazonada y ovalada	Lanceolada y aguda
Pubescencia de la hoja	Escasa y corta	Densa y larga
Longitud del internudo	Corto	Largo
Inflorescencia	Varios nudos	Un solo nudo
Forma de la bráctea	Acorazonada y ovalada	Lanceolada y triangular
Base del pétalo	Rayada	Lisa
Posición del ápice de la vaina	Placentaria	Central
Tamaño de la semilla	Pequeña y mediana	Grande

Las poblaciones silvestres y cultivadas de frijol común se distribuyen desde el norte de México (Chihuahua) hasta el noroeste de Argentina (San Luís) (Hernández *et al.*, 2003). Sus recursos genéticos existen como un arreglo complejo de acervos genéticos mayores y menores, razas y tipos intermedios, con ocasional introgresión entre tipos silvestres y domesticados (Beebe *et al.*, 1997). Los híbridos entre frijoles silvestres y cultivados son fértiles y no existen barreras importantes para la introgresión y el intercambio de alelos favorables (Miklas y Singh, 2007).

En la actualidad, el frijol común se encuentra distribuido en el continente Europeo, Asiático y Africano, donde presentan similitudes a los frijoles Mesoamericanos y Andinos o simplemente forman híbridos entre ambos materiales genéticos (Chávez-Servia *et al.*, 2016).

2.2 Producción de *Phaseolus vulgaris*

El frijol común es una leguminosa que se produce en 129 países, con producción mundial en el 2017 de 31.4 millones de toneladas, producidas en 36.46 millones de hectáreas con rendimiento promedio de 0.86 t ha⁻¹ (FAO, 2018). Destaca Myanmar como el principal país productor, con producción de 4,651,094 t, mientras que México ocupa el quinto lugar como país productor (SIAP, 2018), donde se consumen 2.8 millones de toneladas de frijol (SAGARPA, 2015; FIRA, 2015).

En México el frijol común, es el segundo producto alimenticio básico en la gastronomía mexicana. Su producción proviene en gran parte de genotipos criollos y de variedades mejoradas, que no se distribuyen de forma homogénea en todo el territorio nacional. En el 2018, se sembraron 1.67 millones de hectáreas con rendimiento promedio de 0.75 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). Destacando con mayor superficie sembrada los estados de Zacatecas (33.6 %), Durango (15.1 %), Sinaloa (6.9 %), Chihuahua (7 %) y Chiapas (6.5 %) (SIAP, 2018).

2.3. Tipos de *Phaseolus* presentes en México

En actualidad, América Latina se considera como centro de diversidad de frijol (Ramírez-Pérez *et al.*, 2012). A nivel mundial, se conocen aproximadamente 150 especies de frijoles, dentro de ello se encuentran 50 especies en México, con gran variabilidad en el tamaño y color del grano. El acervo genético de frijol en México se puede clasificar en cuatro grupos: a) un total de 85 variedades mejoradas registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SAGARPA, 2014); b) 7000 accesiones de *P. vulgaris* Mexicano preservadas en el banco de germoplasma del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Universidad Autónoma Chapingo

(UACH) y la Universidad de Guadalajara; c) 70 especies de *Phaseolus* silvestres y cultivados distribuidos en México, de las cuales cinco especies se domesticaron y se destaca *P. vulgaris*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, *P. acutifolius* y *P. dumosus* (Lepiz *et al.*, 2010; Delgado-Salina *et al.*, 2016); d) el acervo génico compuesto por especies silvestres, criollos y materiales ancestrales que esta en manos de los productores de las diferentes Regiones de México (Soleri *et al.*, 2013 ; Latournerie *et al.*, 2005).

La mayor diversidad genética de *P. vulgaris* está clasificada dentro de las razas Mesoamericana, Jalisco y Durango (Singh *et al.*, 1991b; Bitocchi *et al.*, 2012; Bermeo *et al.*, 2014;). Los materiales más comunes en México son: Azufrado (amarillo), Jamapa (negro), alubia (blanco), poroto caraota, pinto, flor de mayo (rosado), flor de junio, Michigan (negro), sangre de toro (rojo), entre otros, y constituyen una fuente importante en la dieta del ser humano (Muñoz, 2010).

2.4. Clasificación de acuerdo a las características, color de grano y tamaño

Los colores más comunes en la semilla de frijol, dependiendo de la variedad, son: blanco, crema-beige, amarillo, café-marrón, rosado, rojo, morado y negro. Pueden existir colores puros o en combinaciones especiales en las que hay moteados, con estrías o puntos (Hidalgo *et al.*, 1980). Mientras que el tamaño se define por el peso de 100 granos y los materiales se clasifican en tres grupos de la siguiente manera: pequeños (hasta 25 g/100 granos), medianos (entre 25 a 40 g/100 granos) y grandes (desde 40 g/100 a más granos) (Singh *et al.*, 1991; Ulloa *et al.*, 2011).

2.5. Descripción taxonomía del frijol

Dentro de la familia de las leguminosas se encuentra el género *Phaseolus* que se conforma por cerca de 90 especies endémicas del continente americano que crecen a altitudes comprendidas entre 700 y 2000 msnm, en tierras bajas secas o húmedas, bosques de pinos y robles, así como selvas húmedas desde el Sureste de Canadá hasta el Norte de Argentina (Valladares, 2010). En el Cuadro 2 se muestra la posición taxonómica de *P. vulgaris*.

Cuadro 2. Taxonomía del frijol común (Valladares, 2010).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabáceas
Subfamilia	Faboideae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Nombre binomial	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

2.6. Propiedades nutritivas del frijol

El frijol común aporta proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos con alta actividad antioxidante (García-Díaz *et al.*, 2018). Las propiedades nutricionales de los frijoles están altamente vinculadas al contenido de proteínas y, en menor medida, a su contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales (Ganesan y Xu, 2017). La proteína presente en el frijol es diferente según los cultivares, los valores oscilan entre el 15 y el 35 %. Los aminoácidos predominantes presentes en los frijoles secos son lisina (6.5–7.5 g / 100 g de proteína) y tirosina con fenilalanina (5.0–8.0 g / 100 g de proteína) (Chávez y Sánchez, 2017). En consecuencia, la proteína presente en los frijoles satisface las necesidades mínimas de los requisitos humanos respaldados por la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Por lo tanto, 100 g de frijol común seco proporciona aproximadamente de 15 a 26 g de proteína, que es casi el 20 % del consumo diario recomendado para un adulto (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). Además, la digestibilidad de la proteína de frijol seco es casi del 80 % (Suárez-Martínez *et al.*, 2016). Cerca de 55 a 75 g de carbohidratos están presentes en 100 g de frijoles crudos y la fracción predominante en el frijol es el almidón, que constituye casi el 50 % del peso de la semilla. Además, la fibra dietética (14 – 19 g / 100 g de crudo) y los

oligosacáridos están en cantidades significativas. Más del 50 % de las fibras son insolubles, compuestas de pectinas, pentosas, hemicelulosa, celulosa y lignina (Maldonado *et al.*, 2002). La fracción lipídica en el frijol es de 1.5 a 6.5 g en 100 g de frijol crudo y está compuesta principalmente de ácidos grasos mono y poliinsaturados (Ulloa *et al.*, 2011).

2.7. Propiedades no nutricionales

Los alimentos de origen vegetal contienen factores antinutricionales, capaces de disminuir la disponibilidad de los nutrimentos indispensables como el ácido fítico, lectinas, taninos, inhibidores de proteasas, saponinas y antivitaminas (Romano *et al.*, 2015). Al respecto, el ácido fítico (ácido mioinositol hexafosfórico; IP6) se encuentra tanto en cereales como en leguminosas y se considera como un factor antinutricional, debido a que reduce la biodisponibilidad de proteínas y minerales (Magga, 1982).

En cereales y leguminosas constituye entre el 1 y 2 % del peso del grano, incluso puede alcanzar de 3 a 6 % en algunos cereales (Kasim *et al.*, 1998). Los inhibidores de tripsina son considerados comúnmente como inhibidores proteolíticos y pueden provocar retardo en el crecimiento e hipertrofia pancreática (Ulloa *et al.*, 2011).

Por otra parte, los taninos disminuyen la digestibilidad de proteínas, limitan la biodisponibilidad de minerales como el hierro y zinc, mientras que el ácido fítico también afecta la asimilación del zinc (Ulloa *et al.*, 2011).

2.8. Compuestos bioactivos

Los frijoles contienen compuestos bioactivos los cuales se asocian con características nutrucionales y factores fisiológicos que limitan el uso de las leguminosas como alimento principal (Morales *et al.*, 2015; Aquino-Bolaños *et al.*, 2018).

En el Cuadro 3, se muestra los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en la testa del grano de frijol común y sus propiedades benéficas (Beninger y Hosfield, 2003; Oohmah *et al.*, 2010; Aquino-Bolaños *et al.*, 2018).

En años recientes se ha incrementado el interés por consumir alimentos ricos en compuestos fenólicos, capaces de ejercer efectos biológicos a nivel celular (Pandey y

Rizvi, 2009). Estudios científicos, han demostrado que el frijol negro tiene un alto contenido de compuestos polifenoles en cotiledones cocidos (Ganesan y Xu, 2017). Los polifenoles son compuestos antioxidantes y está demostrado que su consumo puede prevenir el cáncer (Moreno-Jiménez *et al.*, 2018).

Químicamente, los flavonoides representan un gran grupo heterogéneo de compuestos caracterizados por restos fenilo hidroxilados. Los flavonoides se clasifican en subclases adicionales de acuerdo con sus diferencias estructurales, incluyendo taninos condensados, flavanoles y flavonoles que son componentes fitoquímicos distintivos (Moreno-Jiménez *et al.*, 2018). Las antocianinas corresponden al grupo de los flavonoides con sus colores brillantes en los cereales, frutas y vegetales (Salinas-Moreno *et al.*, 2005). Generalmente, las antocianinas se encuentran en la testa, el hipocotílo y el cotiledón del grano de frijol (Rojas-Herrera *et al.*, 2005). El perfil del contenido de antocianinas se conserva en los alimentos, pero varía en las condiciones del cultivo y en la localidad de siembra (Pérez-Herrera *et al.*, 2005).

Cuadro 3. Compuestos bioactivos encontrados en el frijol común.

Referencia	Contenido de fenoles totales	Contenido de flavonoides	Contenido de antocianinas	Capacidad antioxidante
	(mg AG g ⁻¹)	(mg CA g ⁻¹)	(mg EC3G g ⁻¹)	(%)
García-Díaz <i>et al.</i> (2018).	1.00 a 180.5	ND	0.01 a 6.76	ND
Herrera-Hernández <i>et al.</i> (2018).	46.75 a 114.29	0.33 a 2.18	0.20 a 2.57	15.23 a 80.62
Luthria y Pastor-Corrales (2006).	0.19 a 0.48	ND	ND	ND
Aquino-Bolaños <i>et al.</i> (2016).	1.3 a 5.4	0.10 a 0.27	7.1 a 32.4	ND
Golam-Masum-Akond <i>et al.</i> (2011).	5.8 a 12.60	ND	0.05 a 0.47	ND
Armendáriz-Fernández <i>et al.</i> (2019).	19.75 a 221.48	0.6 a 7.4	0.39 a 2.33	23.1 a 82.1
Sida-Arreola <i>et al.</i> (2017).	ND	ND	ND	45 a 75
García Nava (2009).	21.09 a 221.48	2.26 a 164.17	ND	ND
Guajardo-Flores <i>et al.</i> (2013).	27.0 a 61.0	ND	ND	ND
Cardador-Martínez <i>et al.</i> (2002).	ND	0.24 a 0.26	ND	ND

ND= Dato no disponible

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Conocer la diversidad de frijol común cultivado en la Región Grijalva del estado de Tabasco, así como, la morfología, el contenido mineral y compuestos bioactivos del grano.

Objetivos específicos

Determinar la variabilidad de frijoles cultivados en la Región Grijalva del estado de Tabasco con base en características físicas y análisis bromatológico proximal del grano.

Caracterizar el contenido de minerales, compuestos bioactivos y análisis bromatológico proximal del grano de las colectas de frijol común cultivados en el estado de Tabasco.

HIPÓTESIS

Existen diferencias entre las poblaciones de frijol común, cultivadas en la Región Grijalva del estado de Tabasco, agrupadas acorde con el contenido de compuestos bioactivos, peso promedio del grano, color de la testa del grano y contenido mineral del grano.

IV. LITERATURA CITADA

- Alvarado-López, A. N., Gómez-Oliván, L. M., Heredia, J. B., Baeza-Jiménez, R., García-Galindo, H. S., & Lopez-Martinez, L. X. (2019). Nutritional and bioactive characteristics of ayocote bean (*Phaseolus coccienus* L.): An underutilized legume harvested in Mexico. *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 199-206. doi: 10.1080/19476337.2019.1571530.
- Aparicio, X., & Juárez-López, B. A. (2012). Polyphenolics concentration and antiradical capacity of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) after thermal treatment. p. 25-33. In: Nevárez-Moorillón, G. V., & Ortega-Rivas, E. (Eds.). *Food Science and Food Biotechnology Essentials: A contemporary perspective*. Asociación Mexicana de Ciencias de los Alimentos, A. C.
- Aquino-Bolaños, E., García-Díaz, Y., Chavez-Servia, J., Carrillo-Rodríguez, J. C., Vera, A., & Heredia-García, E. (2016). Anthocyanin, polyphenol, and flavonoid contents and antioxidant activity in mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28, 581-588.
- Armendáriz-Fernández, K., Herrera-Hernández, I., Muñoz-Márquez, E., & Sánchez, E. (2019). Characterization of bioactive compounds, mineral content, and antioxidant activity in bean varieties grown with traditional methods in Oaxaca, Mexico. *Antioxidants*, 8, 26. doi: 10.3390/antiox8010026.
- Beebe, S., Lynch, J., Galwey, N., Tohme, J., & Ochoa, I. (1997). A geographical approach to identify phosphorus-efficient genotypes among landraces and wild ancestors of common bean. *Euphytica*, 95(3), 325-338. doi: 1003008617829.
- Beebe, S., Lynch, J., Galwey, N., Tohme, J., & Ochoa, I. (1997). A geographical approach to identify phosphorus-efficient genotypes among landraces and wild ancestors of common bean. *Euphytica*, 95(3), 325-338. doi: 1003008617829.
- Beninger, C. W., & Hosfield, G. L. (2003). Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27), 7879-7883. doi: 10.1021/jf0304324.
- Bermeo, A., Couturier, S., & Galeana, P.M. (2014). Conservation of traditional smallholder cultivation systems in indigenous territories: Mapping land

- availability for milpa cultivation in the Huasteca Poblana, Mexico. *Applied Geography*, 53, 299–310. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.06.003.
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., & Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(14), E788–E796. doi:10.1073/pnas.1108973109.
- Broughton, W. J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., & Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), 55-128. doi: 1024146710611.
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975-6980. doi:10.1021/jf020296n.
- Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): Implications for health. *Molecules*, 22(8), 1360. doi: 10.3390/molecules22081360.
- Chávez-Servia, J. L., Heredia-García, E., Mayek-Pérez, N., Aquino-Bolanos, E. N., Hernández-Delgado, S., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vera-Guzmán, A. (2016). Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces and the nutritional value of their grains. p. 1-34. In: Kumar-Goyal, A. (Ed.), *Grain legumes*. Croacia: IntechOpen. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5772/61382>.
- Delgado-Salinas, A., Bibler, R., & Lavin, M. (2006). Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): A recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany*, 31(4), 779–791. doi: 10.1600/036364406779695960.
- De Ron, A. M., Sparvoli, F., Pueyo, J. J., & Bazile, D. (2017). Editorial: Protein crops: Food and feed for the future. *Frontiers in Plant Science*, 8, 105. doi: 10.3389/fpls.2017.00105.
- Domenech, R. J. (2018). La incertidumbre de la “significación” estadística. *Revista Médica de Chile*, 146(10), 1184-1189. doi: 10.4067/S0034-98872018001001184.

- Espinosa-Alonso, L. G., Lygin, A., Widholm, J. M., Valverde, M. E., & Paredes-Lopez, O. (2006). Polyphenols in wild and weedy mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(12), 4436-4444. doi: 10.1021/jf060185e.
- Espinosa-Pérez, E. N., Ramírez-Vallejo, P., Crosby-Galván, M. M., Estrada-Gómez, J. A., Lucas-Florentino, B., & Chávez-Servía, J. (2015). Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del Centro-Sur de México por morfología de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *29*(1), 29-38.
- Gálvez, A., & Salinas, G. (2015). El papel del frijol en la salud nutrimental de la población mexicana. *Revista Digital Universitaria*, *16*(2), 2-16.
- Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(11), 2331. doi: 10.3390/ijms18112331.
- García-Díaz, Y. D., Aquino-Bolaños, E. N., Chávez-Servía, J. L., Vera-Guzmán, A. M., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2018). Bioactive compounds and antioxidant activity in the common bean are influenced by cropping season and genotype. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *78*(2), 255-265. doi: 10.4067/S0718-58392018000200255.
- Gonzales, J. F., Barnard, N. D., Jenkins, D. J. A., Lanou, A. J., Davis, B., Saxe, G., & Levin, S. (2014). Applying the precautionary principle to nutrition and cancer. *Journal of the American College of Nutrition*, *33*(3), 239-246. doi: 10.1080/07315724.2013.866527.
- González, A. D., Frostell, B., & Carlsson-Kanyama, A. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: Potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*, *36*(5), 562-570. doi: 10.1016/j.foodpol.2011.07.003.
- Herrera-Flores, T. S., Cárdenas-Soriano, E., Ortíz-Cereceres, J., Acosta-Gallegos, J. A., & Mendoza-Castillo Ma. C. (2005). Anatomy of the pod of three species of the genus *Phaseolus*. *Agrociencia*, *39*(6), 595-602.
- Herrera-Hernández, I. M., Armendáriz-Fernández, K. V., Muñoz-Márquez, E., Sida-Arreola, J. P., & Sánchez, E. (2018). Characterization of bioactive compounds,

- mineral content and antioxidant capacity in bean varieties grown in semi-arid conditions in Zacatecas, Mexico. *Foods*, 7(12), 199. doi: 10.3390/foods7120199.
- Islam, F. M. A., Basford, K. E., Jara, C., Redden, R. J., & Beebe, S. (2002). Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. *Genetic Resources Crop Evolution*, 49, 285-293.
- Kanti Bhooshan Pandey, & Syed Ibrahim Rizvi. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270-278. doi: 10.4161/oxim.2.5.9498.
- Kasim, A. B., & Edwards, H. M. J. (1998). The analysis of inositol phosphate forms in feed ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 1-9.
- Latournerie, L., Yupit, E. C., Tuxill, J., Mendoza, M., Arias, L. M., Castañón, G., & Chavez-Servia, J. L. (2005). Traditional systems of seed bean and squash storage in Yaxcaba, Yucatan. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28, 47-53.
- Leterme, P. (2002). Recommendations by health organizations for pulse consumption. *The British Journal of Nutrition*, 88(3), 239. doi: 10.1079/BJN2002712.
- Lépiz, R., López, J. J., Sánchez, J. J., Santacruz-Ruvalcaba, F., Nuño, R., & Rodríguez, E. (2010). Morphological traits of cultivated, wild and weedy forms in climbing common bean. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33, 21-28.
- Maga, J. A. (1982). Phytate: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(1), 1-9. doi: 10.1021/jf00109a001.
- Maldonado, S. H. G., Gallegos, J. A. A., Álvarez-Muñoz, M. Á., García-Delgado, S., & Loarca-Piña, G. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 28(2), 159-173.
- Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 27(3), 55-62.
- Miklas, P. N., & Singh, S. P. (2007.) Common bean. In: Kole, C. (ed). *Genome mapping and molecular breeding in plants. Berlin: Pulses, sugar and tuber crops*. Springer 1:1-31.

- Moreno-Jiménez, M. R., López-Barraza, R., Cervantes-Cardoza, V., Pérez-Ramírez, I. F., Reyna-Rojas, J. A., Gallegos-Infante, J. A., & Rocha-Guzmán, N. E. (2019). Mechanisms associated to apoptosis of cancer cells by phenolic extracts from two canned common beans varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Biochemistry*, 43(6), e12680. doi:10.1111/jfbc.12680.
- Muñoz-Saldaña, R. (2010). Frijol, rica fuente de proteínas. CONABIO. *Biodiversitas*, 89, 7-11.
- Oomah, B. D., Corbé, A., & Balasubramanian, P. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), 8225-8230. doi: 10.1021/jf1011193.
- Ospina O. H. F., Hidalgo, H. R., Song, L., & Gepts, P. L. (1980). Diversidad genética de las especies cultivadas del género *Phaseolus*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Co. <http://books.google.com.co/books?id=DUG0jfrD51gC&lpg=PP1&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.
- Pimentel, D., & Pimentel, M. (2003). Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 660S-663S. doi: 10.1093/ajcn/78.3.660S.
- Puertas-Mejía, M., Mosquera-Mosquera, N., & Rojano, B. (2016). Study of in vitro antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) by microwave assisted extraction. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21, 42-50.
- Ramírez-Pérez, A., Díaz-Ruiz, R., Jacinto-Hernández, C., Paredes-Sánchez, J., & Garza-García, R. (2018). Diversidad de frijoles nativos de diferentes regiones del estado de Puebla. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(3), 467-480. doi: 10.29312/remexca.v3i3.1442.
- Romano, A., Giosafatto, C. V. L., Masi, P., & Mariniello, L. (2015). Impact of dehulling on the physico-chemical properties and in vitro protein digestion of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food & Function*, 6(4), 1345-1351. doi: 10.1039/C5FO00021A.

- Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E., & Pérez-Herrera, P. (2005). Anthocyanin composition in black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in México. *Agrociencia*, 39, 385-394.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). Mexico D.F. 2015. 82 p.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Atlas agroalimentario. 2018. Primera edición. Disponible en: https://nube.Siap.Gob.Mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/atlas-agroalimentario-2018.
- Sida-Arreola, J. P., Sánchez, E., Preciado-Rangel, P., & Márquez-Quiroz, C. (2017). Does zinc biofortification affects the antioxidant activity in common bean?, *Cogent Food & Agriculture*, 3,1. doi: 10.1080/23311932.2017.1283725.
- Singh, S. P., Gutierrez, J. A., Molina, A., Urrea, C., & Gepts, P. (1991a). Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. *Crop Science*, 31, 23-29.
- Singh, B. D., Gepts, P., & Debouck, D. G. (1991b). Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany*, 45, 379–396. doi: 10.1007/BF02887079.b.
- Soleri, D., Worthington, M., Aragón-Cuevas, F., Smith, S. E., & Gepts, P. (2013). Farmers' varietal identification in a reference sample of local *Phaseolus* species in the Sierra Juárez, Oaxaca, Mexico. *Economic Botany*, 67, 283–298. doi: 10.1007/s12231-013-9248-1.
- Soto-Figueroa M. (1994). Influencia del cotyledon en la determinación de taninos y su relación con el color y el contenido de la testa en frijol común. *BSc. Thesis*. Universidad Autónoma de Queretaro.
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, Karina, & García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: Leading nutraceutical source for human health. *CyTA - Journal of Food*, 14(1), 131-137. doi:10.1080/19476337.2015.1063548.

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P. R., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5-9.

Valladares, C. A. (2010). Taxonomía y botánica de los cultivos de grano. *Universidad Nacional Autónoma de Honduras: Cultivos de grano*. 10, 1-3.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO I. Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Tabasco

Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común

(*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Tabasco

Physical and physicochemical diversity of grain of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of the state of Tabasco

Felson Florvil¹, César Márquez-Quiroz¹, Esteban Sánchez Chávez², Efraín De la Cruz

Lazaro^{1*}

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa, Km. 25, R/a. La Huasteca, CP. 86298. Villahermosa, Tabasco, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. – Unidad Delicias. Chihuahua, México.

*Autor de correspondencia: eclazaro@hotmail.com

Manuscrito enviado a la revista Biotecnia

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa alimentaria más importante del mundo. El objetivo del trabajo fue, determinar la variabilidad de poblaciones de frijol común cultivado en la Región Grijalva del estado de Tabasco con base en sus características físicas y fisicoquímicas del grano. A 17 poblaciones de frijol común se les determinó el tamaño de grano y color. Además del contenido de proteína, grasa, fibra cruda, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante. Los cuatro primeros componentes principales (CP) explicaron el 72.88 % de la variabilidad total, el mayor aporte lo tuvieron las variables de tamaño de grano (longitud, ancho, grosor y peso), color, fibra cruda y contenido de flavonoides. El análisis de conglomerados diferenció a las poblaciones de frijol común en tres grupos, el grupo I se formó con tres poblaciones que tuvieron el mayor contenido de flavonoides y peso promedio de grano de color negro, el grupo II incluyó a tres poblaciones con granos de color rojo claro, rojo oscuro y blanco con el mayor contenido de proteína; en tanto que el grupo III se formó con poblaciones de grano de color negro con los menores tamaños y pesos de grano. De acuerdo al peso de grano todas las poblaciones tienen granos pequeños, capacidad antioxidante y contenido de proteína mayor del 81 y 21 %, respectivamente. Las evidencias indican que en las poblaciones de frijol común del estado de Tabasco hay diversidad morfológica, útil para programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, color de semilla, contenido de proteína, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume in the world. The objective of the work was to determine the variability of common bean populations cultivated in the Grijalva region of the state of Tabasco based on physical and physicochemical characteristics of the grain. Seventeen common bean populations in the Grijalva region of the state of Tabasco were determined for grain size and color. In addition to the content of protein, fat, crude fiber, flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity. The first four main components (CP) accounted for 72.88 % of the total variation, the variables with the greatest contribution were grain size (length, width, thickness and weight), color, crude fiber and flavonoid content. Cluster analysis differentiated the common bean populations into three groups, group I was formed with three populations that had the highest flavonoid content and the highest average weight of black grain, group II included three collections with light red, dark red and white grains with the highest protein content, while group II was formed with black grain populations with the lowest grain sizes and weights. According to grain weight all populations have small grains, antioxidant capacity and protein content greater than 81 and 21 %, respectively. The available evidence indicates that in the common bean populations of the state of Tabasco there is morphological diversity, useful for breeding programs.

Keywords: Principal component analysis, seed color, protein content, antioxidant capacity.

INTRODUCCIÓN

Debido a la influencia de las fuerzas evolutivas de mutación, migración, deriva genética y selección empírica practicada por el hombre; el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) evolucionó de la forma silvestre de hábito trepador y semillas pequeñas (Sinkovic *et al.*, 2019), a la forma actual que se siembra en diversos ambientes y sistemas de producción (Da silva *et al.*, 2010). En México se encuentra la mayoría de las aproximadamente 65 especies del género *Phaseolus*, en un intervalo amplio de ambientes ecológicos y desde una altitud de casi a nivel del mar hasta los 3 000 m (Hernández-Delgado *et al.*, 2015). Además, de los progenitores silvestres de las cinco especies domesticadas: *P. vulgaris* L. (frijol común), *P. coccineus* L. (frijol ayocote), *P. acutifolius* (frijol tepari o escumite), *P. dumosus* (frijol acalee o gordo) y *P. lunatus* L. (frijol lima), también se encuentran en los límites territoriales del país algunos parientes silvestres (Vargas *et al.*, 2012). Como centro de la domesticación de estas cinco especies de frijol, México cuenta también con una amplia diversidad de variedades cultivadas, y criollas o nativas, cada una adaptada de forma local, con diferentes tipos de crecimiento, color de fruto y formas de semilla (Peña *et al.*, 2012; Delgado y Gama, 2015, Hernández-Delgado *et al.*, 2015).

En el trópico húmedo del Estado de Tabasco, las formas cultivadas de *P. vulgaris* son cultivares criollos o nativos, que han coexistido con materiales mejorados al menos por 40 años; por ejemplo, con la variedad Jamapa liberada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en 1958 (Vidal-Barahona *et al.*, 2006). Por lo que se han generado cultivares adaptados a las condiciones ambientales y los sistemas de producción de los agricultores del estado (Latournerie *et al.*, 2009). Lo que hace que estos cultivares sean valiosos como donadores potenciales de genes

para el desarrollo de variedades mejoradas y el uso directo por los agricultores (Chávez-Servia *et al.*, 2004).

En la clasificación e identificación de variedades vegetales, las características morfológicas de la planta, flor y fruto desempeñan un papel importante; además de que son elementos básicos para conocer y medir la variabilidad morfológica dentro de las poblaciones (Meza-Vázquez *et al.*, 2015). En lo referente a la morfología del grano de frijol, se encuentran en diferencias de tamaños, formas y colores (Rosales *et al.*, 2005). Al respecto Espinosa-Pérez *et al.* (2015) reportan frijoles de color amarillo, rojo, negro, café, lila, beige, blanco, gris, crema y pinto. En tanto que para peso de 100 semillas se reportan valores entre 22.4 y 78.1 g para frijoles del Noroeste de México, mientras que para la Región Grijalva del estado de Tabasco se reportan pesos entre 14.8 y 33.1 g para poblaciones de frijol común (Lagunes-Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa-Pérez *et al.*, 2015). Sobre el color de grano Pérez-Herrera *et al.* (2002) mencionan que el grosor y el color del tegumento (cubierta del grano) sirven como capa protectora contra la invasión de patógenos. Mientras que Iniestra-González *et al.* (2005) mencionaron que un color oscuro de la semilla podría ser indicativa de buena actividad antioxidante. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad de frijoles cultivados en la Región Grijalva del estado de Tabasco con base en características físicas y fisicoquímicas del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

La colecta de las poblaciones de frijol común de la Región Grijalva del estado de Tabasco, se realizaron de febrero a abril de 2018 en los municipios de Centro, Comalcalco, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa de Méndez, Nacajuca, Tacotalpa y Teapa (Tabla 1).

Tabla 1. Municipio y comunidad de colecta de 17 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de la Región Grijalva del estado de Tabasco.

Colecta	Municipio	Comunidad
C101	Huimanguillo	Pejelagartero 1ra. Sección
C102	Tacotalpa	Libertad
C103	Centro	Plátano y Cacao 2da. Sección
C104	Nacajuca	Sandial
C105	Tacotalpa	Madrigal 5ta. Sección
C106	Teapa	Ignacio López Rayón 1ra. Sección
C107	Jalapa	San Miguel Afuera
C108	Jalapa	Calicanto 2da. Sección
C109	Huimanguillo	C-32 (Lic. Francisco Trujillo Gurría)
C110	Teapa	Villa Juan Aldama
C111	Huimanguillo	Paso de la Mina 3ra. Sección
C112	Jalpa de Méndez	Nicolás Bravo
C113	Huimanguillo	Chontalpa (Estación Chontalpa)
C114	Tacotalpa	Pochitocal 1ra. Sección
C115	Jalapa	Astapa
C116	Comalcalco	Occidente 2da. Sección
C117	Tacotalpa	Oxolotán

Determinación de propiedades físicas de los granos

A cada una de las poblaciones se les determinó la longitud (mm), ancho (mm), grosor (mm) y peso de 100 granos (g). La longitud, ancho y grosor del grano se midió con un vernier electrónico Digital Caliper, en una muestra de 50 granos tomados al azar para luego calcular el valor promedio. Mientras que el peso de 100 granos se determinó en tres repeticiones de 100 granos tomados al azar, que se pesaron en una balanza analítico y se reporta en gramos por 100 granos. Los parámetros de color: luminosidad (L^*), tendencia al rojo (a^*), tendencia al amarillo (b^*), índice de saturación (croma) y ángulo Hue (tono) se midieron con un colorímetro marca CR-400, basado en el sistema CIE Lab.

Determinación de propiedades fisicoquímicas de los granos

El contenido de proteína y grasa cruda se calcularon con el método de Dumas (Calvo *et al.*, 2008) y Goldfish (AOAC, 2019), respectivamente; y se reportan en porcentaje. Mientras que el contenido fibra cruda se determinó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-F-90-S-1978, 1978). Para la determinación del contenido de flavonoides se utilizó el método descrito por Zhishen *et al.* (1999). En tanto, que el contenido de antocianinas se determinó con el método diferencial de pH descrito por Wrolstad (1993), y la capacidad antioxidante por el método descrito por Brand Williams *et al.* (1995).

Análisis estadístico

Con los valores promedio estandarizados de las variables evaluadas en las poblaciones se realizó un análisis de componentes principales (ACP) que incluyó las 17 poblaciones y 15 variables, las cuales se estandarizaron a $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$. La significancia de los

valores y vectores “eigen” se determinó con la regla de Kaiser (1960). La estimación de los CP se realizó con la matriz de correlaciones, con la finalidad de que las variables involucradas en el análisis tuvieran la misma importancia. Posteriormente se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos con el método de Ward y la distancia euclideana. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS 9.2 para Windows.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de componentes principales (ACP) aplicado a nueve variables físicas y seis variables fisicoquímicas del grano, indica que los cuatro primeros componentes principales (CP) son significativos, ya que tuvieron valores propios mayores de 1 (López e Hidalgo, 1994) y en conjunto explican el 72.88 % de la variabilidad total (Tabla 2). El CP1 explica el 31.91 % de la variación total, y las variables de mayor contribución fueron: de grano (longitud, ancho y grosor), color (tendencia al rojo, índice de saturación y luminosidad) y contenido de fibra cruda, en tanto que el ángulo Hue tuvo la mayor contribución de forma negativa. Mientras que el CP2 explica el 19.57 % presentando la mayor contribución las variables de grano (longitud, ancho y grosor), ángulo Hue, y contenidos de flavonoides, en tanto que las variables tendencia al rojo (a^*) e índice de saturación (croma) presentaron la mayor contribución de forma negativa. El CP3 explica el 12.60 % de la variación, presentando la mayor contribución las variables peso de 100 granos, tendencia al rojo, tendencia al amarillo, capacidad antioxidante, antocianinas y contenido de proteína cruda, mientras que la variable luminosidad tuvo la mayor contribución negativa. El CP4 explicó el 8.80 % presentando la mayor contribución las variables peso de 100 granos, tendencia al amarillo, capacidad antioxidante, proteína y fibra cruda, mientras que el contenido de grasa tuvo la mayor contribución negativa. Tanto en el CP1 y CP2 las variables de mayor contribución fueron de grano y color, lo que coincide con Espinosa-Pérez *et al.* (2015) quienes encontraron que las variables de forma y color de grano son las variables que más contribuyen a explicar la variabilidad en poblaciones nativas de frijol del Sureste de México.

Tabla 2. Valores y vectores propios de los componentes principales (CP) del análisis de 17 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de la Región Grijalva del estado de Tabasco.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4
Longitud de grano	0.321*	0.362*	0.065	-0.008
Ancho de grano	0.291*	0.395*	0.074	-0.039
Grosor de grano	0.305*	0.387*	0.025	-0.047
Peso de 100 granos	0.080	-0.168	0.261*	-0.650*
Tendencia al rojo (a*)	0.294*	-0.272*	0.201*	-0.068
Tendencia al amarillo (b*)	0.173	0.084	0.349	-0.175*
Ángulo de Hue (tono)	-0.346*	0.297*	-0.001	0.007
Índice de saturación (Croma)	0.364*	-0.270*	-0.138	0.063
Luminosidad (L*)	0.281*	-0.081	-0.409*	0.116
Flavonoides	0.149	0.268*	0.038	-0.004
Capacidad antioxidante	-0.183	-0.136	0.307*	0.400*
Antocianinas	-0.217	-0.014	0.520*	-0.060
Proteína cruda	0.228	-0.199	0.332*	0.190*
Fibra cruda	0.328*	-0.213	0.162	0.217*
Grasa	-0.035	0.184	0.028	-0.219*
Valor propio	3.595	3.330	2.910	2.263
Valor explicado (%)	31.91	19.57	12.60	8.80
Variación acumulada (%)	34.91	51.48	64.08	72.88

*Significativo de acuerdo con Keiser (1960).

Tabla 3. Medias y desviación estandar de los tres grupos formados con las 17 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de la Región Grijalva del estado de Tabasco.

Variables	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Longitud de grano (mm)	1.01 ^a	0.83 ^a	0.43 ^b
Ancho de grano (mm)	0.62 ^a	0.48 ^{ab}	0.26 ^b
Grosor de grano (mm)	0.47 ^a	0.38 ^a	0.22 ^b
Peso de 100 granos (g)	20.10 ^a	21.97 ^a	19.52 ^a
Tendencia al rojo (a*)	1.20 ^b	8.28 ^a	1.26 ^b
Tendencia al amarillo (b*)	3.44 ^a	1.71 ^a	-1.69 ^b
Ángulo de Hue (tono)	316.65 ^a	38.34 ^b	306.88 ^a
Índice de saturación (Croma)	1.74 ^b	13.43 ^a	2.21 ^b
Luminosidad (L*)	22.34 ^b	35.12 ^a	21.62 ^b
Flavonoides (mg CE g ⁻¹)	0.88 ^a	0.83 ^a	0.51 ^b
Capacidad antioxidante (%)	86.72 ^a	81.22 ^b	86.24 ^a
Antocianinas (mg C3G g ⁻¹)	1.45 ^a	0.67 ^b	1.59 ^a
Proteína cruda (%)	22.85 ^{a,b}	24.66 ^a	21.97 ^b
Fibra cruda (%)	2.25 ^b	2.83 ^a	2.18 ^b
Grasa (%)	1.67 ^a	1.46 ^a	1.49 ^a

La distribución espacial de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales (Figura 1), mostró tres grupos definidos en función del tamaño y color de grano. Las poblaciones con mayores valores en las propiedades físicas del grano (longitud, grosor, ancho, tendencia al amarillo y ángulo Hue) y fisicoquímicas (flovonoides, capacidad antioxidante, antocianinas y grasa) se encuentran en la parte positiva del CP1 y CP2 formando el grupo I. Mientras que las poblaciones con colores de granos rojo claro (C115), rojo oscuro (C105) y blanco (C102) forman en grupo II,

las cuales se encuentran en la parte positiva del CP1 y negativa del CP2. En tanto, que las poblaciones que presentaron los menores tamaños y pesos de granos se encuentran en la parte negativa del CP1 y CP2 formando el grupo III. Cabe resaltar que todas las poblaciones que forman los grupos I y III fueron de color negro, estando separadas solo por su tamaño y peso de grano, localizándose en el grupo I las poblaciones de mayor tamaño y peso de grano, mientras que en el grupo III se localizan las poblaciones de menor tamaño y peso de grano.

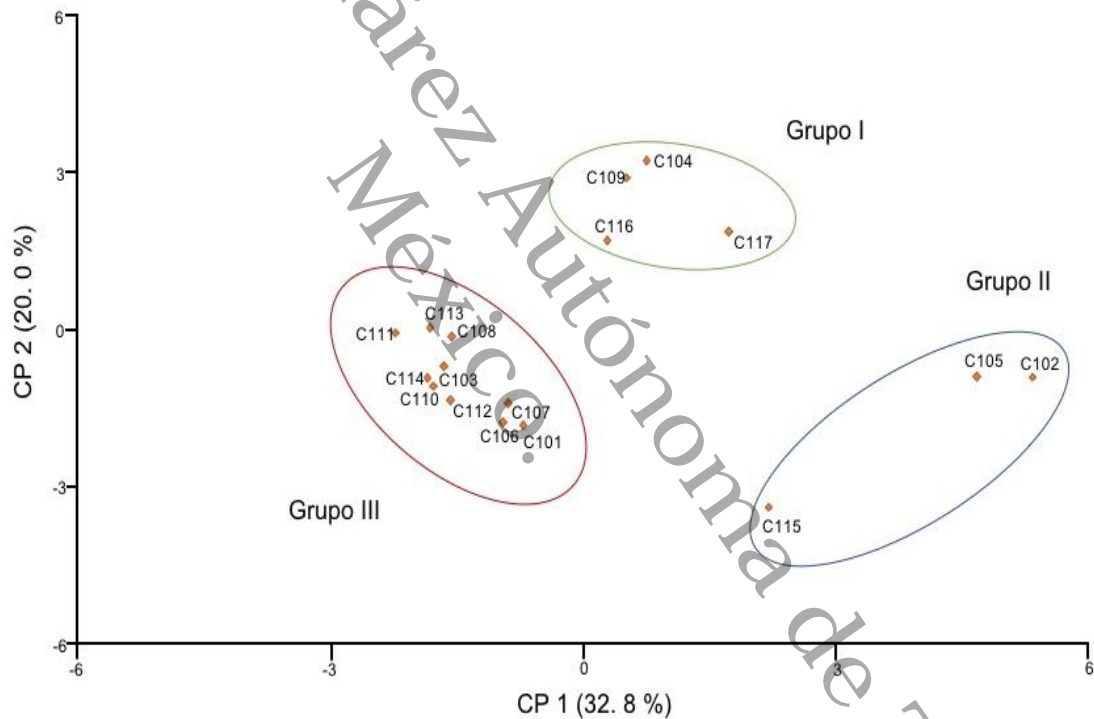
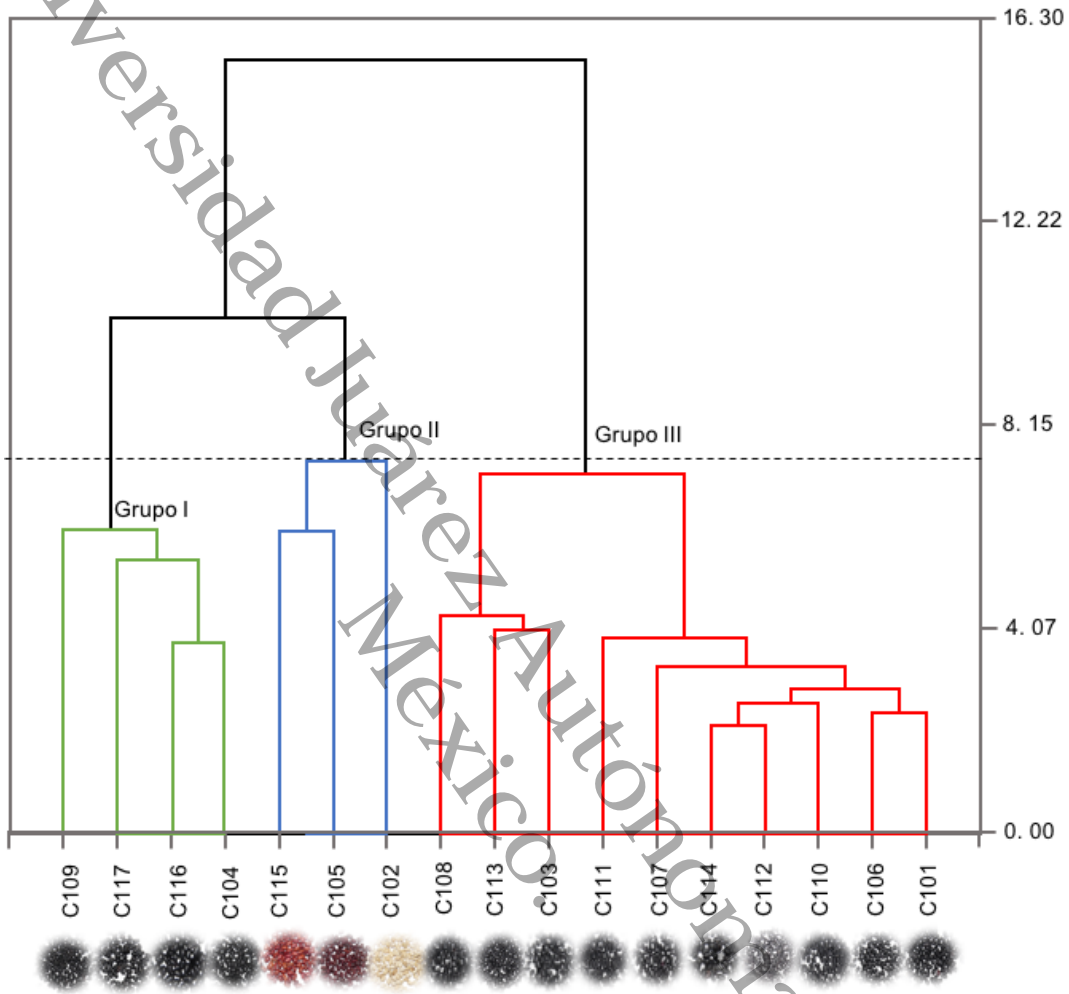


Figura 1. Distribución de 17 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en función de los componentes principales 1 y 2.

El análisis de conglomerados (Figura 2), agrupó a las 17 poblaciones, en tres grupos a una distancia euclidiana de 8.00 unidades. El grupo I se encuentra integrado por cuatro poblaciones de color negro con los mayores tamaños de grano (ancho, grosor y longitud), contenido de flavonoides, capacidad antioxidante y grasa (Tabla 3). En el grupo II se encuentran las poblaciones C115, C105 y C102 que presentan colores diferentes del negro, además de los mayores pesos de 100 granos, contenido de proteína y fibra cruda. Mientras que el grupo III se caracteriza por tener a las 10 poblaciones de grano color negro y, menor tamaño y peso de 100 granos. De acuerdo con la clasificación propuesta por Singh *et al.* (1991a, b) que considera como granos pequeños a los que pesan menos de 25 g, medianos entre 25 a 40 g, y grandes a los que superan 40 g; todas las poblaciones tienen granos pequeños, ya que los pesos de 100 granos oscilaron entre 19.52 y 21.97 g; aunque los valores encontrados se encuentran entre los valores de 14.83 y 33.09 g por 100 granos reportados para frijoles criollos del estado de Tabasco (Lagunes-Espinosa *et al.*, 2008). Por el peso y la forma del grano de las poblaciones, que se consideran como pequeños y las formas que varían de oval, redonda a arriñonada, los granos de las poblaciones se asemejan más fenotípicamente a granos de la raza Mesomaericana (Espinosa-Pérez *et al.*, 2015).

Figura 2. Dendrograma de agrupamiento de 17 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de la Región Grijalva del estado de Tabasco.



De acuerdo con el color del grano las poblaciones de granos con color negro se agruparon en los grupos I y II, mientras que las poblaciones con colores de grano diferentes formaron el grupo II (Figura 2). La mayor proporción de poblaciones de color negro (82.4 %) con respecto a las poblaciones de otros colores de grano se puede deber a que en el sureste de México se prefiere consumir frijoles de color negro (Rodríguez-Licea *et al.*, 2010). Con respecto al color se encontró que las poblaciones

del grupo II tuvieron los mayores valores de luminosidad, tendencia al rojo, índice de saturación y luminosidad (Tabla 3), mientras que los menores valores los tuvieron las poblaciones de color negro de los grupos I y III; los menores valores de las poblaciones de los grupos I y III es consistente con su color más oscuro y coincide con los valores reportados para estos parámetro por Chávez-Mendoza *et al.* (2019) para variedades de frijol de diferentes regiones de México. Además, indica que las poblaciones del grupo I tiene más coloración amarillo rojiza, mientras que las del grupo II tienden más al azul rojizo, lo que concuerda con lo reportado por Salinas-Moreno *et al.* (2005). Con respecto, a la cromaticidad los menores valores de las poblaciones de granos de color negro de los grupos I y III indica colores con tonos grises y opacos, mientras que el mayor valor de las poblaciones del grupo II indica que tienen colores más intensos o vivos, lo que coincide con Chavez-Mendoza *et al.* (2019) quienes reportan los menores valores de cromaticidad en frijoles de color negro y los mayores valores en frijoles de color de grano diferente del negro, lo que se refuerza con lo reportado por Salinas-Moreno *et al.* (2005) quienes indican que los frijoles de color negro presentan valores muy bajos de croma.

Para el contenido de flavonoides los contenidos de los grupos I y II fueron estadísticamente iguales, mientras que el contenido de flavonoides del grupo III fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$); en tanto que la capacidad antioxidante no se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos, pero presentaron mayor capacidad antioxidante las poblaciones del grupo I. La mayor capacidad antioxidante y contenido de fenoles del grupo I coincide con Aquino-Bolaños *et al.* (2016) quienes indican que las poblaciones de frijol que tuvieron mayor contenido de fenoles, también

presentaron la mayor capacidad antioxidante. Con respecto, a la actividad antioxidante los valores de los tres grupos de poblaciones son superiores a la capacidad antioxidante del 54.6 % para frijol negro bola reportado por Armendáriz-Fernández *et al.* (2019). Al respecto, Salinas-Moreno *et al.* (2005) reportan que la capacidad antioxidante está relacionada con compuestos que dan color a la cubierta de la semilla e indica que el color rojo y negro en la cubierta de la semilla son los portadores de los valores más altos de esta variable. Lo que coincide con lo encontrado en el presente trabajo, debido a que las poblaciones de los grupos I y II de color negro tuvieron la mayor capacidad antioxidante.

La presencia de antocianinas en el grano de frijol negro, lo hace un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales. Al respecto, se observa que las poblaciones de granos de color negro de los grupos I y II tuvieron el mayor contenido, mientras que las poblaciones del grupo II con frijoles de colores tuvieron el menor contenido. Para proteína y fibra cruda las poblaciones del grupo II tuvieron los mayores contenidos. Los contenidos de proteínas encontrados entre 21.97 y 24.66 % se encuentran dentro de los valores de 13 a 33 % de proteína indicados por Ulloa *et al.* (2011) para diferentes tipos de frijol, además de que están dentro de los valores de 21.5 y 26.6 % de proteína para frijoles del estado de Oaxaca reportados por Armendáriz-Fernández *et al.* (2019).

CONCLUSIONES

Se encontró variabilidad en las poblaciones de frijol común del estado de Tabasco, el mayor porcentaje de poblaciones (82.4 %) fueron de grano de color negro. El análisis de componentes principales indica que la mayor variabilidad de las poblaciones la explican las variables de forma del grano, color y contenido de fibra. La diversidad de las poblaciones se agrupó en tres grupos, dos con granos de color negro (grupo I y III), el primero con los granos más pesados y el segundo con los granos de menor peso; mientras que el grupo II incluyó poblaciones con granos de color. La variabilidad en color de grano, peso y características fisicoquímicas de los granos de las poblaciones de frijol común de la Región Grijalva del estado de Tabasco, indica que constituyen un recurso genético que amerita ser estudiado, para conocer sus usos potenciales.

REFERENCIAS

- Aquino-Bolaños, E.N., García-Díaz, Y.D., Chavez-Servia, J.S., Carrillo-Rodríguez, J.C., Vera-Guzmán, A.M., y Heredia-García, E. 2016. Anthocyanin, polyphenol, and flavonoid contents and antioxidant activity in Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. Emirates Journal of Food and Agriculture. 28(8): 581-588.
- AOAC. 2010. Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemist., 21st Edition. AOAC: Oakville. Volume 1. Washington, D.C.
- Armendáriz-Fernández, K.V., Herrera-Hernández, I.M., Muñoz-Márquez E. y Sánchez, E. 2019. Characterization of bioactive compounds, mineral content, and antioxidant activity in bean varieties grown with traditional methods in Oaxaca, Mexico. Antioxidants. 8(1): 26. Doi:10.3390/antiox8010026.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology. 28: 25-30.
- Calvo, N.I.R., Echeverría, H.E., y Rozas, H. S. 2008. Composición de métodos de terminación de nitrógeno y azufre en planta: implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. Ciencia del suelo. 26(2):161-167.
- Chávez-Mendoza, C., Hernández-Figueroa, K.I., y Sánchez, E. 2019. Antioxidant capacity and phytonutrient content in the seed coat and cotyledon of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from various regions in Mexico. Antioxidants. 8(1): 5. Doi: 10.3390/antiox8010005.

- Chávez-Servia, J.L., Collado-Panduro, L.A. y Pinedo-Ramírez, R. 2004. Conservación o pérdida del valor de las variedades locales de los cultivos Amazónicos. En: Problema agrario en beate. Seminario Permanente de Investigación Agraria. SEPIA X. Eguren, F., Remy, M.I., y Oliart, P. (Eds.). pp 503-537. Perú.
- Da Silva, E.M., Correia, A.S.A., López, A.A., Nóbrega, H.G.M., Ganança, J.F.T., Dominguez, A.M., Khadem, M., Slaski, J.J. y De Carvalho, M.A.A.P. 2010. Phyto geographical origin of Madeiran common beans based on *phaseolin* patterns. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 45(8): 1-9.
- Delgado, A. y Gama, L.S. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. Revista Digital Universitaria 16(2): 1-11.
- Espinosa-Pérez, E.N., Ramírez-Vallejo, P., Crosby-Galván, M.M., Estrada-Gómez, J.A., Lucas-Florentino, B. y Chávez-Servía, J. 2015. Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del centro-sur de México por morfología de semilla. Revista Fitotecnia Mexicana. 29(1): 29-38.
- Hernández-Delgado, S., Muruaga-Martínez, J.S., Vargas-Vázquez, M.L.P., Martínez-Mondragón, J., Chávez-Servia, J.L., Gill-Langarica, H.R. y Mayek-Pérez, N. 2015. Molecular approaches to genetic diversity. In: Molecular approaches to genetic diversity. Caliskan, M., Kavaklı, H. y Cevahir Oz G (Eds.). IntechOpen. pp 47-73. United Kingdom.
- Iniestra-González, J.J. Ibarra-Pérez, F.J., Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzmán, N.E. y González-Laredon, Y.R.F. 2005. Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Agrociencia. 39: 603–610.

- Kaiser, H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 20:141-151.
- Lagunes-Espinosa, L.C., Gallardo-López, F., Becerril-Hernández, H. y Bolaños-Aguilar, E.D. 2008. Diversidad cultivada y sistema de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 14(1): 13-21.
- Latournerie, L., Arias, L.M., Barrios, O., Pinedo, R., Fernández, L. y Tun, J.M. 2009. Diversidad en los cultivos tradicionales conservados por los agricultores. En: ¿Cómo conservan los agricultores sus semillas en el trópico húmedo de Cuba, México y Perú? Experiencias de un proyecto de investigación en sistemas informales de semillas de chile, frijoles y maíz. Hermann, M., Amaya, K., Latournerie, L., y Castiñeiras, L. (eds). Bioersity International. pp 47-59. Roma, Italia.
- López, J.A. e Hidalgo, M.D. 1994. Análisis de componentes principales y análisis factorial. En: Fundamentos de estadística con Systat. Ato, M. y López, J.J. (eds.). Addison Wesley Iberoamericana. pp: 457-503. España.
- Meza-Vázquez, K.E., Lépez-Ildefonso, R., López-Alcocer, J.J. y Morales-Rivera, M.M. 2015. Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (*Phaseolus*). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(1): 17-28.
- Norma Oficial Mexicana NOM-F-90-S-1978, Determinación de fibra cruda en alimentos. [Consultado 10 julio 2019] 1978. Disponible en: http://www.diariooficial.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=206605&pagina=4&seccion=0

- Peña, V.C.B., Aguirre, R.R. y Arroyo, P.V.B. 2012. El frijol silvestre. síndrome de domesticación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. 206p.
- Pérez-Herrera, P., Esquivel-Esquivel, G., Rosales-Serna, R. y Acosta-Gallegos, A. 2002. Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. Archivos Latino Americanos Nutrition. 52: 172–180.
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J.A., Rebollar-Rebollar, S. y Cruz-Contreras, A.C. 2010. Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. Paradigma Económico. 2(1): 121-145.
- Rosales, R.S., Hernández, M., González, J.A., Acosta-Gallegos, J.A. y Mayek, N. 2005. Genetic relationships and diversity revealed by AFLP markers in Mexican common bean bred cultivars. Crop Science. 45: 1951-1957.
- Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E., y Pérez-Herrera, P. 2005. Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. Agrociencia. 39(3): 385-394.
- Singh, S.P., Gepts P. y Debouck D.G. 1991a. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Economic Botany. 45:379-396.
- Singh, S.P., Gutierrez, J.A. Molina, A. Urea, C. y Gepts, P. 1991b. Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker based analysis of morphological and agronomic traits. Crop Science. 31:23-29
- Sinkovic, L., Pipan, B., Sinkovic, E. y Meglic, V. 2019. Morphological seed characterization of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and runner (*Phaseolus*

- coccineus* L.). Bean Germplasm: A Slovenian Gene Bank Example. BioMed Research International. ID 6376948. Doi: 10.1155/2019/6376948.
- Ulloa, J.A., Rosas, U.P., Ramírez, R.J.C. y Ulloa, R.B.E. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Revista Fuente 3(8): 5-9.
- Vargas, V.M.L.P, Muruaga, M.J.S., Lépiz, I.R. y Pérez, G.A. 2012. La colección INIFAP de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) I. Distribución geográfica de sitios de colecta. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(6): 1247-1259.
- Vidal-Barahona, A., Lagunes-Espinoza, L.C., Valadez-Moctezuma, E. y Ortiz-García, C.F. 2006. Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 29(4): 273-281.
- Wrolstad, R.E. 1993. Color and pigment analyses in fruit products. agricultural experiment station Oregon state university; Vol. 264. Oregon, USA.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry. 64: 555-559.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**CAPÍTULO II. MINERAL CONTENT AND BIOACTIVE
COMPOUNDS OF COMMON BEAN VARIETIES GROWN IN
THE HUMID TROPICS OF TABASCO, MEXICO**

**Mineral Content and Bioactive Compounds of Common Bean Varieties Grown
in the Humid Tropics of Tabasco, Mexico**

Felson Florvil¹, César Márquez-Quiroz^{1*}, Efraín de la Cruz-Lázaro¹, Rodolfo
Osorio-Osorio¹, Esteban Sánchez-Chávez²

¹Maestría en Ciencias Agroalimentarias, División Académica de Ciencias
Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Centro,
Tabasco, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Delicias.
Delicias, Chihuahua, México.

*Corresponding Author: César Márquez-Quiroz. Email:
cesar_quiroz23@hotmail.com.

ABSTRACT

The common bean is the most important grain legume for human consumption. The objective of this research work was to determine the mineral content and bioactive compounds in the grain of common bean collections grown in the humid tropics of the state of Tabasco, Mexico. Grain samples were analyzed for mineral content (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Ni), proximal bromatological analysis (protein, crude fiber, crude fat and ash) and content of bioactive compounds (total phenols, flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity). Of the 18 representative collections, eight had the most outstanding individual values of the measurements made. Collections C104, C111 and C102 recorded the highest content of ash (5.03 %), crude fat (1.90 %) and crude fiber (2.93 %) respectively, while the C115 collection recorded the highest content of nitrogen (4.24 %) and crude protein (26.43 %), and the C117 collection recorded the highest content of iron (83.17 mg kg⁻¹) and zinc (38.75 mg kg⁻¹). Collections C104, C109, C113 and C112 recorded the highest concentration of total phenols (55.45 mg GA g⁻¹), flavonoids (1.45 mgCE g⁻¹), anthocyanins (2.87 mg C3G g⁻¹) and antioxidant capacity (91.05 %) respectively. Conclusions: The eight outstanding collections can be considered for inclusion in a biofortification program, and thus improve the food and nutritional security of the urban and rural population of the state of Tabasco, Mexico.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; biofortification; iron; food and nutritional security; zinc

1- INTRODUCTION

The common bean is a legume produced all over the world. Humans can consume the immature pods and dry grains. In Mexico, it is the second staple food in the country's gastronomy, after corn [30], constituting a source of protein, dietary fiber, carbohydrates, vitamins, minerals and bioactive compounds in the human diet [35, 15, 9]. Its production comes largely from criollo (native) genotypes and improved varieties, but it is not evenly distributed throughout the national territory. By 2018, 1.67 million hectares were planted with an average yield of 0.75 t ha⁻¹ [32]. In recent years, consumption of this legume in Mexico has decreased; while in 1994 *per capita* consumption was 15 kg, in 2017 it was 10.2 kg [32].

The bean seed coat (testa) contains antioxidants, flavonoids, and anthocyanins, among other compounds, which have beneficial anti-cancer, antitumor, and anti-inflammatory properties, among others [26]. Several studies have shown that the intake of this food can help prevent cardiovascular disease and different types of cancer [23, 1, 22]. Similarly, bean grains contain polyphenolic compounds and fibers, which have antioxidant properties and facilitate the transit of food in the intestine respectively [12].

Minerals play an important role in many biochemical processes, helping to synthesize molecules of physiological importance that participate in metabolism. The lack of them can cause health problems in animals and humans [18]. Searching for high mineral content cultivars is thus fundamental. In general, there is little literature on the characterization of the mineral content and bioactive compounds of the common bean produced in the humid tropics and the results obtained from other studies are mainly focused on the characterization of beans produced in central Mexico, therefore, the aim of this research work was to characterize the mineral content and bioactive compounds of common bean grown in the state of Tabasco.

2- MATERIALS AND METHODS

2.1. Description of the Study Area

The state of Tabasco is located on the coastal plain of the Gulf of Mexico. It covers 24,738 km², representing 1.3 % of the national territory [28]. The bean collections were made in the state of Tabasco, in the municipalities of Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa de Méndez, Nacajuca, Macuspana, Tacotalpa, Teapa and Paraíso.

2.2. Collection of Samples

Collections were carried out from March to June 2018, according to the SEDAFOF producers' register, collecting one kilogram of bean grain in each locality (Table 1).

2.3. Grain Analysis

Grain samples were analyzed for mineral content (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Ni), physicochemical properties (protein, crude fiber, crude fat and ash) and content of bioactive compounds (total phenols, flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity).

2.3.1. Mineral Content

For the micronutrient analysis, one hundred grains per bean collection were pulverized in a mill (Krupps, Model GX4100). The samples were analyzed in triplicate. The nitrogen (N) content was determined with the Flash 2000 elemental analyzer (Thermo Scientific), which works under the Dumas method. On the other hand, phosphorus (P) content was determined by the ammonium metavanadate method (NH₄VO₃). Aliquots were taken from the Corning tubes containing the concentrated digested samples. In a tube, 0.5 mL of sample and 1 mL of phosphorus reagent were added, as well as 3.5 mL of tri-distilled water. They were stirred and left to stand for 1 h. They were then read on a visible light spectrophotometer (Jenway 6405 UV-vis, Jenway, Staffordshire, UK) at an absorbance of 430 nm.

Calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn) and nickel (Ni) were determined using the tri-acid mixture method and the atomic absorption spectrophotometry method [14]. To start the digestion procedure, 1 g of sample was placed inside a flow cabinet with 25 mL of a triacid solution (nitric acid, hydrochloric acid and sulfuric acid). The samples were covered and then the digestion

process was carried out for one hour. At the end of the digestion process, the concentrations of macro and micronutrients contained in each of the bean collections were measured in atomic absorption equipment (AAS, iCE 3000 series, Thermo Scientific®, Franklin, MA, USA), which was adjusted according to each of the minerals analyzed.

2.3.2. Proximal Bromatological Analysis

2.3.2.1. Determination of Protein

First, 3 µg of sample was placed in a nickel capsule and then 9 µg of vanadium pentoxide (V₂O₅) was added. Subsequently, the capsules were introduced into the Flash 2000 equipment (Thermo Scientific), which works under the Dumas method [27]. The protein concentration was expressed as a percentage (%).

2.3.2.2. Determination of Fat

Fat levels in bean samples were determined using the Goldfish method [2]. Goldfish flasks were prepared by drying them in a stove until constant weight. The LABCONCO equipment was assembled and the sample was placed inside filter papers, covered with cotton and introduced into the equipment. The solvent (petroleum ether) was added and left in reflux for 2.5 h. After the extraction was finished, the solvent was recovered by distillation, leaving only the fat in the flask. Finally, the flask was weighed with the residue and the percentage of fat was determined according to the Mexican Standard [21]. The results are shown in percentages (%).

2.3.2.3. Determination of Crude Fiber

Crude fiber was determined according to the Official Mexican Standard [19]. This determination was made from samples that were previously degreased. The samples were weighed and the value recorded; each sample was transferred to the vessels for fiber and 200 mL of 1.25 % sulfuric acid (H₂SO₄) was added, with 1 mL of isoamyl alcohol as an antifoam. The mixture was left to boil for 30 minutes. Afterwards, rinses were made to remove the acid and isoamyl alcohol residues and at the same time neutralize the mixture. Next, 200 mL of 1.25 % sodium hydroxide (NaOH) was added to each sample, which was then boiled for 30 minutes. At the end, rinses were made in fiberglass to reach neutrality. Subsequently, the fiberglass with sample was placed in the capsule and introduced into a stove. It was left to dry for 12 hours to ensure that the

sample was perfectly dry. After drying, the capsule with the fiberglass and sample was weighed, and the percentage of fiber contained in each sample was determined by weight difference.

2.3.2.4. Determination of Ash

Ash content was determined according to the Mexican Standard [20]. In a constant weight crucible, 1 g of sample was weighed in duplicate for each collection, introduced into a desiccator and then placed in a muffle (Felisa) at a temperature of 600 ° C, carbonizing the samples until reaching calcination. The results were expressed as a percentage (%).

2.3.3. Content of Bioactive Compounds

2.3.3.1. Determination of Total Phenols

Total phenols were determined using the Singleton and Rossi method [34]. For this, 1 g of ground bean sample was weighed, then 2.5 mL of methanol and 1.25 mL of 2 % NaCl solution were added, followed by 750 µL of 2 % Na₂CO₃ and 250 µL of 50 % Folin-Ciocalteu reagent. Next, 1375 µL of deionized water was added, along with 250 µL of extract. It was left to stand in the dark for 60 minutes at room temperature and read at an absorbance of 725 nm in spectrophotometry equipment. Results for total phenols were expressed in mg of gallic acid per gram of sample (mg GA g⁻¹ extract).

2.3.3.2. Determination of Flavonoids

Flavonoid content was determined using the method described by Zhishen et al. [39], for which 0.5 g of flour was taken, homogenized with 5 mL of methanol and then centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes at 4 °C. Then the reaction mixture was created by putting 250 µL of the aliquot in a test tube and adding 75 µL of NaNO₂, after which it was stirred and left to stand for 5 minutes. Next, 150 µL of AlCl₃ and 500 µL of NaOH were added to the mixture, diluting to a final volume of 2.025 mL of water. Absorbance was measured by spectrophotometry at 510 nm. The results are shown in mg catechin equivalents per gram per sample (mg CE g⁻¹).

2.3.3.3. Determination of Anthocyanins

The differential pH method described by Wrolstad [38] was used to determine the anthocyanin content. The anthocyanins of the dry bean grain material in flour were extracted with methanol, for which 0.5 g of flour was taken, homogenized with 5 mL of methanol and then centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes at 4 °C. The reaction mixture consisted of 2 phases: Phase 1, 0.5 mL of aliquot was placed in a test tube and 2 mL of potassium chloride was added. Absorbance was measured by spectrophotometry at 460 nm. In phase 2, 0.5 mL of aliquot and 2 mL of sodium acetate were placed in a test tube. Absorbance was measured by spectrophotometry at 710 nm. It was adjusted with an 80 % methanol blank. The results are shown in mg Cyanidin-3-glucoside per gram of sample (mg C3G g⁻¹ flour).

2.3.3.4. Determination of Antioxidant Capacity

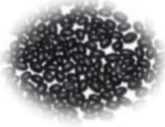

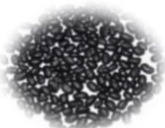




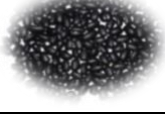
Antioxidant capacity was determined using the method described by Brand-Williams et al. [4]. For this purpose, 1 g of bean flour homogenized with 5 mL of 80 % methanol was taken, then centrifuged at 6000 rpm for 10 minutes at 4 °C. Next, 0.5 g of the centrifuge supernatant was taken and mixed with 2.5 mL of 0.1 DPPH solution. The mixture was incubated for 60 minutes in darkness and cold. Absorbance was measured by spectrophotometry at 517 nm. Antioxidant capacity is reported in percentages (%).

2.4. Statistical Analysis

The data obtained were subjected to an analysis of variance. The 95 % Tukey test was used to determine the difference between treatment means [31].

Table 1: Collections of common beans grown in the state of Tabasco, Mexico.

Collection	Origen (municipality)	Date obtained	Photo
C101	Huimanguillo	March 15, 2018	
C102	Tacotalpa	April 17, 2018	
C103	Centro	April 14, 2018	
C104	Nacajuca	May 08, 2018	
C105	Tacotalpa	April 17, 2018	
C106	Teapa	May 23, 2018	
C107	Jalapa	June 10, 2018	
C108	Jalapa	June 10, 2018	
C109	Huimanguillo	March 15, 2018	
C110	Teapa	May 23, 2018	

C111	Huimanguillo	March 15, 2018	
C112	Jalpa de Méndez	April 04, 2018	
C113	Huimanguillo	March 15, 2018	
C114	Tacotalpa	April 17, 2018	
C115	Jalapa	June 10, 2018	
C116	Comalcalco	May 11, 2018	
C117	Tacotalpa	April 17, 2018	
C118	Huimanguillo	March 15, 2018	

3- RESULTS

3.1. Proximal Bromatological Analysis

Bean grains have nutritional properties related mainly to the high content of proteins, minerals and some vitamins that contribute and participate in physiological processes [36]. Results obtained during the physicochemical analysis showed significant differences in the different bean collections. The values obtained are presented in Table 2, which indicate that ash content ranged between 4.17 and 5.03 %. The values obtained from the analysis of fat in beans ranged between 1.15 and 1.90 %. On the other hand, crude fiber content ranged between 1.75 and 2.93 %. In our study, crude protein content ranged from 19.63 to 26.43 %.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Table 2: Physicochemical properties of common bean collections grown in Tabasco, Mexico. Values with the same letter within columns are statistically equal based on the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Collections	Ash (%)	Crude fat (%)	Crude fiber (%)	Crude protein (%)
C101	4.50 ^{def}	1.70 ^c	2.04 ^k	22.21 ^{bcde}
C102	4.67 ^{bc}	1.53 ^e	2.93 ^a	24.84 ^{abc}
C103	4.65 ^{bcd}	1.43 ^f	2.13 ^j	19.63 ^e
C104	5.03 ^a	1.84 ^b	2.14 ^j	21.45 ^{bcde}
C105	4.38 ^{fg}	1.26 ⁱ	2.82 ^a	22.31 ^{bcde}
C106	4.55 ^{cde}	1.59 ^d	2.29 ^h	24.37 ^{abcd}
C107	4.27 ^{gh}	1.30 ^h	2.68 ^d	21.31 ^{cde}
C108	4.45 ^{ef}	1.15 ^j	1.80 ^m	22.24 ^{bcde}
C109	4.22 ^h	1.86 ^b	1.96 ^l	21.28 ^{cde}
C110	4.47 ^{ef}	1.26 ⁱ	2.22 ⁱ	20.92 ^{de}
C111	4.17 ^h	1.90 ^a	1.75 ⁿ	23.26 ^{abcde}
C112	4.47 ^{ef}	1.41 ^{fg}	2.31 ^{gh}	21.41 ^{bcde}
C113	4.67 ^{cd}	1.53 ^e	2.29 ^h	25.07 ^{abcd}
C114	4.55 ^{cde}	1.59 ^d	2.29 ^h	23.35 ^{abcd}
C115	4.45 ^{ef}	1.58 ^d	2.73 ^c	26.43 ^a
C116	4.19 ^h	1.38 ^g	2.34 ^{fg}	23.45 ^{abcd}
C117	4.40 ^{efg}	1.61 ^d	2.55 ^e	23.62 ^{abcd}
C118	4.78 ^b	1.38 ^g	2.37 ^f	25.11 ^{ab}

3.2. Mineral Content

3.2.1. Macronutrient Content

The results obtained for the content of macroelements showed significant difference for nitrogen, while for phosphorus, potassium, magnesium and calcium no significant difference was found among the common bean collections. The values are shown in Table 3; the N content ranged between 3.14 and 4.22 %. The P content ranged from 0.09 % to 0.17 %, while the content of K, Ca, and Mg ranged from 0.87 to 1.38 %, from 0.01 to 0.15 % and from 0.01 to 0.06 %, respectively.

Table 3: Macroelement content of common bean collections grown in Tabasco, Mexico. Values with the same letter within columns are statistically equal based on the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Collections	Nitrogen (%)	Phosphorous (%)	Potassium (%)	Calcium (%)	Magnesium (%)
C101	3.55 ^{bcde}	0.16 ^a	1.32 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a
C102	3.97 ^{abc}	0.15 ^a	1.20 ^a	0.07 ^a	0.02 ^a
C103	3.14 ^f	0.15 ^a	1.38 ^a	0.03 ^a	0.01 ^a
C104	3.43 ^{bcde}	0.11 ^a	1.28 ^a	0.06 ^a	0.01 ^a
C105	3.56 ^{bcde}	0.17 ^a	1.32 ^a	0.02 ^a	0.05 ^a
C106	3.89 ^{abcd}	0.14 ^a	1.18 ^a	0.07 ^a	0.01 ^a
C107	3.40 ^{cde}	0.12 ^a	1.16 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a
C108	3.55 ^{bcde}	0.12 ^a	1.13 ^a	0.03 ^a	0.01 ^a
C109	3.40 ^{cde}	0.15 ^a	1.18 ^a	0.15 ^a	0.01 ^a
C110	3.34 ^e	0.10 ^a	1.24 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a
C111	3.72 ^{abc}	0.11 ^a	0.87 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a
C112	3.42 ^{bcde}	0.09 ^a	1.13 ^a	0.07 ^a	0.01 ^a
C113	4.01 ^{ab}	0.11 ^a	1.20 ^a	0.01 ^a	0.06 ^a
C114	3.73 ^c	0.09 ^a	1.23 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a
C115	4.22 ^a	0.13 ^a	1.08 ^a	0.07 ^a	0.01 ^a
C116	3.75 ^{abcd}	0.13 ^a	1.20 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a
C117	3.77 ^{abcd}	0.09 ^a	1.13 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a
C118	4.01 ^{ab}	0.10 ^a	1.42 ^a	0.03 ^a	0.01 ^a

3.2.2. Micronutrient Concentration

The results obtained in terms of the content of microelements showed no significant difference for iron, zinc and copper, while for manganese and nickel significant differences were found among the common bean collections. Values are shown in Table 4. Fe content ranged from 60.77 to 83.17 mg kg⁻¹, while Zn content ranged from 28.24 to 38.75 mg kg⁻¹. On the other hand, Cu content ranged from 11.22 to 15.95 mg kg⁻¹, Mn content ranged from 5.21 to 13.4 mg kg⁻¹, and Ni content was between 0.81 and 1.5 mg kg⁻¹.

Table 4: Microelement content of common bean collections grown in Tabasco, Mexico. Values with the same letter within columns are statistically equal based on the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Collections	Iron (mg kg⁻¹)	Zinc (mg kg⁻¹)	Copper (mg kg⁻¹)	Manganese (mg kg⁻¹)	Nickel (mg kg⁻¹)
C101	75.67 _a	32.12 _a	12.04 _a	12.07 _{ab}	1.06 _{ab}
C102	79.89 _a	31.71 _a	12.12 _a	11.75 _{ab}	1.50 _a
C103	64.63 _a	33.84 _a	15.95 _a	8.07 _{bcd}	1.38 _{ab}
C104	70.55 _a	30.51 _a	11.22 _a	8.98 _{bcd}	1.22 _{ab}
C105	70.11 _a	36.01 _a	12.81 _a	12.00 _{ab}	1.38 _{ab}
C106	78.47 _a	31.63 _a	13.45 _a	8.67 _{bcd}	1.44 _a
C107	78.81 _a	36.93 _a	12.25 _a	9.26 _{bcd}	1.37 _{ab}
C108	63.53 _a	32.03 _a	14.25 _a	8.25 _{bcd}	1.21 _{ab}
C109	66.68 _a	29.24 _a	14.31 _a	10.11 _{abc}	1.19 _{ab}
C110	75.05 _a	30.94 _a	13.19 _a	7.48 _{cd}	1.05 _{ab}
C111	62.71 _a	29.23 _a	12.03 _a	5.21 _d	1.29 _{ab}
C112	71.15 _a	28.24 _a	13.50 _a	8.09 _{bcd}	1.27 _{ab}
C113	72.27 _a	28.93 _a	14.38 _a	9.64 _{bcd}	0.81 _b
C114	76.28 _a	34.22 _a	12.16 _a	13.47 _a	1.14 _{ab}
C115	60.77 _a	34.64 _a	12.72 _a	9.12 _{bcd}	1.28 _{ab}
C116	72.84 _a	36.86 _a	12.23 _a	9.99 _{abc}	1.28 _{ab}
C117	83.17 _a	38.75 _a	13.75 _a	11.37 _{abc}	1.45 _a
C118	72.38 _a	32.07 _a	11.94 _a	9.82 _{bcd}	1.34 _{ab}

3.3. Content of Bioactive Compounds

Results obtained from the bioactive compounds showed significant differences. The values are shown in Table 5, with the concentration of total phenols ranging from 3.87 to 55.45 mg GA g⁻¹ flour. On the other hand, flavonoid content ranged between 0.21 and 1.45 mg CE g⁻¹ flour. Nevertheless, collections with nutraceutical potential (high flavonoid content) in the seed were detected; these collections include C104, C109, C115, and C116. Anthocyanin content ranged from 0.51 to 2.87 mg C3G g⁻¹. In most cases, the anthocyanin content in the black beans in this study was higher than the content in the white bean collection. The antioxidant capacity of the 18 common bean collections obtained from the state of Tabasco ranged between 76.29 % and 91.05 %. The comparison of the phenolic, flavonoid and anthocyanin contents and antioxidant capacity in the seeds of each collection strongly associated pigmented seed with these characteristics, since they did not differ in the white bean collection.

Table 5: Content of bioactive compounds of common bean collections grown in Tabasco, Mexico. Values with the same letter within columns are statistically equal based on the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Collections	Total phenols (mg GA g ⁻¹)	Flavonoids (mg CE g ⁻¹)	Anthocyanins (mg C3G g ⁻¹)	Antioxidant capacity (%)
C101	3.87 _f	0.33 _{fg}	1.08 _{cd}	87.20 _{ab}
C102	6.04 _f	0.47 _{fg}	0.52 _d	72.88 _c
C103	10.68 _{cdef}	0.99 _{bcd}	1.56 _{abcd}	83.02 _{ab}
C104	55.45 _a	1.03 _{bcd}	1.42 _{bcd}	83.85 _{ab}
C105	13.32 _{bcdef}	0.94 _{bcde}	0.51 _{cd}	83.74 _{ab}
C106	14.76 _{bcdef}	0.34 _{fg}	0.92 _d	87.86 _{ab}
C107	12.42 _{cdef}	0.36 _{fg}	1.16 _{cd}	88.55 _a
C108	15.36 _{bcdef}	0.65 _{def}	2.77 _a	78.81 _{bc}
C109	9.35 _{def}	1.45 _a	0.72 _d	85.60 _{ab}
C110	12.10 _{cdef}	0.50 _{fg}	1.67 _{abcd}	88.50 _{ab}
C111	12.86 _{bcdef}	0.21 _g	2.27 _{abc}	86.02 _{ab}
C112	6.92 _{ef}	0.55 _{efg}	2.25 _{abc}	85.84 _{ab}
C113	20.00 _{bcde}	0.68 _{cdef}	2.87 _a	91.05 _a
C114	9.79 _{edf}	0.49 _{fg}	2.59 _{ab}	85.54 _{ab}
C115	23.83 _{bc}	1.07 _{abc}	1.05 _d	87.04 _{ab}
C116	26.36 _c	1.08 _{ab}	2.37 _{abc}	86.07 _{ab}
C117	19.92 _{bcde}	0.66 _{def}	0.54 _d	87.29 _{ab}
C118	21.75 _{bcd}	0.98 _{bcd}	1.70 _{abcd}	88.65 _a

4- DISCUSSION

4.1. Proximal Bromatological Analysis

Fernández-Valenciano and Sánchez-Chávez [8] found that the average ash content in common beans ranged between 2.53 and 4.36 %. Similarly, Velasco-González et al. [37] reported a 4.26 % average, so the results obtained in this research are within these parameters. The values obtained from the analysis of fat in beans are consistent with several studies having reported values between 0.48 and 2.23 % [8, 25, 11, 3]. On the other hand, the values obtained from the analysis of crude fiber content are consistent with the values obtained by Armendáris-Fernández et al. [3] and Herrera-Hernández et al. [11], who reported values ranging from 1.40 to 3.21 % and from 2.71 to 3.44 % respectively.

Grain legumes are widely recognized as important sources of proteins, in this sense, bean grains have nutritional properties related mainly to the high content of proteins, minerals and some vitamins that contribute and participate in physiological processes [36]. In many regions of the country, legume grains are the unique supply of protein in the diet. Our results resemble those reported by Ulloa et al. [36], who found crude protein content values in common beans of 14 to 33 %.

4.2. Mineral Content

4.2.1. Macronutrient Content

Nutritional deficiency causes disorders that mainly affect pregnant women and children; this deficiency is related to the population's diet and lack of food [16]. Legume seeds are an important source of minerals that provide 15 essential minerals required by humans, beans can provide 20 % of the adult requirement for P, Mg and Ca [6]. The values obtained in this work are consistent with those obtained by Armendáris-Fernández et al. [3], and Herrera-Hernández et al. [11], who obtained values of N between 3.40 and 4.20 % and 3.07 and 4.30 % respectively. In this sense, it has been observed that the N content in beans frequently ranges from 2.75 to 4.75 % (29). On the other hand, Armendáriz-Fernández et al. [3] and Espinoza-García et al. [6] obtained values between 0.01 to 0.17 %, 0.33 to 1.05 %, 0.08 to 1.42 % and 0.03 to 0.11 % for the content of P, K, Ca and Mg respectively.

4.2.2. Micronutrient Concentration

Fe is an essential micronutrient for plants and for humans, and it is a constituent of a number of important macromolecules, including those involved in respiration, photosynthesis, DNA synthesis, and metabolism [5]. Moreover, the Zn is an essential component of various dehydrogenases, proteases and peptidases [7]. In this regard, these microelements deficiency are a public health problem [24]. The values obtained in the present work are consistent with those reported by Herrera-Hernández et al. [11], Armendáriz-Fernández et al. [3] and Espinoza-García et al. [6], who obtained values ranging from 21.61 to 105.29 mg kg⁻¹, 6.74 to 48.18 mg kg⁻¹, 8.34 to 13.24 mg kg⁻¹, 5.41 to 38.54 mg kg⁻¹, and 2.03 to 10.4 mg kg⁻¹ % for the content of Fe, Zn, Cu, Mn and Ni respectively.

4.3. Content of Bioactive Compounds

Phenolic compounds contribute to the overall antioxidant activities of plant foods. The values obtained in the present work are consistent with those reported by Luthria and Pastor-Corrales [17], Armendáriz-Fernández et al. [3] and García-Díaz et al. [10], who obtained values between 0.19 and 0.48 mg GA g⁻¹ flour, 19.75 and 221.48 mg GA g⁻¹ flour, and 1.0 and 180.5 mg GA g⁻¹ dry weight, respectively. The differences between current results and previous report may be attributed to the differences in the sources of the samples. On the other hand, Herrera-Hernández et al. [11] reported flavonoid levels from 0.33 to 2.18 mg CE g⁻¹ flour. Flavonoids presence influences the flavor and color of common beans, and growing location and postharvest storage might contribute to the variations in flavonoid content. Jaffé [13] suggested that there may be an inverse relationship between protein digestibility and seed coat color. The anthocyanin values obtained in the present work are consistent with those reported by García-Díaz et al. [10] and Armendáriz-Fernández et al. [3], who obtained values ranging from 0.01 to 6.76 mg C3G g⁻¹ flour, and from 0.39 to 2.33 mg C3G g⁻¹ flour, respectively.

Antioxidants are compounds found in food and have positive health effects because of its potential to protect humans against reactive oxygen species [33]. Previous studies report radical inhibition values of between 15.23 % and 80.62 % [11]. In this sense, the antioxidant capacity may depend on the abundance of metal ions

required in small quantities by humans, they will act as cofactors of enzymes, transcription factors and signaling proteins [40].

5- CONCLUSIONS

Of the 18 collections representative of the state of Tabasco, Mexico, eight presented the most outstanding individual values of the measurements made. Collections C104, C111 and C102 recorded the highest content of ash (5.03 %), crude fat (1.90 %) and crude fiber (2.93 %) respectively, while collection C115 recorded the highest content of nitrogen (4.24 %) and crude protein (26.43%), and collection C117 had the highest content of iron (83.17 mg kg⁻¹) and zinc (38.75 mg kg⁻¹). On the other hand, collections C104, C109, C113 and C112 recorded the highest concentration of total phenols (55.45 mg GA g⁻¹), flavonoids (1.45 mg CE g⁻¹), anthocyanins (2.87 mg C3G g⁻¹) and antioxidant capacity (91.05 %) respectively. The eight outstanding collections can be considered for inclusion in a biofortification program, and thus improve the food and nutritional security of the urban and rural population of the state of Tabasco, Mexico.

Acknowledgements: The work of master student Felson Florvil has been supported by the grant from the “Becas Nacionales CONACYT” No. 639003.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

6- REFERENCES

1. Afshin, A., Micha, R., Khatibzadeh, S., Mozaffarian, D. (2014). Consumption of nuts and legumes and risk of incident ischemic heart disease, stroke, and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100, 278-288.
2. AOAC. (2002). (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Washington, D.C. USA. (Horwitz, W. Ed.). The Association of Official Analytical Chemists.
3. Armendáriz-Fernández, K. V., Herrera-Hernández, I. M., Muñoz-Márquez, E., Sánchez, E. (2019). Characterization of bioactive compounds, mineral content, and antioxidant activity in bean varieties grown with traditional methods in Oaxaca, Mexico. *Antioxidants*, 8, 26.
4. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
5. Briat, J. F. (2011). *The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*. In Iron nutrition and implications for biomass production and the nutritional quality of plant products. Wiley-Blackwell, p. 311-334.
6. Espinoza-García, N., Martínez-Martínez, R., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C. et al. (2016). Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39, 215-223.
7. Fageria, N. K., Baligar, V. C. (2005). *Nutrient availability*. In: Encyclopedia of Soils in the Environment (Hillel, D., ed.), Elsevier, Oxford, p. 63-71.
8. Fernández-Valenciano, A. F., Sánchez-Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9, 133-148.
9. Gálvez, A., Salinas, G. (2015). El papel del frijol en la salud nutrimental de la población mexicana. *Revista Digital Universitaria*, 16, 1-16.

10. García-Díaz, Y. D., Aquino-Bolaños, E. N., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C. (2018). Bioactive compounds and antioxidant activity in the common bean are influenced by cropping season and genotype. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, 255-265.
11. Herrera-Hernández, M. I., Armendáriz-Fernández, V. K., Muñoz-Márquez, E., Sida-Arreola, P. J., Sánchez, E. (2018). Characterization of bioactive compounds, mineral content and antioxidant capacity in bean varieties grown in semi-arid conditions in Zacatecas, Mexico. *Foods*, 7(12),199.
12. Iniestra-González, J. J., Ibarra-Pérez, F. J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. I., González-Laredo, R. F. (2005). Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia*, 39, 603-610.
13. Jaffé, W. G. (1950). Protein digestibility and trypsin inhibitor activity of legume seeds. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 75, 219-220.
14. Jones, J. B. J., Wolf, B., Mills, H. A. (1991). *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia. 213 p.
15. Juárez-López, B. A., Aparicio-Fernández, X. (2012). *Polyphenolics concentration and antiradical capacity of common bean varieties (Phaseolus vulgaris L.) after thermal treatment*. In: Food Science and Food Biotechnology Essentials: A Contemporary Perspective, (Nevárez-Moorillón, G. V., Ortega-Rivas, E., eds.), Asociación Mexicana de Ciencias de los Alimentos. A. C, Durango, Durango. México.
16. Latham, M. C. (2002). *Human nutrition in the developing world*. Spanish version. Food and Nutrition Series No. 29. FAO. Rome, Italy. 510 p.
17. Luthria, D. L., Pastor-Corrales, M. A. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 205-211.
18. Mathews, C. K., van Holde, K. E., Ahern, K. G. (2002). *Bioquímica*. 3a edición. ed. Pearson educación, Madrid, España.

19. NOM. (1978). *NOM-F-90-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos*. Norma Oficial Mexicana.
20. NORMEX. (2002). *NMX-F-607-NORMEX-2002. Alimentos-determinación de cenizas en alimentos -método de prueba*. Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación.
21. NORMEX. (2006). *NMX-F-427-NORMEX-2006. Alimentos-determinación de grasa (método gravimétrico por hidrólisis ácida)-método de prueba*. Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación.
22. Nouri, F., Sarrafzadegan, N., Mohammadifard, N., Sadeghi, M., Mansourian, M. (2015). Intake of legumes and the risk of cardiovascular disease: frailty modeling of a prospective cohort study in the Iranian middle-aged and older population. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 217.
23. Park, S.Y., Murphy, S. P., Wilkens, L. R., Henderson, B. E., Kolonel, L. N. (2008). Legume and isoflavone intake and prostate cancer risk: The multiethnic cohort study. *International Journal of Cancer*, 123, 927-932.
24. Pereira, E. J., Carvalho, L. M. J., Dellamora-Ortiz, G. M., Cardoso, F. S. N., Carvalho, J. L. V. et al. (2014). Effects of cooking methods on the iron and zinc contents in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. *Food & Nutrition Research*, 58, 20694.
25. Pliego-Marín, L., López-Baltazar, J., Aragón-Robles, E. (2013). Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(Pub. Esp.6), 1107-1209.
26. Prior, R. L., Wu, X. (2006). Anthocyanins: Structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. *Free Radical Research*, 40, 1014-1028.
27. Reussi-Calvo, N. I., Echeverría, H. E., Sainz-Rozas, H. (2008). Comparación de métodos de determinación de nitrógeno y azufre en planta: Implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. *Ciencia del Suelo*, 26, 161-167.
28. Ruiz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., Ontiveros-Capurata, R. E., López-López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28, 1-14.

29. Sánchez, E., Ruiz, J. M., Romero, L., Preciado-Rangel, P., Flores-Córdova, M. A. et al. (2018). ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5, 387-398.
30. Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallegos, J. A., Shwenstesius-de-Rinderman, R., Damián-Huato, M. A., Larqué-Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 363-380.
31. SAS Institute, L. (2018). *SAS(R) university edition: Quick start guide for students with visual impairments*. SAS Institute Inc, Cary. NC.
32. SIAP. (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. Primera edición. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/atlas-agroalimentario-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
33. Sida-Arreola, J., Sánchez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Ávila-Quezada, G. D., Flores-Córdova, M. A. et al. (2017). Can biofortification of zinc improve the antioxidant capacity and nutritional quality of beans? *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29, 237-241.
34. Singleton, V. L., Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
35. Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K. et al. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA - Journal of Food*, 14, 131-137.
36. Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., Ulloa-Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3, 5-9.
37. Velasco-González, O., Martín-Martínez, E. S., Aguilar-Méndez, M., Pajarito-Ravelero, A., Mora-Escobedo, R. (2013). Propiedades físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro*, 25, 161-166.

38. Wrolstad, R. E. (1993). *Color and pigment analyses in fruit products*. Agricultural Experiment Station Oregon State University.
39. Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559.
40. Zhu, C., Sanahuja, G., Yuan, D., Farré, G., Arjó, G. et al. (2013) Biofortification of plants with altered antioxidant content and composition: genetic engineering strategies. *Plant Biotechnology Journal*, 11, 129-141.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

V. CONCLUSIONES

Se encontró variabilidad en las poblaciones de frijol común cultivadas en la Región Grijalva del estado de Tabasco, el 82.4 % de las poblaciones fueron de grano de color negro, la mayor variabilidad de las poblaciones la explicaron las variables de forma del grano, color y contenido de fibra. La diversidad de las poblaciones se agrupó en tres grupos, dos con granos de color negro (grupo I y III), el primero con los granos más pesados y el segundo con los granos de menor peso; mientras que el grupo II incluyó poblaciones con granos de color. Las poblaciones de frijoles C102, C104, C109, C111, C113, C115 y C117 sobresalieron en el contenido fibra cruda, cenizas, contenido de flavonoides, grasa cruda, contenido de antocianinas, contenido de proteína y contenido de hierro, respectivamente. Por lo que son candidatos a ser incluidas en un programa de biofortificación para conocer sus usos potenciales.

VI. ANEXOS

Anexo A. Carta de recepción de los artículos enviados

[BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Dr. Enrique Márquez Ríos [biotecnia@ciencias.uson.mx]

Enviado: jueves, 29 de agosto de 2019 10:49 p.m.

Para: EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO

Dr. Efraín Universidad Juárez de la Cruz Lázaro:

Gracias por enviar el manuscrito, "Diversidad física y fisicoquímica de grano de poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Tabasco" a Biotecnia. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/author/submission/1062>

Nombre de usuario/a: eclazaro

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Enrique Márquez Ríos
Biotecnia
Biotecnia
Universidad de Sonora

Email secured by Check Point

wd: [phyton] Submission Acknowledgement

Recibidos

CÉSAR MÁRQUEZ-QUIROZ

lun., 16
sep. 20:29

para mi

Saludos cordiales,
César

From: noreply@tspsubmission.com <noreply@tspsubmission.com> on behalf of Phyton Editorial
<phyton@techscience.com>

Sent: Monday, September 16, 2019 8:28:24 PM

To: Dr. César Márquez-Quiroz <cesar_quiroz23@hotmail.com>

Subject: [phyton] Submission Acknowledgement

Dr. César Márquez-Quiroz:

Thank you for submitting the manuscript, "Mineral Content and Bioactive Compounds of Common Bean Varieties Grown in the Humid Tropics of Tabasco, Mexico" to Phyton, International Journal of Experimental Botany. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Submission

URL: <http://www.tspsubmission.com/index.php/phyton/authorDashboard/submission/8622>

Username: cesar_quiroz23

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Phyton Editorial

[Phyton, International Journal of Experimental Botany](#)

871 Coronado Center Drive,
Suite 200, Henderson, Nevada,
89052, USA

Tel: +1 702 673 0457

Fax: +1 844 635 2598

Email: phyton@techscience.com

Anexo B. Acervo fotográfico



a) Estancia académica en el Centro de investigación en alimentación y desarrollo A. C. Unidad Delicias, Chihuahua.



b) Determinación de fenoles



c) Determinación de antocianinas



d) Participación en el VII Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas.