

BIOFORTIFICACIÓN CON MICRONUTRIENTES EN FRIJOL

APROVECHAMIENTO DE
LA AGRODIVERSIDAD
EN MÉXICO

EDITORES

Esteban Sánchez Chávez
Luis Romero Monreal
Karla Ivonne Hernández Figueroa

BIOFORTIFICACIÓN CON MICRONUTRIENTES EN FRIJOL: APROVECHAMIENTO DE LA AGROBIODIVERSIDAD EN MÉXICO

EDITORES

Esteban Sánchez Chávez
Luis Romero Monreal
Karla Ivonne Hernández Figueroa

Título de la obra:

Biofortificación con micronutrientes en frijol:
Aprovechando de la agrobiodiversidad en México

Editores:

Esteban Sánchez Chávez
Luis Romero Monreal
Karla Ivonne Hernández Figueroa

Impresión:

Plácio Cuadros C/Gonzalos Gallas, 13
18003 Granada, España

Diseño de cubiertas:

Emilio Enrique Hernández Abundis

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del "copyright" o de los titulares de artículo o apartado correspondiente, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial esta obra por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluidos la reproducción, microfilmación, grabación y tratamiento, así como la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

ISBN 978-84-89720-24-4**DEPÓSITO LEGAL GR 1593-2018**

Copyright © 2018. Los autores. Todos los derechos reservados.

Tabla de Contenido

1	Caracterización nutricional de la biodiversidad de frijol en México con potencial a biofortificar con micronutrientes	
	1.1 Resumen.....	3
	1.2 Introducción.....	3
	1.3 Materiales y Métodos.....	4
	1.4 Resultados y Discusión.....	6
	1.5 Conclusiones.....	35
	1.6 Agradecimientos.....	36
	1.7 Bibliografía.....	36
2	Compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y propiedades fisicoquímicas de 155 variedades de frijol producidas en México	
	2.1 Resumen.....	41
	2.2 Introducción.....	41
	2.3 Resultados.....	42
	2.4 Discusión.....	48
	2.5 Materiales y Métodos.....	49
	2.6 Conclusiones.....	51
	2.7 Bibliografía.....	52
3	Capacidad antioxidante y fitonutrientes en respuesta al color de la testa en las diferentes variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	
	3.1 Resumen.....	57
	3.2 Introducción.....	57
	3.3 Resultados y Discusión.....	58
	3.4 Materiales y Métodos.....	67
	3.5 Conclusiones.....	70
	3.6 Bibliografía.....	71

4 Compuestos bioactivos, contenido mineral y actividad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Oaxaca, México

4.1 Resumen	75
4.2 Introducción	75
4.3 Materiales y Métodos	76
4.4 Resultados y Discusión	80
4.5 Conclusiones	90
4.6 Bibliografía	91

5 Compuestos bioactivos, contenido mineral y actividad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Zacatecas, México

5.1 Resumen.....	95
5.2 Introducción	95
5.3 Resultados y Discusión	96
5.4 Materiales y Métodos	108
5.5. Conclusiones	113
5.6 Bibliografía	113

6 El cultivo de frijol en el estado de Chihuahua: Importancia de un sistema de información geográfica

6.1 Introducción	119
6.2 Materiales y Métodos	119
6.3 Resultados y Discusión	124
6.4 Conclusiones	125
6.5 Bibliografía	126

7 Fertilización mineral con Zinc sobre la calidad nutricional y rendimiento en frijol Pinto Centauro

7.1 Introducción	129
7.2Objetivo general	129
7.3 Objetivos específicos.....	129
7.4 Hipótesis	129
7.5 Materiales y Métodos	129
7.6 Resultados y Discusión	130
7.7 Conclusiones	132

7.8 Bibliografía	133
------------------------	-----

8 Composición mineral y propiedades fisicoquímicas de seis variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la región Mixteca, Oaxaca.

8.1 Introducción	137
8.2 Materiales y Métodos	137
8.3 Resultados y Discusión	138
8.4 Conclusiones	141
8.5 Bibliografía	142

9 Biofortificación con micronutrientes en frijol: Aprovechamiento de la agrobiodiversidad

9.1 Resumen.....	147
9.2 Introducción.....	147
9.3 Materiales y Métodos	148
9.4 Resultados y Discusión.....	162
9.5 Conclusiones	170
9.6 Agradecimientos	170
9.7 Bibliografía	170

10 Variedades sobresalientes del proyecto “Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México”

10.1 23 Variedades de frijol sobresalientes desde el punto de vista mineral	181
10.2 23 Variedades de frijol sobresalientes en base a sus propiedades fisicoquímicas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	185

Anexos

Cuadro 1. Concentración de micronutrientes en las diferentes variedades de frijol recolectadas en México	185
Cuadro 2. Concentración de fisicoquímicos y compuestos bioactivos en diferentes variedades de frijol recolectadas en México	190
Resumen de perfil de aminoácidos y polifenoles	196
Perfil de aminoácidos.....	203
Perfil de polifenoles	286

Autores

Dr. Vicente de Paul Álvarez Reyna

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

Ing. Karen Vanesa Armendáriz Fernández

Universidad Tecnológica de Camargo campus Meoqui, Avenida Ignacio Zaragoza y Manuel Ojinaga. Cd. Meoqui, Chihuahua, México.

Ing. Araceli Elizabeth Benítez Silva

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

Ing. Martín Díaz García

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Km. 2.5 Carretera Delicias a Rosales C.P. 33000 Cd. Delicias, Chihuahua, México.

Dra. María Antonia Flores Córdova

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México

Ing. Mariana Isabel García Terrazas

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

Dr. Víctor Manuel Guerrero Prieto

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, V. Carranza y Escorza S/N Col. Centro 31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

Ing. Nayely Jazmín Gutiérrez Ruelas

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México

Ing. Karla Ivonne Hernández Figueroa

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias. Av. Cuarta Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. C.P. 33089. Delicias, Chihuahua. México.

Dra. Ofelia Adriana Hernández Rodríguez

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, V. Carranza y Escorza S/N Col. Centro 31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

Ing. Ibeth Marlene Herrera Hernández

Universidad Tecnológica de Camargo campus Meoqui, Avenida Ignacio Zaragoza y Manuel Ojinaga. Cd. Meoqui, Chihuahua, México.

Dr. Jorge Jiménez Castro

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, V. Carranza y Escorza S/N Col. Centro 31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

M.C. Lorena Patricia Licón Trillo

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Km. 2.5 Carretera Delicias a Rosales C.P. 33000 Cd. Delicias, Chihuahua, México.

M.C. Ezequiel Muñoz Márquez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.,
Avenida Cuarta Sur No. 3820
Fraccionamiento Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chihuahua, C.P. 33089, México.

Dra. Damaris Leopoldina Ojeda Barrios

Universidad Autónoma de Chihuahua,
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas,
V. Carranza y Escorza S/N Col. Centro
31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

Ing. Alejandro Palacio Márquez

Universidad Autónoma de Chihuahua,
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas,
V. Carranza y Escorza S/N Col. Centro
31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

M.C. Abdon Palacios Monarrez

Universidad Autónoma de Chihuahua,
Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Km. 2.5 Carretera Delicias a Rosales C.P. 33000 Cd. Delicias, Chihuahua, México.

Dr. Pablo Preciado Rangel

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

Ing. Iván Alejandro Rico Alderete

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.

Dr. Luis Romero Monreal

Universidad de Granada, Granada, España.

Dra. Nora Aidee Salas Salazar

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.

Dr. Esteban Sánchez Chávez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.,
Avenida Cuarta Sur No. 3820
Fraccionamiento Vencedores del Desierto. C.P. 33089, Delicias, Chihuahua, México.

Dr. Sida Arreola, Juan Pedro

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.,
Avenida Cuarta Sur No. 3820
Fraccionamiento Vencedores del Desierto. C.P. 33089, Delicias, Chihuahua, México.

Dr. Soto Parra, Juan Manuel

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México.

Prólogo

La presente obra tiene como objetivo fundamental dar a conocer los resultados de investigación del proyecto “Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México, así como, apoyar en el quehacer académico a los profesores universitarios, investigadores, estudiantes, asesores técnicos y productores en el área de Biofortificación con micronutrientes en frijol: Aprovechamiento de la agrobiodiversidad en México. Actualmente, más de 1,000 millones de personas en el mundo viven actualmente en la pobreza extrema, 840 millones de personas padecen malnutrición, 2 mil millones de personas padecen anemia por falta de hierro, y las deficiencias nutricionales continúan afectando la salud, el desarrollo corporal, la inteligencia y capacidades productivas de la población de escasos recursos económicos de muchos países de Asia, África, América Latina y México no es la excepción, en nuestro país existen 52 millones de personas pobres, de las cuales 11.7 millones se encuentran en condiciones de pobreza extrema; mientras que otros 28 millones de personas viven en condiciones de vulnerabilidad por carencia de acceso a la alimentación. En México, hay 1.8 millones de niños desnutridos y los estados con mayores problemas son Oaxaca, Chiapas, Puebla, Veracruz y el Estado de México, aunado a que más de 1.2 millones de niños de cinco años tienen talla baja y desnutrición, mientras que un 8% son afectados por la obesidad y el sobrepeso.

Se tienen avances sobresaliente por parte del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC (CIAD) en identificar los mecanismos para aumentar el contenido de Hierro, Zinc, Selenio, Nitrógeno (proteínas), fósforo y potasio en el grano del frijol común.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para el consumo humano en el mundo, ya que es una fuente de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales. La deficiencia de micronutrientes como Hierro (Fe), Zinc (Zn), Selenio (Se) y Iodo (I) es un problema de salud pública, que afecta a más de un tercio de la población mundial. La malnutrición por deficiencia de micronutrientes tiene grandes consecuencias socio-económicas. Esto da como resultado el aumento de la mortalidad, baja talla y desarrollo infantil y problemas de aprendizaje en bebés y niños. Además, provoca pérdida de la capacidad para trabajar en los adultos, lo cual a su vez disminuye o dificulta el crecimiento económico o induce a la pobreza. Lo anterior, ha sido ocasionado en parte, por la agricultura moderna que impulsa principalmente un mayor rendimiento a menor costo, sin darle importancia a la calidad nutricional de los cultivos. La biofortificación con micronutrientes de los cultivos básicos se presenta como una herramienta útil para combatir esta problemática, fitomejoramiento tradicional o fitomejoramiento asistido con biotecnología.

En el caso de México, el frijol se considera un cultivo estratégico para biofortificar con Fe y Zn, debido a que es un alimento importante de la canasta básica ya que de este cultivo se obtiene la proteína de origen vegetal más utilizada por los diferentes estratos sociales. Por otro lado, la producción de frijol en México para 2017 fue de 1,273,957 toneladas compitiendo con países como la India, Brasil, China y Estados Unidos, países que en conjunto aportan el 65% de la producción mundial. La superficie sembrada de frijol en el ciclo 2017 fue de 1 millón 428 mil hectáreas. Zacatecas, Durango, Chihuahua y San Luis Potosí aportaron el 76.4% de la producción nacional. De la producción obtenida, 38.7% fue de pintos, 33.9% de negros, 17.2% de

flores (mayo y junio), 8.8% de claros (azufrado, bayo, mayocoba, peruano y otros claros) y el restante 1.4% de otras variedades.

México es el país con la mayor diversidad de frijol, ya que se considera el centro de origen de 47 de las 52 especies clasificadas en el género *Phaseolus*. Sin embargo, hace falta realizar estudios profundos de las características fisicoquímicas, nutricionales y de compuestos bioactivos de las diferentes variedades de genotipos existentes en México. Por lo que este libro presenta la caracterización nutricional, fisicoquímica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la agrobiodiversidad del frijol en las principales regiones productoras de México y utilizar esta información, como base para el proceso de biofortificación de variedades seleccionadas de alto contenido nutricional en una segunda etapa de continuación del presente estudio, con la finalidad de mejorar los sistemas de producción, la seguridad alimentaria y nutrición en comunidades vulnerables del sector urbano y rural de México, y del mundo.

El frijol se considera un excelente medio para la biofortificación con micronutrientes y proteínas y puede este cultivo a ayudar a combatir la malnutrición de micronutrientes en México. La agrobiodiversidad en frijol, se considera un recurso nacional que se tiene que cuidar ya que es clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México.

Resultados del Proyecto 1529: "Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México".

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT - México)
aprobado en la Convocatoria de Atención a Problemas Nacionales.

Pinto Saltillo (1) Charco, Chihuahua	Pinto Saltillo (2) Charco, Chihuahua	Pinto Saltillo (3) Guerrero, Chihuahua	Negro 8025 (4) INIFAP, Durango	Pinto Bravo (5) INIFAP, Durango	Flor de Mayo ½ oreja (6) INIFAP, Durango	Pinto Libertad (7) INIFAP, Durango	Pinto Centauro (8) INIFAP, Durango	Negro San Luis (9) INIFAP, Durango
Pinto Saltillo (10) INIFAP, Durango	Pinto Centenario (12) INIFAP, Durango	Pinto Coloso (12) INIFAP, Durango	Higuera Azufrado (13) Guasave, Sinaloa	Moyocoa (14) Guasave, Sinaloa	Flor de Mayo (15) Tulancingo, Oaxaca	Rojo Enredador (16) Tulancingo, Oaxaca	Cuarenteno Bayo (17) Tulancingo, Oaxaca	Negro Criollo (18) Tulancingo, Oaxaca
Negro Bola (19) Canatlán, Durango	Pinto Americano (20) S.F. Conchos, Chihuahua	Pinto Satillo (21) Canatlán, Durango	Ojo de Cabra (22) S.F. Conchos, Chihuahua	Ojo de Cabra (23) S.F. Conchos, Chihuahua	Ojo de Cabra (24) Bocoyna, Chihuahua	Pinto Saltillo (25) Namiquipa, Chihuahua	Pinto Bravo (26) Canatlán, Durango	Pinto Canario (27) Canatlán, Durango
Pinto Saltillo (28) Guerrero, Chihuahua	Ojo de Cabra (29) Guerrero, Chihuahua	Negro V-6 (30a) San José de Las Lajas, Cuba	Negro V-7 (30b) San José de Las Lajas, Cuba	Frijol Strike (31) Texcoco, Estado de México	Pinto Saltillo (32) Namiquipa, Chihuahua	Pinto Saltillo (33) Batopilas, Chihuahua	Pinto Saltillo (34) Sombrerete, Zacatecas	Pinto Saltillo (35) Sombrerete, Zacatecas
Pinto Saltillo (36) Sombrerete, Zacatecas	Negro Bola (37) Sombrerete, Zacatecas	Negro Bola (38) Sombrerete, Zacatecas	Pinto Saltillo (39) Sombrerete, Zacatecas	Negro Orgánico (40) Atlixco, Puebla	Negro Jamapa (41) Teapa, Tabasco	Bayo (42) Teapa, Tabasco	Pelón Oscuro (43) Teapa, Tabasco	Pashate (44) Teapa, Tabasco
Blanco Pelón (45) Conkal, Yucatán	Negro (46) Conkal, Yucatán	Frijol Rosa Bayo (47) Conkal, Yucatán	Frijol Rojo (48) Conkal, Yucatán	Blanco Pelón (49) Motul, Yucatán	Frijol Rosa (50) Conkal, Yucatán	Negro Jamapa (51) Hidalgotitlan, Veracruz	Frijol Bayo (52) Hidalgotitlan, Veracruz	Negro Ix Pelón (53) Dzutoh, Yucatán
Frijol Mejenives (54) Dzutoh, Yucatán	Rojo Pentulillo (55) Dzutoh, Yucatán	Hibes Pinto (56) Dzutoh, Yucatán	X-Pelón (57) Dzutoh, Yucatán	Ojo de Jabalí (58) Dzutoh, Yucatán	Jamapa (59) Dzutoh, Yucatán	Oxo (60) Dzutoh, Yucatán	Tzamá (61) Dzutoh, Yucatán	Pentulillo Lenteja (62) Dzutoh, Yucatán
Pelón Rojo (63) Teapa, Tabasco	Pinto Saltillo (64) Cuauhtémoc, Chihuahua	Pinto (65) Hidalgotitlan, Veracruz	Pinto (66) Uruapán, Michoacán	Higuera Azufrado (67) Culiacán, Sinaloa	Flor de Mayo (68) Celaya, Guanajuato	Pinto Oscuro (69) Calera, Zacatecas	Negro (70) Calera, Zacatecas	Bayo (71) Calera, Zacatecas
Texano (72) Guadalajara, Jalisco	Azufrado (73) Guadalajara, Jalisco	Alubia (74) Guadalajara, Jalisco	Peruano Bola (75) Guadalajara, Jalisco	Flor de Junio (76) Guadalajara, Jalisco	Peruano Higuera (77) Guadalajara, Jalisco	Negro (78) Guadalajara, Jalisco	Chicharo (79) Guadalajara, Jalisco	Escumite / Teparí (80) Mapastepec, Chiapas
Negro (81) Mapastepec, Chiapas	Frijol Silvestre (82) Cuauhtémoc, Chihuahua	Amarillo (83) Tuxtepec, Oaxaca	Negro Guaca (84) Tuxtepec, Oaxaca	Rojo Mayo (85) Tuxtepec, Oaxaca	Blanco Bola (86) Tuxtepec, Oaxaca	Negro (87) Tuxtepec, Oaxaca	Mantequilla (88) Atlixco, Puebla	Negro Michigan (89) Atlixco, Puebla
Ayocote Amarillo (90) Atlixco, Puebla	Amarillo Abolado (91) Atlixco, Puebla	Alubia (92) Atlixco, Puebla	Frijol Cacahuete (93) Atlixco, Puebla	Ayocote Oscuro (94) Atlixco, Puebla	Jaracho (95) Atlixco, Puebla	Bordales (96) Guachochi, Chihuahua	Pinto Saltillo (97) Namiquipa, Chihuahua	Sangre de Toro (98) Tlayacapan, Morelos
Negro (99) Dzutoh, Yucatán	Peruano (100) Cuautla, Morelos	Flor de Mayo (101) Cuautla, Morelos	Negro (102) Cuautla, Morelos	Pinto (103) Cuautla, Morelos	Negro (104) Cuautla, Morelos	Patol (105) Canatlán, Durango	Flor de Mayo (106) Cuicatlan, Oaxaca	Frijol Michigan (107) Teotitlán, Oaxaca
Bayo Blanco (108) Cuicatlan, Oaxaca	Negro Grueso (109) Juchitlán, Oaxaca	Pinto (110) Juchitlán, Oaxaca	Negro Delgado (111) Tehuantepec, Oaxaca	Bayo (112) Tehuantepec, Oaxaca	Sangre de Toro (113) Tlaxiaco, Oaxaca	Frijolón Amarillo (114) Nochixtlán, Oaxaca	Blanco (115) Juxtlahuaca, Oaxaca	Negro Grueso (116) Coixtlahuaca, Oaxaca
Negro (117) Huajuapán de León, Oax.	Chivato Enredador (118) Teposcolula, Oaxaca	Blanco Alubia (119) Yautepec, Oaxaca	Negro Delgado (120) Sola de Vega, Oaxaca	Peruano (121) Miahuatlán, Oaxaca	Santanero / Santana (122) Juquila, Oaxaca	Biche / Costeño (123) Juquila, Oaxaca	Blanco Michigan (124) Pochutla, Oaxaca	Negro Grueso (125) Ixtlan, Oaxaca
Peruano Amarillo (126) Villa Alta, Oaxaca	Sangre de Toro (127) Villa Alta, Oaxaca	Bayo (128) Mixe, Oaxaca	Negro Bola (129) Choapam, Oaxaca	Sangre de Toro (130) Tuxtepec, Oaxaca	Bayo Blanco (131) Choapam, Oaxaca	Flor de Mayo (132) Tuxtepec, Oaxaca	Frijolón Negro (133) Ocotlán, Oaxaca	Negro Michigan (134) Zaachila, Oaxaca
Bayo Bola (135) Tlacolula, Oaxaca	Frijol Blanco (136) Centro, Oaxaca	Flor de Mayo (137) Etla, Oaxaca	Frijolon 1 (138) Centro, Oaxaca	Frijolon Rojo 3 (139) Centro, Oaxaca	Pinto Americano (140) Zimatlán, Oaxaca	Pinto Centauro (141) Cusihiuriachi, Chihuahua	Pinto Centauro (142) Cusihiuriachi, Chihuahua	Pinto Centauro (143) Cusihiuriachi, Chihuahua
Pinto Centauro (144) Cusihiuriachi, Chihuahua	Flor de Mayo (145) Calera, Zacatecas	Bayo (146) Calera, Zacatecas	Frijola (147) Calera, Zacatecas	Patola (148) Calera, Zacatecas	Alubia (149) Calera, Zacatecas	Flor de Junio (150) Calera, Zacatecas	Frijol Reata (151) Calera, Zacatecas	Frijol Japonés (152) Calera, Zacatecas
Negro (153) Calera, Zacatecas	Peruano (154) Calera, Zacatecas	Pinto Saltillo (155) Calera, Zacatecas	Criollo Tecomari (156) Maguarichi, Chihuahua	Proyecto 1529: "Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México". Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT – México) aprobado en la Convocatoria de Atención a Problemas Nacionales				

Caracterización nutricional de la biodiversidad de frijol en México con potencial a biofortificar con micronutrientes



Gutiérrez Ruelas, Nayely Jazmín; Sánchez Chávez, Esteban; Ojeda Barrios, Dámaris Leopoldina; Hernández Rodríguez, Ofelia Adriana.

1.1 Resumen	3
1.2 Introducción	3
1.3 Materiales y Métodos	4
1.4 Resultados y Discusión	6
1.5 Conclusiones	35
1.6 Agradecimientos	36
1.7 Bibliografía	36

1

Caracterización nutricional de la biodiversidad de frijol en México con potencial a biofortificar con micronutrientes

Gutiérrez Ruelas, Nayely Jazmín; Sánchez Chávez, Esteban; Ojeda Barrios, Dámaris Leopoldina; Hernández Rodríguez, Ofelia Adriana.

1.1 RESUMEN

La malnutrición por deficiencia de micronutrientes afectan a más de la mitad de la población mundial, actualmente una estrategia innovadora a esta problemática es la “Biofortificación”, que ha sido definida como el proceso de incrementar las concentraciones biodisponibles de elementos esenciales en porciones comestibles de plantas cultivadas a través del manejo agronómico. El objetivo del presente trabajo de investigación fue caracterizar la biodiversidad de frijol en México con potencial a ser biofortificado, debido a que este cultivo es uno de los principales alimentos consumidos en el país. Para ello se recolectaron 105 variedades de frijol representativos de todo el país, en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Sinaloa, Tabasco, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Jalisco, Morelos, Guanajuato, Michoacán y Estado de México. Se realizó un análisis de conglomerados de K medias mediante el software SPSS Statistics 20. A estas variedades se les evaluaron características físicas: ancho, largo, grosor, peso de 100 semillas (gr) y el color de grano dado por la luminosidad, croma y Angulo Hue. Además, se determinó la concentración de micronutrientes, macronutrientes, elementos orgánicos y contenido de proteína. Los resultados obtenidos indicaron que se encontraron diferencias significativas en la calidad nutricional de las 105 variedades de frijol recolectados en todo el país. El análisis de conglomerados arrojó 12 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc y proteína. Las variedades sobresalientes en cuanto a su contenido de Fe y Zn fueron Pinto (103) para Fe 136.417 ppm y Ojo de Cabra (23) para Zn 52.122 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína 31.52 % fue el frijol ejotero (82). Finalmente resaltar que estas 12 variedades sobresalientes son importantes incluirlas en un

programa de biofortificación con micronutrientes en frijol para mejorar la calidad nutricional y disminuir el problema de desnutrición con micronutrientes en México y en el mundo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., biodiversidad, calidad nutricional, biofortificación.

1.2 INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más significativa para consumo humano en el mundo, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Maldonado et al., 2002; Suárez-Martínez et al., 2016). La deficiencia de micronutrientes como Hierro (Fe), Zinc (Zn), Selenio (Se) y Iodo (I) es un problema de salud pública, que afecta a más de un tercio de la población mundial. La malnutrición por deficiencia de micronutrientes tiene grandes consecuencias socioeconómicas. Esto da como resultado el aumento de la mortalidad, baja talla y desarrollo infantil y problemas de aprendizaje en bebés y niños. Actualmente, una estrategia innovadora a la problemática de la desnutrición de micronutrientes en la dieta alimentaria es la “Biofortificación”. La biofortificación ha sido definida como el proceso de incrementar las concentraciones biodisponibles de elementos esenciales en porciones comestibles de plantas cultivadas a través del manejo agronómico (fertilización) o mejoramiento genético (White y Broadley, 2005). El frijol se considera un cultivo estratégico para biofortificar con Fe y Zn, debido a que es un alimento importante de la canasta básica ya que de este cultivo se obtiene la proteína de origen vegetal más utilizada por los diferentes estratos sociales. Para asegurar que la biofortificación con Fe y Zn resulte efectiva, deben establecerse las concentraciones en las cuales el grano de frijol pueda brindar al

consumidor los niveles recomendados para evitar deficiencias nutricionales (Sánchez et al., 2013). Por otro lado, la producción de frijol en México para 2014 fue de 1, 273,957 toneladas compitiendo con países como la India, Brasil, China y Estados Unidos, países que en conjunto aportan el 65% de la producción mundial (FAO, 2015). México es el país con la mayor diversidad de frijol, ya que se considera el centro de origen de 47 de las 52 especies clasificadas en el género *Phaseolus* (Silva-Cristobal et al., 2010). Sin embargo, hace falta realizar estudios profundos de las características físicas y químicas de las diferentes variedades de genotipos existentes en México. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue caracterizar la biodiversidad del frijol en México con potencial a biofortificar con hierro y zinc.

1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

1.3.1 Material Vegetal

Se recolectaron 105 variedades de frijol representativos de todo el país en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Sinaloa, Tabasco, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Jalisco, Morelos, Guanajuato, Michoacán y Estado de México. Las variedades utilizadas por Estado del país fueron: Chihuahua (Frijol pinto saltillo, Pinto americano, Ojo de cabra, Ejote Silvestre y Bordales); Durango (Frijol Negro 8025, Pinto Bravo, Flor de Mayo, Pinto libertad, Pinto Centauro y Patol); Zacatecas (frijol pinto Saltillo, Negro Bola, pinto obscuro y Bayo), Sinaloa (frijol Higuera Azufrado y Moyocoa); Oaxaca (frijol Flor de Mayo, Rojo enredador, Cuarenteño “Bayo”, Negro Criollo, Amarillo, Negro Guaca, Rojo Mayo, Blanco Bola, Negro, Negro Michigan, Bayo Blanco, Negro Grueso, Negro Delgado, Bayo, Sangre de Toro, Frijolon Amarillo, Blanco, Negro, Chivato Enredador, Blanco Alubia, Peruano, Santanero, Biche o Costeño, Blanco Michigan, Peruano o Amarillo, Negro Bola, Frijolon Negro, Bayo Bola, Frijolon

Blanco, Frijolon 1, Frijolon rojo, y Pinto Americano); Veracruz (frijol Negro Jamapa, Frijol Bayo y Pinto); Tabasco (frijol Negro Jamapa, Bayo, Pelón obscuro, Pashate y Pelón Rojo); Yucatán (frijol Blanco Pelón, Negro, Frijol Rosa “Bayo”, Frijol Rojo, Negro Ix Pelon, Frijol Mejenives, Rojo Pentulillo, Hibes Pinto, X-Pelon, Ojo de Jabali, Negro Jamapa, Oxo, Tzma y Pentulillo lenteja), Chiapas (frijol Escumite o Tepari y Frijol Negro), Puebla (Frijol Negro orgánico, Mantequilla, Negro Michigan, Ayocote Amarillo, Amarillo Abolado, Alubia, Frijol cacahuete, Ayocote obscuro y Jaracho). Jalisco (frijol Texano, Azufrado, Frijol Alubia, Peruano Bola, Flor de Junio, Peruano Higuera, Negro, Frijol Chiharo), Morelos (Frijol sangre de Toro, peruano, Flor de Mayo, Negro, Pinto), Guanajuato (frijol Flor de Mayo), Michoacán (frijol Pinto) y Estado de México (Frijol Strike). Además, se usaron dos variedades de frijol representativas de cuba por su alto valor nutricional (Frijol Negro V-6 y Negro V-7).

1.3.2 Peso de la semilla

Para el peso de las semillas, se tomaron al azar 100 semillas de la variedad en estudio y se registró el peso como g/100 semillas, realizando esto por triplicado (Aguirre-Santos y Gómez-Aldapa, 2010).

1.3.3 Dimensión de la semilla

Las dimensiones del frijol (longitud, ancho y grosor) fueron determinados mediante un Vernier, esto con el fin de evaluar la diferencia de tamaño entre variedades, para tal fin se evaluaron 40 semillas por variedad (Aguirre-Santos et al., 2011).

1.3.4 Color de la semilla

Para medir el color se tomaron varias semillas de cada variedad, después se colocaron

en cajas Petri de vidrio, en donde se midieron los parámetros L, a y b mediante el uso de un equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta). El parámetro L representa la luminosidad, con un rango desde 0 (negro) hasta 100 (blanco). El parámetro “a” puede tener valores positivos (rojo) o negativos (verde). El parámetro “b” puede tener valores positivos (amarillo) o negativos (azul). Las mediciones se realizaron con tres repeticiones obteniendo después los promedios (Aguirre-Santos et al., 2011). Con los valores de L, a y b se calculó los parámetros de Cromo (C) y Hue (H). El croma (C) se refiere a la saturación del color, mientras que (H) se refiere al Tono del color. El color del frijol va a estar dado en función de los parámetros: L* (luminosidad), C* (croma), H* (tono), en este orden (Rettig y Ah-Hen, 2014).

1.3.5 Contenido de micronutrientes

Para el análisis de los micronutrientes, se tomaron 100 semillas de cada variedad las cuales se molieron en vasos pequeños de licuadora para obtener una harina fina, de la cual se pesó 1 g de muestra en la balanza analítica. Después se realizó la digestión de cada una de las muestras, para ello se preparó una mezcla con 1000 mL de ácido nítrico, 100 mL de ácido clorhídrico y 25 mL de ácido sulfúrico, (mezcla triácida), y por cada gramo de muestra molida se le agregó 25 mL de la mezcla triácida, la muestra junto con el ácido se vació en vasos de precipitado de 250 mL y se colocaron sobre una parrilla digestora (LABCONCO), a cada vaso de precipitado se le colocó un vidrio de reloj junto con 3 perlas de ebullición mientras se digerían en la parrilla, una vez digerida la muestra con el ácido, se vació en matraces de 50 mL los cuales se les colocaron embudos de cristal con papel filtro, (esto para obtener una muestra más pura), posteriormente se aforaron los matraces con agua tridestilada y se vaciaron en tubos para centrifuga graduados de 50 mL. La concentración de Fe, Zn, Mn, Cu y Ni se

determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®) y se expresó en ppm para los micronutrientes.

1.3.6 Contenido de macronutrientes

La concentración de Mg, K, Ca, también se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®) de la misma manera que se determinaron los micronutrientes y se expresó en porcentaje para macronutrientes. Para la determinación del Fósforo (P) se realizó por el método de metavanadato de amonio (NH_4VO_3), en un rango de absorción de 430 nm frente a una curva patrón de K_2HPO_4 . Para la preparación del reactivo del fósforo se utilizó un vaso de precipitado con 800 mL de H_2O desionizada caliente, casi en ebullición, se disolvió 10 g de molibdato-amónico [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$] y 0.5 g de vanadato-amónico [NH_4VO_3]. Seguidamente se añadió, ya en frío, 4 mL de HNO_3 , al principio gota a gota y con agitación continua. Posteriormente, se adicionaron 134 mL de HNO_3 . Se aforó con H_2O desionizada hasta un volumen final de 1 L. Después en tubos de ensayo (2 tubos por cada repetición de muestra) se colocaron 3.5 mL de agua tridestilada y se le agregaron 500 μL de muestra de la variedad previamente digerida, finalmente se le añadió 1 mL del reactivo de fósforo, cada tubo se agitó con un Vortex (VWR) y se dejaron reposar una hora. Al finalizar la hora se procedió a la lectura de cada una de las muestras en el equipo de espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer). La concentración de P se expresó como mg-1 de peso seco.

1.3.7 Análisis de elementos orgánicos

Para determinar los elementos orgánicos (Nitrógeno, Azufre, Carbono y Proteína) se tomó de 9 a 11 μg de pentaóxido de vanadio

(V₂O₅) que se pesó en una cápsula de estaño en la balanza analítica. Una vez pesado, se taro y se le agregó de 3 a 4 µg de la muestra molida de frijol. Posteriormente, se introdujo la muestra compuesta bien cerrada en el equipo Flash 2000 (Thermo SCIENTIFIC®), el cual trabaja bajo el método Dumas (Calvo et al., 2008). La concentración de nitrógeno y proteína se expresaron en porcentaje, se realizaron tres repeticiones para cada muestra.

1.3.8 Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos de las propiedades físicas y del contenido nutricional de todas las variedades, se procedió a capturar y realizar los cálculos en Excel y su respectivo análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, prueba de separación de medias por Tukey, y análisis de correlación. Así mismo, por la cantidad de información de las 105 variedades de frijol, se procedió a realizar un análisis estadístico por medio de componentes principales.

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1 Contenido de Micronutrientes en las variedades de frijol

En la **Cuadro 1** se presenta la concentración de micronutrientes de las 105 variedades de frijol recolectadas en el país, observando diferencias significativas en el contenido de cobre, níquel,

manganeso, hierro y zinc. Se observa una variabilidad en la concentración de Fe (23.833 a 136.41 ppm), destacando las variedades de frijol: Pinto (103), Negro (104), Peruano (100), Negro (102), y Flor de Mayo (101) de Cuautla, Morelos; Pinto Saltillo (97) de Namiquipa, Chihuahua; Sangre de Toro (98) de Tlayacapan, Morelos; Negro (99) de Cuautla, Morelos; Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua, y Patol (105) de Canatlán, Durango.

Para Zn las concentraciones variaron de 13.087 a 52.577 ppm, las variedades sobresalientes en Zn fueron: Pelón Rojo (63) de Teapa, Tabasco; Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua; Tzama (61), X-Pelón (57), Negro Ix Pelón (53) y Frijol Mejenives (54) de Dzutuh, Yucatán; Ejotero silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua; Negro (81) de Mapastepec, Chiapas; Bordales (96) de Guachochi, Chihuahua y Peruano (100) de Cuautla, Morelos.

Se encontraron varias variedades sobresalientes por su alto contenido de Fe y Zn como la variedad (103) la cual tiene la más alta cantidad de Fe (136.41 ppm) y la variedad Ojo de Cabra (23) con el más alto contenido de Zn (52.12 ppm). Guzmán-Maldonado et al. (2000) reportaron de 84 a 280 ppm de Fe en frijol cultivado y silvestre, mientras que Astudillo y Blair (2008) reportaron promedios de 26,3 y 23,1 ppm, respectivamente, para Zinc, por debajo de los resultados aquí descritos.

Cuadro 1 • Concentración de micronutrientes de los granos de frijol de las diferentes variedades recolectadas en el país.

No. de Variedad	Micronutrientes (ppm)				
	Cobre	Níquel	Manganeso	Hierro	Zinc
1	6.388	3.525	16.563	50.657	18.198
2	4.967	7.098	18.518	47.640	21.200
3	16.835	8.273	26.142	53.112	19.470

4	4.022	3.318	18.068	50.447	21.567
5	5.768	3.420	15.945	38.012	19.258
6	14.757	3.572	13.610	43.942	17.192
7	4.958	3.657	14.857	38.683	19.867
8	4.753	3.597	22.937	44.085	18.995
9	5.450	3.693	12.172	41.878	17.395
10	6.468	3.692	16.632	39.877	21.195
11	6.797	3.705	14.823	36.992	13.893
12	10.357	3.842	14.893	38.258	17.802
13	11.308	4.455	16.378	58.498	28.077
14	11.707	3.597	11.612	47.583	27.630
15	7.813	5.658	13.022	40.428	22.998
16	7.848	4.208	12.995	23.833	23.247
17	10.253	5.957	15.397	43.478	26.880
18	13.265	19.032	12.900	38.047	31.838
19	8.130	6.148	15.760	49.927	25.217
20	7.198	4.592	14.263	32.198	26.208
21	20.282	7.890	23.575	42.922	24.580
22	9.028	4.020	13.225	34.427	34.470
23	5.143	1.740	13.368	80.565	52.122
24	5.183	3.865	14.917	41.128	21.022
25	8.847	4.658	14.428	41.073	19.558
26	10.663	7.427	14.843	41.473	21.783

27	8.063	4.293	14.985	37.775	24.603
28	9.270	5.762	13.892	36.678	18.990
29	10.653	4.803	13.920	37.030	20.177
30a	8.580	4.480	17.630	56.635	23.093
30b	9.535	4.443	20.265	67.292	23.643
31	10.232	5.463	14.150	38.868	22.937
32	11.450	5.705	16.152	46.662	29.715
33	7.383	6.368	16.802	55.773	22.930
34	9.477	4.805	11.990	33.877	13.087
35	9.428	5.245	13.150	51.057	23.455
36	11.837	4.508	10.050	45.313	28.362
37	9.165	4.967	13.132	50.193	19.072
38	8.878	5.250	18.260	52.470	22.780
39	8.367	5.115	10.147	38.902	20.395
40	9.393	5.932	13.688	44.465	14.313
41	9.170	4.788	14.933	39.260	21.122
42	11.167	14.150	12.765	39.988	24.247
43	8.280	8.060	9.032	34.987	31.878
44	9.235	17.205	16.625	38.185	20.900
45	11.020	4.707	10.492	52.368	21.535
46	8.642	5.683	12.213	64.202	29.203
47	9.343	5.470	11.907	53.847	28.638
48	7.880	4.585	10.217	38.233	18.983

49	10.668	4.990	10.095	60.378	28.662
50	9.670	5.710	12.067	44.170	21.832
51	10.110	9.962	13.618	41.543	27.388
52	11.512	8.420	9.870	44.076	27.738
53	9.237	4.560	13.988	46.207	39.520
54	8.845	4.807	16.967	48.422	36.173
55	7.635	5.500	9.965	43.370	31.988
56	7.680	4.667	12.902	42.863	32.037
57	12.192	4.757	16.378	53.762	41.338
58	7.842	4.822	12.058	47.557	30.333
59	9.155	5.287	11.697	52.273	32.988
60	7.255	4.682	14.283	33.757	26.505
61	10.327	5.248	11.798	56.670	43.145
62	10.547	5.013	10.788	27.760	31.933
63	8.252	4.360	14.788	53.095	52.577
64	8.378	3.897	16.083	48.627	18.113
65	8.285	3.922	11.780	49.217	22.613
66	12.753	3.392	10.645	48.915	26.325
67	10.173	5.147	14.425	59.392	23.620
68	11.403	2.193	9.893	43.360	27.018
69	9.727	3.783	11.073	45.773	18.178
70	6.092	4.573	14.155	78.678	17.732
71	7.748	3.263	13.055	37.092	19.450

72	8.263	6.822	18.092	51.473	20.065
73	8.445	3.693	9.968	61.602	26.630
74	9.172	5.330	12.797	58.575	25.682
75	11.192	4.873	11.497	57.915	22.963
76	9.890	5.645	12.235	39.087	18.698
77	13.607	4.663	11.852	55.760	29.442
78	9.585	4.270	14.233	59.753	23.697
79	7.800	4.718	10.408	63.882	20.742
80	11.678	4.157	14.000	69.558	27.155
81	14.288	5.883	11.705	66.877	36.443
82	9.928	6.172	10.198	75.150	40.473
82v	7.558	6.473	8.740	27.482	21.887
83	12.095	6.767	11.988	45.418	28.363
84	9.380	7.672	12.122	66.548	27.533
85	10.808	7.230	9.762	47.280	24.505
86	10.582	7.228	12.850	41.207	25.677
87	12.517	8.025	13.678	33.243	28.872
88	10.565	8.372	7.072	48.770	26.017
89	10.882	8.255	10.310	33.793	29.600
90	10.928	10.152	13.307	60.882	31.328
91	9.905	8.927	8.023	55.405	24.883
92	7.940	8.388	6.955	44.183	22.540
93	9.460	12.955	10.040	59.042	27.280

94	7.838	7.695	14.682	54.903	30.005
95	12.487	10.630	11.572	56.967	29.418
96	6.090	7.843	14.753	51.215	36.033
97	6.325	4.483	16.885	103.753	28.090
98	7.712	6.783	13.270	89.225	32.978
99	7.285	3.473	10.650	87.727	30.855
100	6.698	3.288	11.052	101.405	35.787
101	3.953	2.457	10.545	91.062	24.825
102	6.098	2.113	9.037	99.767	31.853
103	4.218	5.238	18.828	136.417	31.810
104	4.393	2.498	14.492	113.438	34.385
105	3.137	5.317	11.985	79.942	22.858
Significancia	***	***	***	***	***

Los datos son medias (n=3) y los niveles de significancia están representados por * a $P \leq 0.05$, ** a $P \leq 0.01$, *** a $P \leq 0.001$

1.4.2 Contenido de Macronutrientes en las variedades de frijol

En la **Cuadro 2** se presentan la concentración de macronutrientes de las 105 variedades de frijol recolectadas en el país, observando diferencias significativas en el contenido de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio y Calcio. La concentración de Ca varió de 0.09067 a 0.6053 (%), destacando las variedades de frijol: Ejotero silvestre (82 Vaina) de Cuauhtémoc, Chihuahua, Negro (99) Negro (102) y Pinto (103) de Cuautla, Morelos, Pinto Saltillo (97) de Namiquipa, Chihuahua, Jamapa (59) Tzamá (61) de Dzutoh, Yucatán, Negro Jamapa (51) de Hidalgo Titla, Veracruz, Patol (105) de Canatlán, Durango, Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua.

La concentración de Mg varió de 0.08600 a 0.28600 (%), destacando las variedades de frijol: Ejotero silvestre (82 Vaina) de Cuauhtémoc, Chihuahua, Negro (99) de Cuautla, Morelos; X-Pelón (57) de Dzutoh, Yucatán; Flor de Mayo media oreja (6) de INIFAP, Durango; Frijol Bayo (52) de Hidalgo Titla, Veracruz Blanco Pelón (49) de Motul, Yucatán ; Blanco Pelón (45) de Conkal, Yucatán; Negro (102) de Cuautla Morelos, Pinto Saltillo (3) de Guerrero Chihuahua y Patol (105) de Canatlán, Durango. Serrano y Goñi (2004) reportan un contenido de Mg 0,27% para el frijol negro mientras que Amirul-Islam et al. (2006) reportan un valor de 0,189%.

La concentración de K varió de 0.790 a 2.238 (%), destacando las variedades de frijol: Ejotero silvestre (82 Vaina) de Cuauhtémoc, Chihuahua;

Sangre de Toro (98) de Tlayacapan, Morelos; Flor de Junio (76) de Guadalajara Jalisco; Negro (99) de Cuautla, Morelos; Ojo de Cabra (23) de S.F. Conchos Chihuahua; Negro (104), Flor de Mayo (101) y Peruano (100) de Cuautla, Morelos; Ayocote oscuro (94) de Atlixco, Puebla; Patol (105) de Canatlán, Durango. Serrano y Goñi (2004) reportan un contenido de K de 2% para el frijol negro, en comparación con otras variedades reportadas por Amirul-Islam et al. (2006) de 1,47%.

frijol: Negro 8025 (4), Flor de Mayo media oreja (6), Pinto Bravo (5), Pinto Centauro (8) y Pinto Libertad (7) de INIFAP, Durango; Pinto Saltillo (3) de Guerrero, Chihuahua; Ojo de Cabra (23) de S.F. Conchos Chihuahua; Flor de Mayo (15) de Tulancingo, Oaxaca; Negro Guaca (84) de Tuxtepec, Oaxaca y Ayocote oscuro (94) de Atlixco, Puebla.

La concentración de P varió de 0.01733 a 0.46067 (%) , destacando las variedades de

Cuadro 2 • Concentración de macronutrientes de los granos de frijol de las diferentes variedades recolectadas en el país.

No. de Variedad	Macronutrientes (%)				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
1	2.5590	0.1500	1.2700	0.1570	0.1390
2	3.0330	0.1510	1.1830	0.1470	0.0910
3	2.5030	0.4080	1.3640	0.2010	0.1460
4	3.2210	0.4610	1.4900	0.1830	0.1390
5	3.2670	0.3470	1.3890	0.1730	0.1010
6	2.8350	0.4360	1.5050	0.2050	0.1500
7	3.2650	0.2260	1.3840	0.1550	0.1200
8	3.0080	0.3430	1.4950	0.1610	0.1580
9	3.3360	0.1480	1.3150	0.1630	0.1260
10	3.1070	0.1780	1.2570	0.1490	0.1360
11	3.3810	0.1730	1.3660	0.1650	0.1410
12	3.3660	0.1650	1.3960	0.1550	0.1170
13	3.3090	0.1890	1.4240	0.1650	0.1300

14	3.5620	0.1940	1.3450	0.1570	0.1100
15	2.6350	0.2150	1.2710	0.1380	0.1340
16	2.8250	0.1690	1.3810	0.1570	0.1310
17	2.7130	0.0690	1.3510	0.1610	0.1300
18	3.2820	0.1520	1.3170	0.1560	0.1520
19	2.5880	0.0940	1.1880	0.1590	0.1480
20	2.9290	0.1390	1.1410	0.1310	0.1780
21	2.8480	0.1330	1.2820	0.1480	0.1330
22	3.5280	0.0970	1.2370	0.1680	0.2110
23	3.5550	0.2160	1.7230	0.1980	0.2500
24	2.7900	0.1780	1.4050	0.1410	0.1280
25	2.3330	0.0190	1.2870	0.1510	0.1910
26	2.7590	0.0870	1.2770	0.1490	0.1630
27	2.8570	0.0800	1.4260	0.1430	0.1730
28	2.7290	0.1450	1.4220	0.1620	0.1800
29	2.6850	0.0500	1.2870	0.1250	0.1490
30a	3.0770	0.0850	1.3720	0.1410	0.2040
30b	2.8500	0.1450	1.3130	0.1690	0.1940
31	3.3110	0.1030	1.3910	0.1900	0.2030
32	3.2200	0.1340	1.3520	0.1620	0.1630
33	2.8220	0.0330	1.2400	0.1840	0.1530
34	3.5620	0.0170	1.2580	0.1420	0.1860
35	3.4440	0.1170	1.2250	0.1740	0.1560
36	3.5520	0.1060	1.2930	0.1660	0.2150

37	3.5600	0.1730	1.3050	0.1760	0.1740
38	3.3920	0.1270	1.1980	0.1750	0.2210
39	3.4950	0.0930	1.1710	0.1550	0.1870
40	3.0610	0.0560	1.2460	0.1680	0.1730
41	3.1580	0.1920	1.3480	0.1770	0.2100
42	3.7380	0.1890	1.2120	0.1680	0.1870
43	4.1550	0.1580	1.1260	0.1720	0.1820
44	3.3300	0.0790	1.2160	0.1590	0.1620
45	3.2940	0.1710	1.2890	0.2030	0.2020
46	3.4920	0.1530	1.1540	0.1540	0.2280
47	3.5340	0.1560	1.2180	0.1730	0.1710
48	3.5970	0.1860	1.1840	0.1290	0.2070
49	3.6450	0.1180	1.0440	0.2040	0.2370
50	3.5350	0.1260	1.2150	0.1760	0.1730
51	3.6820	0.1580	1.2470	0.1920	0.2550
52	3.6860	0.1250	1.1810	0.2050	0.1930
53	4.2770	0.1940	1.2540	0.1740	0.1860
54	4.2820	0.0720	1.1060	0.1690	0.1950
55	3.4840	0.0350	1.0820	0.1650	0.1620
56	3.6420	0.1080	1.2720	0.1440	0.1940
57	3.6640	0.1440	1.0390	0.2090	0.1940
58	3.5830	0.0530	1.0560	0.1580	0.1600
59	3.4820	0.0540	1.1670	0.1680	0.2730
60	1.9840	0.1270	0.7910	0.1710	0.2240

61	3.6240	0.1350	1.1350	0.1610	0.2420
62	3.0000	0.0540	1.2670	0.1250	0.2360
63	3.8280	0.1030	0.8930	0.1530	0.1730
64	2.7500	0.1510	1.2940	0.1760	0.1420
65	3.1370	0.1390	1.3000	0.1770	0.1600
66	4.1090	0.1970	1.3270	0.1630	0.1460
67	4.0670	0.1950	1.3790	0.1660	0.1220
68	2.9440	0.0350	1.3210	0.1800	0.2370
69	3.7260	0.0280	1.3110	0.1750	0.1530
70	3.3680	0.0360	1.3480	0.1900	0.1940
71	3.3110	0.1270	1.2640	0.1530	0.1830
72	3.0270	0.0770	1.2310	0.1740	0.1780
73	4.2290	0.0960	1.4830	0.1700	0.1460
74	4.0410	0.1040	1.3680	0.1530	0.1600
75	3.3860	0.1030	1.3450	0.1440	0.1550
76	2.9610	0.1880	1.7990	0.0950	0.1500
77	4.0110	0.1720	1.4530	0.0940	0.1240
78	3.3760	0.1130	1.3750	0.1240	0.1660
79	3.0650	0.0930	1.2810	0.0860	0.1610
80	4.5080	0.1540	1.3090	0.0910	0.1700
81	3.8190	0.1940	1.4840	0.1180	0.1340
82	5.0440	0.1820	1.5230	0.0950	0.2040
82v	1.1100	0.0480	2.2380	0.2860	0.6050
83	4.9280	0.1950	1.4180	0.1320	0.1620

84	4.5040	0.2090	1.3240	0.1360	0.1690
85	3.7090	0.1580	1.4040	0.1300	0.1370
86	3.6400	0.1540	1.2260	0.1630	0.1520
87	4.1300	0.1490	1.2730	0.1370	0.1610
88	3.7170	0.1470	1.4490	0.1230	0.1220
89	3.4170	0.1560	1.1960	0.1570	0.1550
90	3.5140	0.1420	1.4440	0.1410	0.1270
91	3.7790	0.1570	1.3960	0.0960	0.1050
92	3.7050	0.1510	0.9940	0.1100	0.0920
93	3.2250	0.1950	1.4550	0.0890	0.1190
94	4.0650	0.2030	1.6630	0.0940	0.1120
95	4.2360	0.1770	1.2820	0.1060	0.1500
96	3.4140	0.2000	1.5370	0.1110	0.1270
97	3.1810	0.1520	1.5260	0.1820	0.2820
98	2.8860	0.1800	1.8160	0.1930	0.2290
99	3.4300	0.1730	1.7380	0.2230	0.3320
100	4.3080	0.1830	1.6550	0.1880	0.1550
101	3.7270	0.1700	1.6600	0.1730	0.2190
102	3.4760	0.1940	1.6060	0.2010	0.2740
103	3.1460	0.1750	1.4640	0.1790	0.2460
104	3.6340	0.1500	1.6880	0.1700	0.2400
105	2.8690	0.1780	1.6480	0.2000	0.2500
Significancia	***	***	***	***	***

Los datos son medias (n=3) y los niveles de significancia están representados por *a P≤ 0.05, **a P≤0.01, ***a P≤0.0001

1.4.3 Concentración de Elementos orgánicos en las variedades de frijol

En el Cuadro 3 se presentan la concentración de los elementos orgánicos de las 105 variedades de frijol recolectadas en el país, observando diferencias significativas en el contenido de Nitrógeno, Azufre, Carbono y Proteína. La concentración de Nitrógeno osciló de 1.11 a 5.04 %, en cuanto a proteína fue de 6.93 a 31.52 % destacando las variedades de frijol: Ejotero silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua, Amarillo (83), Negro Guaca (84) de Tuxtepec, Oaxaca, Escumite o Tepari (80) de Mapastepec, Chiapas, Peruano (100) de Cuautla,

Morelos, Frijol Mejenives (54) Negro, Ix Pelón (53) de Dzutoh, Yucatán, Jaracho (95) de Atlixco, Puebla, Azufrado (73) de Guadalajara, Jalisco y Pelón obscuro (43) de Teapa, Tabasco. Estos resultados fueron similares a los de Guzmán- Maldonado et al. (2000) que reportaron un contenido de 33% a 22% de proteína total y Pérez-Herrera et al. (2002) reportan 23,5% proteína total en promedio para frijol mexicano.

Cuadro 3 • Concentración de elementos orgánicos de los granos de frijol de las diferentes variedades recolectadas en el país.

No. de Variedad	Elementos orgánicos (%)			
	Nitrógeno	Azufre	Carbono	Proteína
1	2.5590	0.0940	37.379	15.9940
2	3.0330	0.1150	43.171	18.9557
3	2.5030	0.1110	40.582	15.6431
4	3.2210	0.1400	40.406	20.1304
5	3.2670	0.1140	41.442	20.4193
6	2.8350	0.1100	38.418	17.7218
7	3.2650	0.1110	40.388	20.4089
8	3.0080	0.1080	41.487	18.7972
9	3.3360	0.1270	41.206	20.8524
10	3.1070	0.1150	41.140	19.4196
11	3.3810	0.1190	41.302	21.1298
12	3.3660	0.1020	40.125	21.0353

13	3.3090	0.1320	40.973	20.6811
14	3.5620	0.1450	40.962	22.2625
15	2.6350	0.1410	41.653	16.4692
16	2.8250	0.1210	42.098	17.6581
17	2.7130	0.1480	41.330	16.9534
18	3.2820	0.1320	39.282	20.5154
19	2.5880	0.1070	41.227	16.1729
20	2.9290	0.1100	41.291	18.3032
21	2.8480	0.0930	41.541	17.8009
22	3.5280	0.1630	42.368	22.0505
23	3.5550	20.0110	38.383	22.2167
24	2.7900	0.1030	40.877	17.4363
25	2.3330	0.0710	38.629	14.5839
26	2.7590	0.0980	42.184	17.2438
27	2.8570	0.1070	39.822	17.8565
28	2.7290	0.0800	40.938	17.0542
29	2.6850	0.0810	41.218	16.7788
30a	3.0770	0.1240	42.276	19.2290
30b	2.8500	0.1010	41.021	17.8101
31	3.3110	0.1210	40.529	20.6964
32	3.2200	0.1060	41.103	20.1245
33	2.8220	0.0810	41.574	17.6397
34	3.5620	0.0860	42.519	22.2600

35	3.4440	0.0930	42.573	21.5259
36	3.5520	0.0870	42.309	22.1973
37	3.5600	0.0990	42.097	22.2523
38	3.3920	0.1100	42.379	21.1969
39	3.4950	0.0810	42.655	21.8432
40	3.0610	0.0760	42.169	19.1310
41	3.1580	0.0940	41.765	19.7391
42	3.7380	0.0760	41.029	23.3625
43	4.1550	0.0870	43.366	25.9674
44	3.3300	0.0530	38.825	20.8154
45	3.2940	0.0840	40.431	20.5865
46	3.4920	0.0720	42.170	21.8231
47	3.5340	0.0590	42.760	22.0880
48	3.5970	20.9460	39.642	22.4813
49	3.6450	0.0540	43.008	22.7827
50	3.5350	0.0480	40.775	22.0951
51	3.6820	0.1140	41.770	23.0143
52	3.6860	0.0920	42.511	23.0392
53	4.2770	0.0600	42.699	26.7319
54	4.2820	21.1040	36.876	26.7643
55	3.4840	0.1080	43.067	21.7720
56	3.6420	20.9380	38.192	22.7599
57	3.6640	20.5840	33.665	22.9031

58	3.5830	0.0720	40.408	22.3944
59	3.4820	0.1290	41.566	21.7629
60	1.9840	0.0660	42.734	12.4030
61	3.6240	0.1430	42.809	22.6489
62	3.0000	0.0940	41.841	18.7524
63	3.8280	0.1490	40.798	23.9224
64	2.7500	21.0440	34.625	17.1888
65	3.1370	24.7370	31.524	19.6065
66	4.1090	22.8560	31.761	25.6803
67	4.0670	24.1750	35.553	25.4190
68	2.9440	20.8000	34.208	18.3992
69	3.7260	25.2930	36.011	23.2900
70	3.3680	21.6580	26.533	21.0523
71	3.3110	23.7890	23.041	20.6918
72	3.0270	25.1550	24.631	18.9160
73	4.2290	26.7740	27.953	26.4320
74	4.0410	25.7200	25.912	25.2582
75	3.3860	25.5640	25.464	21.1611
76	2.9610	24.3550	23.868	18.5058
77	4.0110	25.1230	25.156	25.0681
78	3.3760	25.2120	27.129	21.1024
79	3.0650	24.9060	27.937	19.1556
80	4.5080	25.2050	26.402	28.1779

81	3.8190	25.2590	26.614	23.8662
82	5.0440	25.5840	23.783	31.5223
82v	1.1100	22.7160	25.963	6.9399
83	4.9280	25.1500	25.969	30.8007
84	4.5040	24.9350	25.703	28.1494
85	3.7090	25.7250	24.567	23.1842
86	3.6400	25.0940	30.296	22.7528
87	4.1300	24.8370	29.719	25.8099
88	3.7170	24.0510	28.048	23.2315
89	3.4170	24.7420	28.314	21.3539
90	3.5140	24.1890	25.923	21.9626
91	3.7790	23.6790	27.505	23.6201
92	3.7050	25.4030	29.805	23.1552
93	3.2250	24.9020	24.369	20.1546
94	4.0650	24.8060	28.414	25.4073
95	4.2360	25.3890	29.360	26.4723
96	3.4140	24.4780	29.464	21.3395
97	3.1810	24.7420	28.686	19.8800
98	2.8860	23.8490	28.260	18.0374
99	3.4300	24.6350	29.237	21.4392
100	4.3080	24.6710	31.927	26.9279
101	3.7270	24.4830	33.669	23.2933
102	3.4760	24.7840	29.669	21.7278

103	3.1460	24.5540	30.827	19.6650
104	3.6340	24.8340	31.399	22.7105
105	2.8690	22.3730	34.006	17.9326
Significancia	***	***	***	***

Los datos son medias (n=3) y los niveles de significancia están representados por * a $P \leq 0.05$, ** a $P \leq 0.01$, *** a $P \leq 0.001$

1.4.4 Características físicas del frijol

El peso de la semilla es una propiedad que se relaciona con la dimensión y densidad de semilla de frijol (Raya et al., 2014) pero no se relaciona con un mayor o menor contenido mineral en las variedades, esta característica, también define la calidad del grano por el consumidor y permite disponer de un gran número de opciones para satisfacer la preferencia de los consumidores. En cuanto a su peso g/100 semillas destacaron las variedades de frijol: Ayocote Amarillo (90), Ayocote oscuro (94), Amarillo Abolado (91), y Mantequilla (88) de Atlixco, Puebla; Bordales de Guachochi (96) de Guachochi, Chihuahua; Patol (105) de Canatlán Durango; Ejotero silvestre (82) de Cuauhtémoc Chihuahua; Sangre de toro (98) de Tlayacapan, Morelos; Frijol Rojo (48) de Conkal, Yucatán y Pashate (44) de Teapa, Tabasco (**Cuadro 4**).

Referente a su color, las variedades con mayor luminosidad (variedades claras) fueron: Frijol

Mejenives (54) de Dzutuh, Yucatán; Patol (105) de Canatlán Durango; Blanco Pelón (45) de Conkal, Yucatán; Blanco Pelón (49) de Motul, Yucatán; Pinto (66) de Uruapan, Michoacán; Blanco Bola (86) de Tuxtepec, Oaxaca; Alubia (74) de Guadalajara, Jalisco; Pinto (65) de Hidalgo Titla, Veracruz; Frijol Strike (31) de Texcoco, Edo. de México y Pinto saltillo (39) de Sombrerete, Zacatecas (Tabla 4). El color es otro parámetro importante que no solo define la variedad de frijol si no otras funciones, aunque Romano et al., (2010) afirma que semillas con testa de color están mejor protegidas contra patógenos que cuando muestran color albino o blanco. El color de la testa también podría indicar una buena actividad antioxidante como ocurre para otras variedades (Pérez Herrera et al., 2002; Iniestra-González et al., 2005), por lo que podríamos decir que el frijol oscuro tendrá otras propiedades aparte de su contenido nutricional relacionadas al color de su testa.

Cuadro 4 • Parámetros de calidad medidos en los granos de frijol de las diferentes variedades recolectadas en el país.

Variedad	Ancho	Grosor	Largo	Peso	L*	Croma*	Hue*
#1	0.71667	0.50000	1.26667	34.89797	62.52333	14.88897	1.22689
#2	0.75667	0.40667	1.26333	26.97233	63.41000	16.48061	1.20733
#3	0.67000	0.50000	1.21000	25.66213	62.53333	15.19250	1.23958
#4	0.67667	0.43333	1.01667	19.75480	23.60667	2.07714	-0.96690

#5	0.88333	0.56667	1.49667	45.57107	67.88333	13.42156	1.21704
#6	0.77000	0.60667	1.37333	31.81710	51.52000	16.25204	0.31264
#7	0.89000	0.55000	1.44000	43.97137	68.66333	13.89038	1.20540
#8	0.81667	0.54000	1.51667	39.66447	64.79667	13.90373	1.20832
#9	0.81000	0.61333	1.12000	34.40767	23.47000	2.14874	-1.01364
#10	0.77667	0.51333	1.36333	33.26897	67.47000	14.57971	1.25362
#11	0.87000	0.61000	1.42667	42.91057	66.20667	14.18006	1.20200
#12	0.89000	0.54333	1.48333	44.49167	67.10000	13.55646	1.21911
#13	0.78333	0.66333	1.22667	41.75123	63.89333	28.56105	1.49883
#14	0.82000	0.69667	1.28333	42.50147	60.89333	30.06114	1.39673
#15	0.76000	0.52333	1.12333	27.21150	44.95333	21.18616	0.66243
#16	0.69333	0.58333	1.19000	33.04897	26.71000	22.76762	0.21619
#17	0.93667	0.62667	1.22000	35.77937	47.45333	30.34213	1.02741
#18	0.67333	0.43333	1.16000	18.61827	23.51000	1.92732	-1.05872
#19	0.75000	0.57000	1.07333	28.62700	25.46333	1.73458	-0.34132
#20	0.69667	0.51333	1.25333	22.59683	63.22667	16.25930	1.17359
#21	0.76667	0.56333	1.40000	34.30473	65.05000	10.91852	0.86476
#22	0.77333	0.57333	1.25333	31.14037	48.32000	15.66986	1.09601
#23	0.89000	0.60000	1.30333	29.51270	51.17000	17.56032	1.06251
#24	0.86333	0.49000	1.32000	31.26830	47.54667	13.78048	1.08101
#25	0.67000	0.51000	1.23333	29.69800	64.34000	13.66926	1.18474
#26	0.71333	0.51000	1.25000	27.79850	64.19333	14.27994	1.23171
#27	0.80000	0.50667	1.42333	33.50800	63.94000	14.18803	1.18467

#28	0.81667	0.52000	1.37333	32.53070	64.01667	14.24965	1.22043
#29	0.77333	0.55333	1.14000	27.45573	50.77667	14.06309	1.10597
#30 ^a	0.66667	0.46667	1.04667	19.93040	22.88000	1.50081	-0.93051
#30 ^b	0.63333	0.42000	1.02333	18.11100	24.95333	0.95608	-0.59948
#31	0.55667	0.59667	1.35333	23.30893	74.61000	16.69770	1.06392
#32	0.72667	0.46000	1.23667	27.99037	65.31667	14.21536	1.19500
#33	0.69000	0.53333	1.23333	27.07537	64.22333	14.91972	1.24747
#34	0.70000	0.46000	1.25667	25.08100	72.71333	17.72335	1.28813
#35	0.73000	0.44000	1.23333	28.42813	69.83333	16.42551	1.26104
#36	0.73000	0.47000	1.24333	29.32293	68.94667	18.18561	1.23229
#37	0.75000	0.53333	1.12000	27.60440	25.49667	2.53459	-1.04636
#38	0.72333	0.52667	1.08333	27.22917	26.34667	2.91050	-0.94093
#39	0.71333	0.49000	1.24667	30.08330	72.85667	16.64459	1.24582
#40	0.77333	0.57333	1.13000	31.89017	26.23000	2.14158	-0.98098
#41	0.61667	0.47667	1.07667	18.71750	26.22667	2.00916	-0.92030
#42	0.58667	0.43333	0.97000	21.52110	41.25667	23.98977	0.77257
#43	0.66667	0.49000	0.86667	15.02303	30.42000	7.12578	0.46293
#44	1.07000	0.39667	1.42333	46.01987	27.63000	1.87983	-0.94829
#45	0.64667	0.53000	0.92667	18.94963	79.45000	16.76551	1.40905
#46	0.68333	0.51667	1.02333	26.29000	26.15667	2.03027	-0.98699
#47	0.74667	0.51667	1.15667	30.82433	50.24000	24.32686	0.84262
#48	0.73667	0.56000	1.49000	47.76683	34.81333	26.41364	0.56068
#49	0.61000	0.52333	0.92333	18.16570	78.82000	11.90688	1.40486

#50	0.73667	0.48333	1.14667	31.04470	49.09333	23.81919	0.85077
#51	0.66000	0.46333	1.13000	20.57420	25.06000	2.07224	-1.02801
#52	0.60333	0.48333	1.09333	20.24340	48.45667	36.59402	1.14412
#53	0.63333	0.45333	0.78667	13.12047	24.65667	1.41686	-0.89884
#54	0.86333	0.43000	1.27333	32.53440	86.04000	18.72906	1.42257
#55	0.76333	0.59000	0.99333	28.77300	32.54667	22.00156	0.30581
#56	0.85333	0.53667	1.07333	30.30603	40.16667	21.12332	0.48713
#57	0.65000	0.47333	0.85333	14.25640	27.54667	1.69243	-0.75275
#58	0.91667	0.38000	1.30333	31.08085	43.82667	3.30239	1.09132
#59	0.69000	0.44000	1.18667	22.87463	25.72333	2.10635	-1.02739
#60	0.49333	0.47000	0.68667	9.72703	36.19333	43.64396	0.52054
#61	0.71000	0.42667	1.19667	23.79817	22.65333	2.39684	-0.72318
#62	0.57333	0.46000	0.59333	11.57793	55.35000	19.01614	1.12940
#63	0.78667	0.58667	0.90333	21.46747	41.10333	26.13504	0.89751
#64	0.79667	0.50333	1.26333	31.47463	72.12333	18.40655	1.22134
#65	0.71667	0.48000	1.20000	26.05093	75.01333	16.00562	1.18412
#66	0.77667	0.52000	1.41333	31.86043	77.92667	16.84371	1.28623
#67	0.80000	0.68000	1.35000	42.37547	69.68000	29.00494	1.51027
#68	0.76000	0.50667	1.25667	26.71005	45.39333	20.52146	0.58254
#69	0.78000	0.53333	1.26000	31.59547	47.94667	23.44094	0.96864
#70	0.76667	0.56333	1.16667	29.63683	25.06333	2.12156	-0.93214
#71	0.87000	0.52667	1.33667	33.48743	59.82667	27.58622	1.10047
#72	0.71000	0.49667	1.25000	28.46433	68.39000	16.15219	1.21145

#73	0.68000	0.48333	1.18000	21.09957	69.92667	32.73874	1.47058
#74	0.66000	0.61333	0.95000	22.54930	77.00333	13.03925	1.27627
#75	0.76667	0.64667	1.18667	30.66333	71.77667	27.12474	1.43649
#76	0.75667	0.55000	1.19333	32.85247	54.39000	20.05283	0.64903
#77	0.85000	0.72333	1.42000	45.37643	70.34000	35.31492	1.56317
#78	0.69000	0.47667	1.09000	18.24957	27.59000	2.21501	-0.83388
#79	0.70333	0.56667	1.01667	22.67560	67.11667	26.13295	1.38790
#80	0.65000	0.40333	0.92667	12.30180	52.01333	8.00728	1.32819
#81	0.71667	0.52667	1.24333	23.72070	26.65000	2.29613	-1.04313
#82	0.97000	0.62333	1.57667	56.09600	63.10667	16.46535	1.04613
#83	0.67000	0.49333	1.10333	16.41810	48.35667	34.29188	1.16797
#84	0.66333	0.46667	1.23667	24.62657	22.62667	1.49074	-0.72300
#85	0.65333	0.52667	1.09000	22.80460	31.40000	24.03472	0.42858
#86	0.62667	0.52333	0.92667	17.45347	77.45000	11.27023	1.40201
#87	0.54667	0.47000	0.82667	14.55723	22.53333	1.84166	-1.01390
#88	0.96333	0.53667	1.36667	47.09750	59.49333	27.83853	1.13160
#89	0.74667	0.56667	1.08667	28.84200	26.69667	2.17113	-1.14593
#90	1.43333	0.84333	2.52000	139.31320	51.42000	34.20654	1.09074
#91	1.03667	0.56333	1.56333	53.32913	60.43667	42.02687	1.23033
#92	0.62667	0.60000	1.07000	21.94033	72.03333	18.73594	1.35803
#93	0.96000	0.65000	1.40000	35.39803	60.96667	20.21622	0.98872
#94	1.46000	0.81667	2.18667	122.73083	27.59667	12.98075	-0.15680
#95	0.62667	0.46333	0.88000	16.53170	26.41667	2.39036	-1.14830

#96	1.34333	1.00000	2.02667	106.35310	43.48333	8.64593	0.51393
#97	0.80333	0.46667	1.26000	31.37763	63.16667	16.21649	1.19029
#98	0.91333	0.64000	1.73333	53.41293	32.41000	26.60152	0.20522
#99	0.63000	0.51000	0.93667	19.31843	23.66000	1.78245	-0.78851
#100	0.82667	0.68333	1.36000	44.41217	69.21333	33.45222	0.50872
#101	0.78333	0.55667	1.26333	30.97870	50.14000	18.73520	0.65875
#102	0.73000	0.55000	1.08000	23.06110	24.96333	1.77366	-0.93122
#103	0.75667	0.49333	1.31333	29.07617	65.94667	17.59481	1.20987
#104	0.74667	0.56333	1.14667	30.29553	26.85667	2.02846	-1.09965
#105	1.14000	0.78000	1.85667	75.58020	83.31000	14.80137	1.43791
Significancia	***	***	***	***	***	***	***

Los datos son medias (n=3) y los niveles de significancia están representados por * a $P \leq 0.05$, ** a $P \leq 0.01$, *** a $P \leq 0.001$.

1.4.5 Análisis de Conglomerados

Mediante un análisis de conglomerados K media (Tabla 6) realizado para agrupar variedades conforme a su contenido mineral y proteína se pueden observar las 12 mejores variedades de frijol, en el cual se representan 4 grupos con el

mayor número de características favorables en el que se puede observar que el grupo 1 tiene las mejores características conformado por un grupo de 12 variedades, de las cuales se seleccionaron las primeras 10, las cuales son:

Cuadro 5 • Variedades de frijol seleccionadas por medio de análisis de conglomerados K medias.

No. de Variedad	Nombre de la Variedad	Localidad donde se cultivo
23	Ojo de cabra	San Francisco de Conchos, Chihuahua
70	Negro	Calera, Zacatecas
82	Ejotero silvestre	Cuauhtémoc, Chihuahua
97	Pinto Saltillo	Namiquipa, Chihuahua
98	Sangre de toro	Tlayacapan, Morelos
99	Negro	Cuautla, Morelos
100	Peruano	Cuautla, Morelos
101	Flor de Mayo	Cuautla, Morelos
102	Negro	Cuautla, Morelos
103	Pinto	Cuautla, Morelos
104	Negro	Cuautla, Morelos
105	Patol	Canatlán, Durango

Cuadro 6 • Variedades de frijol seleccionadas por medio de análisis de conglomerados K medias.

Centros de los conglomerados finales				
	Conglomerado			
	1	2	3	4
Fe	94.761	52.204	51.400	38.102
Zn	31.981	27.721	26.498	22.364
Ca	.240	.177	.153	.179
Mg	.183	.171	.138	.163
K	1.616	1.232	1.342	1.321
Cu	5.915	9.356	10.013	9.063
Mn	12.872	14.514	12.209	14.149
P	.166	.149	.145	.146
N	3.552	3.332	3.704	3.047
S	23.848	.103	24.198	.767
proteína	22.200	20.822	23.149	19.044

Número de casos en cada conglomerado		
Conglomerado	1	12.000
	2	26.000
	3	35.000
	4	34.000
Válidos		107.000
Perdidos		.000

1.4.6 Variedades destacadas por su alto contenido mineral y de proteína Ojo de cabra (23)

Esta variedad proveniente de San Francisco de Conchos, Chihuahua, destaca por su cantidad de zinc teniendo un total de 52.122 ppm, siendo la mejor con contenido de Zn de las 105 variedades evaluadas, en cuanto a su contenido de Fe fue de 80.565 ppm, lo que la hace una variedad óptima para biofortificar con hierro y



Figura 1 • Variedad (23) Ojo de Cabra, proveniente de San Francisco de Conchos, Chihuahua.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
80.56	52.12	13.368	1.740	5.143	3.555	0.216	1.723	0.198	0.25	20.011	38.383

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
22.21	0.89	0.60	1.30	29.51	51.170	17.560	1.062

Negro (70)

Proveniente de Calera, Zacatecas esta variedad de frijol Negro tiene un contenido de Hierro de 78.678 ppm, para Zinc fue de 17.732 ppm y en cuanto su contenido de proteína fue de 21.05 %. Para el frijol negro se reporta un valor de 68 ppm, para Hierro (Serrano y Goñi, 2004) por lo que esta variedad está por encima de los valores reportados. Es favorable tener diversidad de frijol entre las variedades más Óptimas a biofortificar ya que es importante tener una variabilidad de genotipos y no limitarse a mejorar solamente a las variedades más consumidas.



Figura 2 • Variedad (70) Negro, proveniente de Calera, Zacatecas.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
78.678	17.732	14.155	4.573	6.092	3.368	0.036	1.348	0.19	0.194	21.658	26.533

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
21.0523	0.7666	0.5633	1.1666	29.6368	25.0633	2.1215	-0.9321

Frijol ejotero (82)

La variedad de frijol ejotero (82) traída de Cuauhtémoc, Chihuahua es una variedad silvestre con gran potencial a biofortificar no solo por su alto contenido mineral si no porque

es una variedad que no ha sido modificada de ninguna forma. Esta variedad tiene un contenido de Fe de 75.15 ppm; mientras que su contenido de Zn fue de 40.473 ppm, según Guzmán-

Maldonado et al. (2000) reportaron de 84 a 280 ppm de Fe en frijol cultivado y silvestre, encontrando que este último tiene el doble de contenido que el cultivado. Sin embargo, aunque algunos estudios han mostrado una variación considerable entre los frijoles silvestres y los cultivares modernos, parece que la domesticación no afecta la concentración de hierro y zinc en la semilla (Paredes et al., 2009). Existen relaciones recíprocas entre elementos; por ejemplo, la deficiencia de Fe eleva las concentraciones de Mn, Co, Zn, y Cd (Baxter, 2009). Aunque esta variedad tuvo un aceptable contenido de Fe y Zn, destacó más por su alto contenido de proteína, siendo la variedad con el más alto porcentaje de proteína de las 105 variedades evaluadas con 31.52 % sobre las demás. Esta variedad por ser silvestre es parte importante de la riqueza genética de nuestro país, y es necesario contar con su

caracterización para futuras mejoras, además de mejorar el aporte de proteína a los consumidores al ofrecerles variedades con mayor contenido de proteína.



Figura 3 • Variedad de Frijol ejotero, proveniente de Cuauhtémoc, Chihuahua.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
75.15	40.47	10.19	6.17	9.92	5.04	0.182	1.523	0.095	0.204	25.584	23.783

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
31.52 %	0.97 cm	0.62 cm	1.57 cm	56.09 Kg	63.106	16.4653	1.0461

Pinto Saltillo (97)

Esta variedad proveniente de Namiquipa, Chihuahua, es un frijol grande, de forma oval, de color beige y con muchas manchas color café, lo que la hace más atractiva para el consumidor con respecto a otras variedades del tipo Pinto Nacional, las cuales muestran el color de fondo más oscuro (Sánchez et al., 2006), es cultivada principalmente en estados como Chihuahua, Durango y Zacatecas. Su contenido de Hierro fue de 103.75 ppm, para zinc 28.09 ppm y en cuanto su contenido de proteína fue de 19.88 %. Es una variedad altamente consumida,

sobre todo en el norte del país, tiene una demanda anual aproximada de 370 mil toneladas (Sánchez et al., 2001), por lo que aparte de su óptimo contenido nutricional es una buena opción comercial.



Figura 4 • Variedad (97) Pinto Saltillo, proveniente de Namiquipa, Chihuahua.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
103.753	28.09	16.885	4.483	6.325	3.181	0.152	1.526	0.182	0.282	24.742	28.686

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
19.8800	0.8033	0.4666	1.2600	31.3776	63.1666	16.2164	1.1902

Sangre de Toro (98)

Esta variedad proveniente de Tlayacapan, Morelos es una de las principalmente consumidas en esa zona y una opción viable para el consumo en cuanto a su contenido nutricional se refiere, tiene un contenido de Hierro de 89.225 ppm y 32.978 ppm de Zinc, el contenido de proteína es de 18.0374 %.

Como se menciono anteriormente el color de la testa podría indicar una buena actividad antioxidante como ocurre para otras variedades (Pérez Herrera et al., 2002; Iniestra-González et al., 2005).



Figura 5 • Variedad (98) Sangre de Toro, proveniente de Tlayacapan, Morelos.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
89.225	32.978	13.27	6.783	7.712	2.886	0.18	1.816	0.193	0.229	23.849	28.260

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
18.0374	0.9133	0.6400	1.7333	53.4129	32.410	26.6015	0.2052

Negro (99)

Es otra de las variedades negras que a diferencia de la variedad negro (70) de Calera Zacatecas esta tiene una mayor disponibilidad de Hierro con 87.727 ppm y Zinc 30.855 ppm. Aunque su contenido de proteína fue similar a la variedad (70) con 21.43 %, que coincide con lo reportado por Serrano y Goñi (2004) con un valor de 21,8% de proteína total en frijol común negro.



Figura 6 • Variedad (99) Negro, proveniente de Calera, Zacatecas.

Fe	Zn	Mn	Ni	Cu	N	P	K	Mg	Ca	S	C
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
87.727	30.855	10.65	3.473	7.285	3.43	0.173	1.738	0.223	0.332	24.635	29.237

Proteína	Ancho	Grosor	Largo	Peso	Luminosidad	Croma	Hue
(%)	(cm)	(cm)	(cm)	(g/100)			(rad)
21.4392	0.6300	0.5100	0.9366	19.3184	23.66	1.7824	-0.7885

Peruno (100)

Proveniente de Cuautla, Morelos es generalmente un frijol, grande, de forma oval, muy grueso y color amarillo pálido. Se vende principalmente en Jalisco y Nuevo León. Su contenido de Fe fue de 101.405 ppm, mientras que para Zn fue de 35.787 ppm, su contenido de proteína fue 26.92 %, siendo de los valores más altos, solo por debajo de la variedad silvestre (82) en cuanto a contenido de proteína se refiere. Es una variedad con resultados en general bastante buenos en cuanto a contenido de Fe, Zn y proteína, los cuales son similares a los reportados por Fernández y Sánchez (2017), con 102.02 ppm para Fe y 29.00 ppm para Zn.



Figura 7 • Variedad (100) Peruano proveniente de Cuautla, Morelos

Fe	Zn	Mn	Ni	Cu	N (%)	P	K	Mg	Ca	S	C
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
101.405	35.787	11.052	3.288	6.698	4.308	0.183	1.655	0.188	0.155	24.671	31.927

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
26.92	0.82	0.68	1.36	44.41	69.213	33.452	0.508

Flor de Mayo (101)

La variedad flor de mayo proveniente es otra de las variedades provenientes de Cuautla, Morelos con alto contenido mineral, su contenido de Fe es de 91.062 ppm y 24.825 ppm para Zn, en cuanto a su contenido de proteína fue de 23.29 %, es una variedad muy demandante en el centro sur del país, se cultiva en Zacatecas y Guanajuato, de tamaño mediano a grande, es de color beige claro con manchas lilas, es el segundo frijol claro preferido del país, por lo que también es una variedad óptima para biofortificar con hierro y zinc por su preferencia y su alto contenido mineral.



Figura 8 • Variedad (101) Flor de Mayo proveniente de Cuautla, Morelos

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
91.062	24.825	10.545	2.457	3.953	3.727	0.17	1.66	0.173	0.219	24.483	33.669

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
23.2933	0.78333	0.55667	1.26333	30.97870	50.14000	18.73520	0.65875

Negro (102)

Otra variedad negra, con mayor cantidad de Fe, Zn y proteína en cuanto a sus dos anteriores, Negro (70), y Negro (99), proveniente de Cuautla Morelos, al igual que las variedades 100, 101 y 103 contienen en general un buen contenido mineral, lo que nos podría indicar que la cantidad nutricional de cada variedad está sujeta a el lugar y las condiciones agroclimáticas donde se cultiva. Su contenido de Fe es de 99.767 ppm y 31.853 ppm para Zn, su contenido de proteína fue de 21.72 %, un poco por debajo de lo reportado por Montoya et al. (2008) los

cuales encontraron un 24% proteína total para frijol negro.



Figura 9 • Variedad (102) proveniente de Cuautla, Morelos

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
99.767	31.853	9.037	2.113	6.098	3.476	0.194	1.606	0.201	0.274	24.784	33.669

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
21.7278	0.730	0.55	1.08	23.06	24.9633	1.77366	-0.93122

Pinto (103)

Proveniente también de Cuautla, Morelos, es otra de las variedades óptimas a biofortificar ya que las variedades claras son una de las principales variedades demandantes por los consumidores de este cultivo. Esta Variedad destaca por su alto contenido de Fe ya que fue la más alta de todas 136.417 ppm, mientras que su contenido de Zn fue de 31.81, y su contenido de proteína fue de 19.66 %.



Figura 10 • Variedad (103) proveniente de Cuautla, Morelos

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
136.41	31.81	18.828	5.238	4.218	3.146	0.175	1.464	0.179	0.246	24.554	30.827

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
19.66	0.75667	0.49333	1.31333	29.07617	65.94667	17.59481	1.20987

Negro (104)

La última variedad proveniente de Cuautla, Morelos, con el mejor contenido de Fe y Zn en relación con las otras variedades negras con un contenido de 113.43 ppm para Fe y 34.385 ppm para Zn. En cuanto a su contenido proteínico el cual fue de 22.71 %. Una opción para el frijol negro que es preferente en el centro-sur del país.



Figura 11 • Variedad (104) proveniente de Cuautla, Morelos.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
113.43	34.385	14.492	2.498	4.393	3.6340	0.150	1.688	0.1700	0.2400	24.834	31.399

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
22.71	0.74	0.56	1.14	30.29	26.856	2.028	-1.099

Patol (105)

Esta variedad clara proveniente de Canatlán, Durango, con un contenido mineral de 79.942 ppm para Fe y 22.858 ppm para Zn, es una opción viable para biofortificar, no solo por su alto contenido mineral si no por sus características físicas, ya que es un frijol de grano grande el cual es popularmente consumido en su región proveniente, lo cual nos permite tener más variabilidad de regiones y características variables. En cuanto a su contenido de proteína no fue de los más altos, 17.9326 % pero sigue siendo una variedad sobresaliente en relación a las 105 variedades colectadas.



Figura 12 • Variedad (105) Patol, proveniente de Canatlán, Durango.

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	C (%)
79.942	22.858	11.985	5.317	3.137	2.8690	0.178	1.648	0.2000	0.2500	22.373	34.006

Proteína (%)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (cm)	Peso (g/100)	Luminosidad	Croma	Hue (rad)
17.9326	1.14	0.78	1.85	75.58	83.31	14.80	1.43

1.5 CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias significativas en la calidad nutricional de las 105 variedades de frijol recolectados en todo el país. El análisis de conglomerados arrojó 12 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc y proteína: Ojo de

Cabra (#23, San Francisco de Conchos, Chihuahua), Negro (#70, Calera, Zacatecas), Ejote Silvestre (82, Cuauhtémoc, Chihuahua), Pinto Saltillo (#97, Namiquipa, Chihuahua), Sangre de Toro (#98, Tlayacapa, Morelos), Negro (#99, Dzutoh, Yucatán), Peruano (#100, Cuautla, Morelos), Flor de Mayo (101, Cuautla, Morelos), Negro (#102, Cuautla, Morelos),

Pinto (#103, Cuautla, Morelos); Negro (#104, Cuautla, Morelos); Patol (#105, Canatlán, Durango). Las variedades sobresalientes en cuanto a su contenido de Fe y Zn fueron Pinto (103) para Fe 136.417 ppm y Ojo de Cabra (23) para Zn 52.122 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína con 31.52 % fue el frijol ejotero (82). Estas 12 variedades sobresalientes son importantes incluirlas en un programa de biofortificación con micronutrientes en frijol para mejorar la calidad nutricional y disminuir el problema de desnutrición con micronutrientes en México y en el mundo.

1.6 AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)-México por el apoyo otorgado en la Convocatoria Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales 2015, al Proyecto 1529 “Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México”.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Santos EA, Gómez-Aldapa CA. (2010).** Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol *Phaseolus vulgaris* de las variedades; pinto saltillo, bayo victoria y negro San Luis. *Revista Salud Pública y Nutrición. Ed. Especial*, 9-2010.
- Aguirre-Santos EA, Rodríguez-Miranda J, Rosales-Serna R, Castro-Rosas J, Ochoa-Martínez LA, Valle-Cervantes S, Gómez-Aldapa CA. (2011).** Determinación de tiempos de cocción de frijol común var. Pinto Saltillo utilizando dos métodos. XXXII Encuentro Nacional y I Congreso Internacional Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería (AMIDIQ). Riviera Maya, Quintana Roo. Páginas: 2812-2818.
- Astudillo, C. y Blair, M. (2008).** Contenido de hierro y cinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización con fósforo en 40 variedades de frijol colombianas. *Agronomía Colombiana*, 26 (3), 471-476.
- Amirul-Islam, F.M., K.E. Basford, R.J. Redden, y S. Beebe. 2006.** Preliminary evaluation of the common bean core collection at CIAT. *Plant Genetic Research Newsletters* 145:29-37.
- Baxter, I. 2009.** Ionomics: studying the social network of mineral nutrients. *Current Opinion in Plant Biology* 12:381-386.
- 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(2), 161-167.
- Fernández Valenciano, A., & Sánchez Chávez, E. (2017).** Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9 (18), 133-148.

- Guzmán-Maldonado, S. H., Acosta-Gallegos, J., & Paredes-López, O. (2000).** Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(13), 1874-1881.
- Guzmán-Maldonado, S. H.; Acosta Gallegos, J. A.; Álvarez M., M. A.; García D., S.; Loarca P., G. (2002).** Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agric. Téc. Méx.* 28: 159-173.
- Iniestra-González, J.J., F.J. Ibarra-Pérez, J.A. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán, y R.F. González-Laredo. (2005).** Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia* 39:603-610.
- Montoya, C.A., P. Leterme, N.F. Victoria, O. Toro, W.B. Souffrant, S. Beebe, y J.P. Lailles. (2008).** Susceptibility of phaseolin to in vitro proteolysis is highly variable across common bean varieties (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:2183-2191.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2015).** <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. (Fecha de consulta febrero 09, 2018).
- Paredes, M., Becerra, V., & Tay, J. (2009).** Inorganic nutritional composition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes race Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69, 486-495. doi:10.4067/S0718-58392009000400002
- Pérez-Herrera, P., G. Esquivel-Esquivel, R. Rosales-Serna, y A. Acosta-Gallegos. (2002).** Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52:172-180.
- Raya-Pérez, J., & Gutiérrez-Benicio, G., & Ramírez Pimentel, J., & Covarrubias-Prieto, J., & Aguirre-Mancilla, C. (2014).** Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25 (1), 1-11.
- Rettig M, Ah-Hen K. (2014).** El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur* 42(2): 39-48.
- Romano, S.A., I. Tevés, y L. Cazón. (2010).** Behaviour of mechanically y damaged seeds on the development and yield of normal and abnormal bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Plants. IDESIA (Chile)* 28(2):1-31.
- Sánchez V., I.; F. J. Ibarra P.; R. Rosales S.; S. P. Singh y J. A. Acosta G. (2001).** Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el Altiplano de México. *Agric. Téc. en Méx.* 27: 73-75.
- Sánchez V., I.; Acosta G., J. A.; Ibarra P., F. J; Rosales S., R. y Cuéllar R., E. I. (2006).** Pinto Saltillo, nueva variedad de frijol para el Altiplano de México. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 22. Coahuila, México. 22 p.
- Sánchez, E., Muñoz, E., Sida-Arreola, J. y García, M. (2013).** Estrategia de Innovación para Mejorar la Calidad Nutricional y Capacidad Antioxidante en Frijol a través del Proceso de Biofortificación con Hierro y Zinc. *Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2, pp.14-15.
- Serrano, J., y I. Goñi. (2004).** Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54:36-44.
- Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. A. (2010).** Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked black bean, chickpea, and lentil Mexican varieties

Composición química, digestibilidad de carbohidratos, y capacidad antioxidante de variedades mexicanas cocidas de frijol negro, garbanzo, y lenteja. *CyTA–Journal of Food*, 8(1), 7-14.

Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K. y García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA - Journal of Food*, 14, 1, pp. 131–137.
<http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>.

White P. J., Broadley M. R. (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*. 10 (12): 586-593.

Compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y propiedades fisicoquímicas de 155 variedades de frijol producidas en México

2

Palacio Márquez, Alejandro; Ojeda Barrios, Damaris Leopoldina; Sánchez Chávez, Esteban; Jiménez Castro, Jorge; Hernández Rodríguez, Ofelia Adriana; Guerrero Prieto, Víctor.

2.1 Resumen	41
2.2 Introducción	41
2.3 Resultados	42
2.4 Discusión	48
2.5 Materiales y Métodos	49
2.6 Conclusiones	51
2.7 Bibliografía	52

2

Compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y propiedades fisicoquímicas de 155 variedades de frijol producidas en México

Palacio Márquez, Alejandro; Ojeda Barrios, Damaris Leopoldina; Sánchez Chávez, Esteban;
Jiménez Castro, Jorge; Hernández Rodríguez, Ofelia Adriana; Guerrero Prieto, Víctor.

2.1 RESUMEN

El frijol común ha sido catalogado como un alimento casi perfecto, debido a sus altos contenidos en fibra, proteína, su alta capacidad antioxidante y el gran número de compuestos bioactivos que posee, a los cuales se le han atribuido cualidades en la prevención de enfermedades como diabetes, estrés oxidativo, inflamación intestinal y enfermedades cardiovasculares. El objetivo del presente trabajo de investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas y compuestos bioactivos de 155 variedades de frijol producidas en México. Se analizaron los contenidos de proteína, fibra, grasa, carbohidratos y energía mediante los métodos establecidos por la AOAC, además se obtuvo la capacidad antioxidante (DPPH), el contenido de fenoles totales, flavonoides, antocianinas y ácido fítico. A los resultados se les realizó análisis de conglomerados, correlación y componentes principales mediante SPSS. Se obtuvieron un total de 21 variedades sobresalientes, en donde 3 destacaron en cuanto a su contenido de fenoles y flavonoides, también se obtuvo un segundo grupo compuesto por 18 variedades con altos niveles de proteína, antocianinas y siendo el segundo promedio más elevado de fenoles y flavonoides. La diversidad de frijol obtenida en las variedades sobresalientes genera opciones para programas de biofortificación en base al consumo de cada variedad o su lugar de procedencia.

Palabras clave: Calidad nutricional, *Phaseolus sp.*, biodiversidad.

2.2 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los cambios en la demanda de los alimentos y las tendencias a consumir productos que contengan compuestos benéficos para la salud, además de una promoción hacia los productos de origen vegetal, han obligado a la industria a

encontrar nuevos atributos alimenticios en sus productos, para que estos tengan la capacidad de atraer las nuevas preferencias del mercado sin descuidar la calidad nutricional de los cultivos, siendo uno de los parámetros más importantes que deben ser tomados en cuenta al hablar de alimentación, ya que determinan su funcionalidad en la dieta (1,2).

Las legumbres, como el frijol, la lenteja o el garbanzo han sido considerados como alimentos básicos, debido a su calidad nutricional y a que han demostrado capacidad de mejorar la salud humana. Dentro de este grupo, el frijol es la leguminosa más consumida en el mundo teniendo un promedio per cápita de 6.6 Kg. Se conocen alrededor de 150 especies de frijoles, de las cuales aproximadamente 70 variedades tienen su centro de origen en México con gran variedad de tamaños y colores (3,4).

Entre las propiedades nutritivas que posee el frijol destaca su alto contenido proteico y en menor medida su aportación de carbohidratos, vitaminas y de una buena aportación de fibra y minerales como calcio, hierro y zinc, además el frijol es rico en antioxidantes debido a sus altos contenidos de fenoles (5,6). El contenido de proteína en frijol oscila entre el 15 y 30 %, una porción de 90 g de frijol aporta de 7 a 8 g de proteína, lo cual constituye el 15 % del aporte diario recomendado, también presentan el contenido suficiente para satisfacer las necesidades básicas diarias de los aminoácidos lisina (6.4-7.6 g.100 g⁻¹ de proteína) y de fenilalanina más tirosina (5.3-8.2 g.100 g⁻¹ de proteína) (7,8). También el frijol es buena fuente de fibra con valores que varían de los 14 g hasta los 19 g por cada 100 g del alimento crudo, del cual puede llegar a alcanzar un 50 % de fibra soluble, la cual ha sido relacionada con una reducción en los niveles de colesterol (9).

El frijol común ha sido catalogado como un alimento casi perfecto, debido a sus altos contenidos en fibra, proteína, su alta capacidad antioxidante y el gran número de compuestos bioactivos que posee, a los cuales se le han

atribuido cualidades en la prevención de enfermedades como diabetes, estrés oxidativo, inflamación intestinal y enfermedades cardiovasculares (10,11). Dichos efectos se relacionan a la alta capacidad antioxidante, otorgada por altas concentraciones de fenoles, flavonoides y en menor medida de antocianinas y ácido fólico, que a su vez generan efectos antimutagénicos y antígenotóxicos (12). Sin embargo, Suárez-Martínez et al. (7), sugieren que es necesario hacer esfuerzos para aumentar el consumo de frijol, dando a conocer a la población los beneficios que se le atribuyen. En base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas y compuestos bioactivos de 155 variedades de frijol producidas en México.

2.3 RESULTADOS

Las variedades de frijol elegidas mostraron gran diversidad en los resultados de las 9 variables debido a su diferente tamaño, color y a la región geográfica donde fueron obtenidas (**Cuadro 1**), se observaron resultados favorables en cuanto al porcentaje de proteína teniendo un resultado medio de 23.16 % con un rango de 17.48 a 29.79 %, además se obtuvieron rangos de 0.41 a 2.97 % para el contenido de grasa, 1.22 a 7.82 % para el caso de fibra cruda y de 43.95 a 71.74 % para el parámetro de carbohidratos. En relación con el contenido de compuestos bioactivos, el rango de capacidad antioxidante tuvo una variación de 0.54 a 96.76 % con un valor medio de 64.02 %; a su vez, el contenido de fenoles, obtuvo resultados entre 0.06 y 2.5 mgGA.g⁻¹, mientras que para flavonoides, el rango se ubicó 0.20-8.83 mgCE.g⁻¹ y para los parámetros antocianinas y ácido fólico, se obtuvieron rangos de 0.21 a 2.58 mgC3g⁻¹ para antocianinas y de 0.05 a 1.45 mg.g⁻¹ en el caso del ácido fólico.

Cuadro 1 • Valor medio de compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas de 155 genotipos de frijol

Variable	Media	Máximo	Mínimo	DE	CV
Grasa (%)	1.38	2.97	0.41	0.52	0.38
Fibra (%)	3.31	7.82	1.22	1.18	0.36
Carbohidratos (%)	61.37	71.74	43.95	6.27	0.10
Proteína (%)	23.16	29.79	17.48	2.81	0.12
Energía metabolizable (Kcal)	350.59	385.51	306.10	21.30	0.06
Capacidad antioxidante (%)	64.02	96.76	0.54	29.16	0.46
Fenoles (mgGA/g)	0.77	2.50	0.06	0.45	0.58
Flavonoides (mgCE/g)	1.60	8.83	0.20	1.33	0.83
Antocianinas (mgC3g/g)	1.25	2.58	0.21	0.55	0.44
Ácido fólico (mg/g)	0.51	1.45	0.05	0.21	0.41

En el análisis de correlación de Pearson, los parámetros de proteína y fibra mostraron una correlación negativa con el porcentaje de

carbohidratos y la energía metabolizable (**Cuadro 2**), lo cual se podría explicar por el método de cálculo de carbohidratos que a su vez

es el parámetro que más aporta para el cálculo de energía metabolizable; también se encontró una correlación positiva entra dichos parámetros con capacidad antioxidante, mientras que para los compuestos bioactivos se encontró una alta correlación entre el contenido de fenoles con flavonoides y antocianinas además de que ambos se correlacionan con capacidad antioxidante. Por último, el ácido fítico presentó una correlación negativa con carbohidratos.

Cuadro 2 • Análisis de correlación de Pearson

	Grasa	Fibra	Carbohidratos	Proteína	Energía metabolizable	Capacidad antioxidante	Fenoles	Flavonoides	Antocianinas	Ácido fítico
Grasa	1	.063	-.056	-.123	.099	-.012	-.080	.021	.024	.047
Fibra	.063	1	-.476**	.086	-.503**	-.303**	.115	-.087	-.010	-.012
Carbohidratos	-.056	.476**	1	-.542**	.864**	.307**	-.057	.207**	-.061	-.176*
Proteína	-.123	.086	-.542**	1	-.094	-.066	-.030	-.123	.078	.152
Energía metabolizable	.099	-.503**	.864**	-.094	1	.325**	-.105	.180*	-.021	-.111
Capacidad antioxidante	-.012	.303**	.307**	-.066	.325**	1	.021	.185*	.163*	.043
Fenoles	-.080	.115	-.057	-.030	-.105	.021	1	.354**	.221**	.008
Flavonoides	.021	-.087	.207**	-.123	.180*	.185*	.354**	1	.121	.145
Antocianinas	.024	-.010	-.061	.078	-.021	.163*	.221**	.121	1	-.147

	.765	.899	.451	.332	.792	.043	.006	.132		.069
Ácido fítico	.047	-.012	-.176*	.152	-.111	.043	.008	.145	-.147	1
	.560	.882	.028	.059	.171	.599	.917	.072	.069	

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

El análisis de conglomerados (**Cuadro 3**) se realizó en base a las propiedades fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos, obteniendo como resultado cinco agrupaciones en base a sus similitudes, de las cuales se seleccionaron los conglomerados 2 y 3 debido a que las variedades que los conformaban presentaron los valores más altos para proteína, fibra y antocianinas (conglomerado 1) y para fenoles, flavonoides (conglomerado 2). Se obtuvieron un total de 21 variedades sobresalientes (**Cuadro 4**), en donde 3 destacaron en cuanto a su contenido de fenoles y flavonoides, también se obtuvo un segundo grupo compuesto por 18 variedades con altos niveles de proteína, antocianinas y siendo el segundo promedio más elevado de fenoles y flavonoides, además de un bajo porcentaje de carbohidratos y altos contenidos de fibra y grasa, lo que convierte a esas variedades en futuros alimentos con un bajo índice glucémico (13). Se puede observar una gran diversidad dentro del grupo sobresaliente, donde se encuentran variedades de diferentes regiones del país y diferentes formas tamaños y colores del grano de frijol. El análisis de conglomerados (**Cuadro 3**) se realizó en base a las propiedades fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos, obteniendo como resultado cinco agrupaciones en base a sus similitudes, de las cuales se seleccionaron los conglomerados 2 y 3 debido a que las variedades que los conformaban presentaron los valores más altos para proteína, fibra y antocianinas (conglomerado 1) y para fenoles, flavonoides (conglomerado 2). Se obtuvieron un total de 21 variedades sobresalientes (**Cuadro 4**), en donde

3 destacaron en cuanto a su contenido de fenoles y flavonoides, también se obtuvo un segundo grupo compuesto por 18 variedades con altos niveles de proteína, antocianinas y siendo el segundo promedio más elevado de fenoles y flavonoides, además de un bajo porcentaje de carbohidratos y altos contenidos de fibra y grasa, lo que convierte a esas variedades en futuros alimentos con un bajo índice glucémico (13American Diabetes Association, 2015).13). Se puede observar una gran diversidad dentro del grupo sobresaliente, donde se encuentran variedades de diferentes regiones del país y diferentes formas tamaños y colores del grano de frijol.

Cuadro 3 • Centro de los conglomerados finales para 155 variedades de frijol

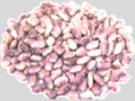
	Conglomerado				
	1	2	3	4	5
No de Variedades	34	18	3	52	48
Proteína (%)	23.1 5	26.9 5	20.3 0	20.5 1	24.5 0
Fenoles(MgGA /g)	0.62	0.93	1.85	0.91	0.86
Flavonoides (MgCE/g)	1.54	1.54	6.65	1.51	1.29
Antocianinas (MgC3g/g)	1.22	1.50	1.00	1.20	1.09
Ácido fítico (Mg/g)	0.47	0.58	0.58	0.48	0.60
Grasa (%)	1.30	1.52	1.66	1.41	1.26
Fibra (%)	2.75	4.80	3.31	3.54	3.62
Carbohidratos (%)	67.8 6	50.9 0	70.1 6	61.7 7	57.3 1

Por otro lado, el análisis de componentes principales tuvo información de 6 variables que incluyeron compuestos bioactivos, contenido de

proteína y contenido de carbohidratos (**Cuadro 5**). Los tres primeros componentes explicaron 71.5 % de la variación total: el primero 28.1 %, segundo 24.3 % y tercero 19.1 %. En el primero las variables más significativas fueron el contenido de carbohidratos, fenoles y flavonoides; además existió un contraste en el contenido de proteína con carbohidratos. En el

segundo componente, existió un contraste entre los compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, antocianinas y ácido fítico) y el contenido de proteína con el contenido de carbohidratos. Mientras que en el tercer componente contrastó la concentración de ácido fítico con la de antocianinas.

Cuadro 4 • Variedades de frijol sobresalientes en base al análisis de conglomerados

No.	Variedad	Localidad	Proteína	FT	FL	AM	Fotografía
6	Flor de Mayo	INIFAP, Durango	26.23	2.4594	3.0643	1.3726	
10	Pinto Saltillo	INIFAP, Durango	27.52	0.4860	1.9956	1.0409	
18	Negro Criollo	Tulancingo, Oaxaca	26.37	2.0041	0.9420	0.8939	
20	Pinto Americano	S.F. Conchos, Chihuahua	25.72	0.8277	2.4886	1.3070	
43	Pelón Oscuro	Teapa, Tabasco	26.75	0.5682	1.3183	0.8617	
54	Frijol Mejenives	Dzutoh, Yucatán	29.08	0.4476	0.7689	0.9268	
57	X-Pelón	Dzutoh, Yucatán	29.37	2.4982	1.6795	2.5149	
63	Pelón Rojo	Teapa, Tabasco	28.72	1.1054	1.7473	1.3593	
67	Higuera azufrado	Culiacán, Sinaloa	28.86	0.3470	0.7652	1.1472	

73	Azufrado	Guadalajara, Jalisco	24.91	0.5433	1.1490	1.7489	
74	Alubia	Guadalajara, Jalisco	25.98	0.3050	0.9533	0.8260	
82	Ejotero Silvestre	San Juanito, Chihuahua	29.79	0.2713	1.3748	1.6482	
84	Negro guaca	Tuxtepec, Oaxaca	28.13	1.0155	1.3371	1.8068	
87	Negro	Tuxtepec, Oaxaca	27.44	0.7868	0.6447	1.8480	
90	Ayocote Amarillo	Atlixco, Puebla	24.41	0.7766	2.2628	1.0843	
92	Alubia	Atlixco, Puebla	24.60	0.2615	0.7275	2.3701	
100	Peruano	Cuatla, Morelos	27.19	0.6062	0.5507	2.1475	
101	Flor de Mayo	Cuatla, Morelos	24.07	1.4264	3.9825	2.1341	
114	Frijolón Amarillo	Nochixtlán, Oaxaca	19.52	2.3486	8.8254	0.7125	
133	Frijolón Negro	Ocotlán, Oaxaca	21.00	1.2383	5.5441	0.9129	
138	Frijolón 1	Centro, Oaxaca	20.38	1.9739	5.5817	1.3649	

Cuadro 5 • Componentes principales de seis variables de calidad en 155 variedades de frijol

Variable	Componentes Principales (CP)		
	1	2	3
Proteína (%)	-.810	.239	-.070
Fenoles (MgGA/g)	.207	.772	-.034
Flavonoides (MgCE/g)	.446	.633	.356
Antocianinas (MgC3g/g)	.045	.545	-.614
Ácido fítico (Mg/g)	-.306	.215	.795
Carbohidratos (%)	.832	-.249	.075

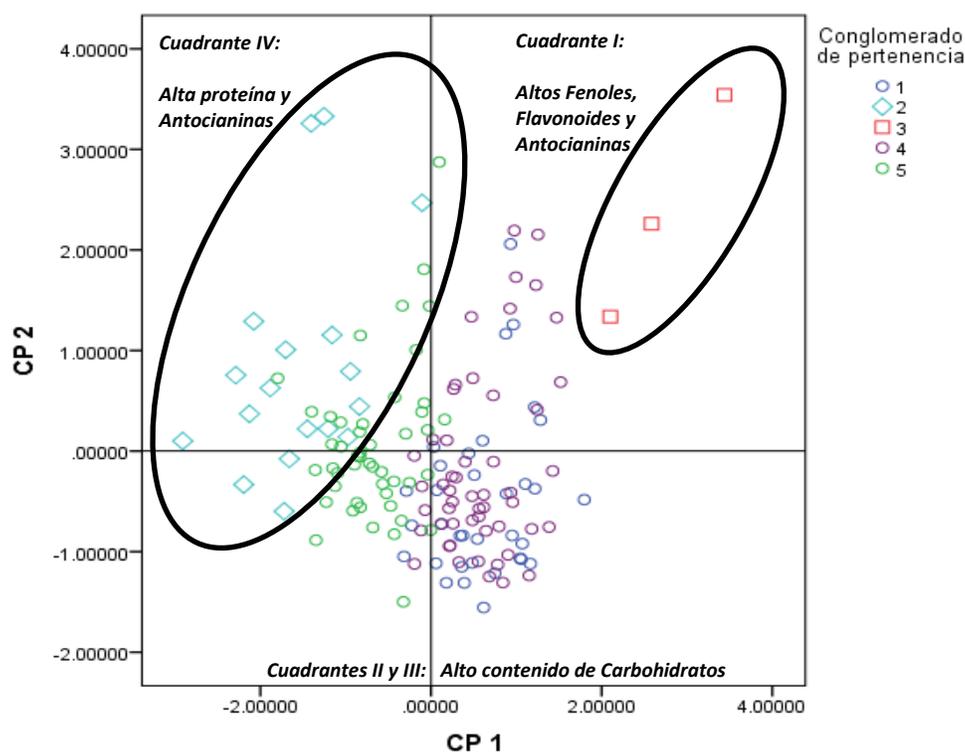


Figura 1 • Distribución espacial de 155 variedades de frijol en base a sus dos primeros componentes y agrupadas según el análisis de conglomerados

La distribución espacial de variedades se realizó en base a los 2 primeros componentes (**Figura 1**), se puede observar en el cuadrante I (superior-derecha) una tendencia de agrupamiento en base a las altas concentraciones de los compuestos bioactivos evaluados, a su vez el cuadrante IV (superior-izquierda) agrupa

variedades con altas concentraciones en compuestos bioactivos y además agrega variedades con altos niveles de proteína. Por último, en los cuadrantes II y III (Inferior-derecha e inferior-izquierda) se encontraron aquellas variedades con un alto contenido de

carbohidratos, pero que no destacaron en los niveles de las demás variables evaluadas.

2.4 DISCUSIÓN

El contenido de proteína el resultado medio de 23.16 %, se ubica por encima del reportado por el departamento de agricultura de los Estados Unidos (21-22 %) y con un 11.61 % de las variedades evaluadas por encima del rango (15-26.35 %) encontrado para variedades de frijol común mexicanas (14, 15). Además, se registraron datos muy similares para harina cruda de frijol, a los reportados en trabajos anteriores para las variables de Energía metabolizable, grasa y carbohidratos, mientras que para los valores de fibra el rango encontrado (1.22-7.82 %) se encuentra muy por debajo del promedio general de fibra para variedades de frijol a nivel mundial (7, 16).

En relación con el contenido de compuestos bioactivos, el valor medio encontrado para de capacidad antioxidante supera por un 8.23 % a lo reportado por Boateng et al. (17), quien encontró un valor medio de 55.97 % en variedades de color rojo, negro y pinto procedentes de Alabama, EU. A su vez, Garretson et al. (18), reportaron un valor máximo de 94.3 % para frijoles morados de la variedad Koronis; estos estudios demuestran que nuestras variedades se encuentran dentro del rango descrito para capacidad antioxidante a nivel mundial. En contra parte, se pueden observar que, un 62 % de las variedades superaron el valor más alto encontrado por Chávez-Mendoza y Sánchez (15) para variedades mexicanas, los cuales encontraron una variedad Flor de Junio con un porcentaje de inhibición de 29 %. En cuanto al contenido de fenoles, los resultados se encuentran por debajo de los valores máximos publicados por Garretson et al. (18), Akond et al. (12) y Gan et al. (19); sin embargo, 8 variedades registraron valores por encima del rango para variedades mexicanas (0.9-2.11 mgGA.g⁻¹) reportado por Espinoza-Alonso et al. (20).

Por otra parte, el rango obtenido para flavonoides (0.20-8.83 mgCE.g⁻¹) se encuentra dentro de lo reportado por diversos investigadores (18, 19). Mientras que para los parámetros antocianinas y ácido fítico se registraron valores máximos por encima de lo reportado por Akond et al., (12, 21) en variedades procedentes de Colombia, EUA, Brasil e India. En cuanto a los resultados previos en variedades mexicanas, antocianinas superó el rango de 0.01–1.85 mgC3g.g⁻¹ publicado por Espinoza-Alonso et al. (20) para 62 variedades de frijol común. Por el contrario, el contenido de ácido fítico obtuvo una media de 1.45 mg.g⁻¹, lo que lo coloca 0.08 mg.g⁻¹ por debajo de la media publicada por Iniestra-González et al. (22) en 16 variedades de frijol de diferentes colores de testa.

El análisis de correlación de Pearson (**Cuadro 2**), mostró una alta correlación entre el contenido fenoles, flavonoides, antocianinas y la capacidad antioxidante, esto se debe, en el caso del frijol, debido a que la actividad antioxidante está relacionada con el contenido de compuestos fenólicos que poseen (19, 23, 24).

En relación al análisis de conglomerados (**Cuadro 3**), el contenido de ácido fítico no se tomó en cuenta a la hora de seleccionar los grupos sobresalientes, debido a que su capacidad como compuesto benéfico o antinutricional no depende del contenido ni de la fuente que provenga, más bien depende de la dieta que siga el consumidor ya que en una dieta basada en granos y cereales con bajo aporte de proteína mineral el ácido fítico puede actuar de manera negativa, en contra parte en una dieta balanceada y con disponibilidad de micronutrientes, el ácido fítico expresa su valor como compuesto bioactivo (25).

Las variedades sobresalientes, según el análisis de conglomerados, mostraron gran diversidad, FIRA (3), indican que el frijol se ubica en tres grandes grupos de consumo: muy preferente (Azufrado, Mayocoba, Negro Jamapa, Peruano, Flor de mayo y Flor de junio), preferentes (Garbancillo, Manzano, Negro y Pinto nacional)

y en no preferentes (Alubia, Bayo, Negro Zacatecas, Ojo de Cabra y Pinto Mexicano). Por lo que, dentro de los resultados obtenidos, se encuentra al menos una variedad de los frijoles mas consumidos dentro del territorio nacional. También se obtuvieron 7 variedades de frijol negro y pinto, los cuales en conjunto aportan mas del 60 % de la producción nacional (3, 26).

2.5 MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1 Selección del material

Se utilizaron 153 variedades de frijol en grano, representativas de todo México, en base a la preferencia de consumo de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Sinaloa, Tabasco, Yucatán, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Jalisco, Morelos, Guanajuato, Michoacán y Estado de México, además de 2 muestras provenientes de Cuba seleccionadas por su calidad nutricional.

2.5.2 Reactivos utilizados

Se utilizaron los siguientes reactivos: sulfato de potasio (99.4%), ácido sulfúrico (97%), hidróxido de sodio (97%), ácido bórico (100%), ácido clorhídrico (38%), éter de petróleo (35-60 °C), alcohol isoamílico (99.7%), metanol (99.97 %), carbonato de sodio (100%), cloruro de potasio (99%) y acetato de sodio (99.3%), todos ellos obtenidos de JT Baker (USA), además se utilizaron DPPH, nitrito de sodio (99%), folin-ciocalteau, cloruro de aluminio (99%) y catequina (98%) adquiridos de Sigma-aldrich (USA) y ácido gálico (99.5%) proveniente de CTR (MEX).

2.5.3 Variables evaluadas

Una vez obtenidos los materiales de frijol, estos se acondicionaron para realizar los análisis de propiedades fisicoquímicas y compuestos bioactivos, que se determinaron de acuerdo con la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (27) y conforme a lo establecido a las Normas

Oficiales Mexicanas vigentes. Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

Determinación de propiedades fisicoquímicas

Proteína

La determinación de proteína se realizó utilizando el método Kjeldahl de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (27). Se pesó 1 g de muestra homogeneizada en un matraz de digestión Kjeldahl, se agregaron 3 perlas de ebullición, 10 g de sulfato de potasio y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado para su digestión. Cuando la mezcla se tornó clara se dejó enfriar y se le adicionó 200 ml de agua tridestilada. Se conectó al destilador mientras se agregaban 100 ml de hidróxido de sodio al 30 %, se destiló y se colectó al menos 150 ml en un matraz que contenía 50 ml de ácido bórico al 3 % y se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. Los resultados obtenidos se multiplicaron por el factor 6.25 y se expresaron en porcentaje.

Grasa total

La determinación de la grasa de las muestras de frijol se realizó mediante el método Goldfish (27). Se prepararon los matraces Goldfish secándolos en la estufa hasta alcanzar el peso constante. Se montó el equipo LABCONCO y dentro de papeles filtro se colocó la muestra y se tapó con algodón y se introdujo dentro del equipo. Se agregó el solvente (éter de petróleo) y se dejó en reflujo durante 2 horas y media. Después de terminada la extracción, se recuperó el solvente por medio de una destilación, quedando únicamente la grasa en el matraz. Finalmente, se pesó el matraz con el residuo y se determinó el porcentaje de grasa de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-427-1982.

Fibra cruda

Se determinó mediante la Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978. A partir de la muestra que anteriormente fue desengrasada. Se registró el peso de la muestra y transfirió a los vasos para fibra, a continuación, a cada vaso se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25%

con 1 ml de alcohol isoamílico como antiespumante. Se dejó la mezcla durante 30 minutos en ebullición, al finalizar se realizaron enjuagues para eliminar los residuos de los reactivos y al mismo tiempo neutralizar la mezcla, posteriormente se le añadió a la muestra 200 ml de hidróxido de sodio al 1.25% y se dejó hervir durante otros 30 minutos, a su término se realizaron enjuagues en fibra de vidrio hasta llegar a la neutralidad. Posteriormente, se colocó la fibra de vidrio con muestra en la cápsula y se introdujeron a la estufa, se dejó secar durante 12 horas para asegurar que la muestra estuviera perfectamente seca. Concluido el secado se pesó la cápsula con la fibra de vidrio y muestra, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de fibra contenida en cada una de las muestras.

Carbohidratos totales

La determinación de los carbohidratos se realizó por diferencia de los otros parámetros y se reportó en porcentaje.

Energía metabolizable

La energía contenida en cada una de las muestras fue medida por la suma de las calorías contenida en carbohidratos, grasa y proteína, calculadas mediante el sistema Atwater, reportado por Acheson et al (28). La energía se expresó en Kcal.

Extracción de compuestos bioactivos

Se maceró 1 g de frijol crudo con 10 ml de metanol al 80% y se centrifugaron a 6000 rpm por 10 minutos a 4 °C, posteriormente se extrajo la alícuota para medir los siguientes cuatro parámetros.

Capacidad antioxidante

Para la determinación de la actividad antioxidante se utilizó el método DPPH descrito por Brand-Williams et al. (29), para el cual se tomaron 500 µl de cada muestra y se le adicionó a cada una 2.5 ml de DPPH al 0.1mM preparado en metanol al 80 %. Todas las reacciones fueron llevadas a cabo durante 1 hora a temperatura ambiente y en ausencia de luz, una vez

transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 517 nm. La actividad antioxidante se expresa como porcentaje de inhibición lo cual corresponde a la cantidad de radical DPPH neutralizado por el extracto a una determinada concentración, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\%I=(A-A1)/A*100$$

Donde: **A** es absorbancia del blanco, **A1** es absorbancia de la muestra y **%I** es el porcentaje de inhibición.

Fenoles totales

Los fenoles totales fueron determinados por colorimetría frente una curva patrón de ácido gálico mediante el método de Folin-Ciocalteu (30); el cual consiste en tomar 250 µL de muestra a la cual se le adicionó 750 µL de carbonato de sodio al 2 %, posteriormente se agregaron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu al 50 % y se aforo con agua destilada hasta completar un volumen de 2.625 ml, por último se agitaron en un vortex y se incubaron a temperatura ambiente por 60 min, luego de esto se midió a una absorbancia de 725 nm. Los resultados fueron expresados en miligramos de ácido gálico por gramo (mgGA.g⁻¹).

Flavonoides

El análisis de flavonoides fue realizado siguiendo el método de Zhishen et al., (31), se tomó 250 µL de muestra y se le adicionó 75 µL de nitrito de sodio al 5 %, se agitó mediante un vortex y se dejó reposar la reacción por 5 minutos, una vez transcurrido el tiempo se le agregaron 150 µL de cloruro de aluminio al 10 % junto con 500 µL de hidróxido de sodio, por último, se aforó con agua destilada hasta completar un volumen de 3 ml. Las muestras se incubaron por 45 minutos para después medir la absorbancia a 510 nm; los flavonoides fueron cuantificados basados sobre una curva estándar de catequina y los resultados fueron expresados en mg de catequina por gramo de peso seco (MgCE.g⁻¹).

Antocianinas monoméricas

Para determinar el contenido de antocianinas monoméricas se utilizó el método diferencial por pH descrito por Wrolstad (32). La reacción se dividió en 2 fases.

La primera consistió en tomar 0.5 ml de muestra y adicionar 2 ml de cloruro de potasio al 0.25 M ajustado a un pH de 1.0, luego se agitó en vortex y se midió la absorbancia a 460 nm. Para la segunda fase, se tomaron 0.5 ml de muestra y se le agregaron 2 ml de acetato de sodio al 0.4 M ajustado a un pH de 4.5, y se realizó el mismo proceso que en la fase uno, con la diferencia de que se midió a una longitud de onda de 710 nm. El contenido de antocianinas monoméricas fue calculado utilizando la siguiente formula:

$$((A-B)*(449.2)*(0.2)*(1000))/26900$$

Donde: **A-B** es la diferencia entre absorbancias entre la fase 1 y fase 2, **449.2** es el peso molecular del cyanidine-3-glucoside, **0.2** el factor de dilución, **1000** es una constante y **26900** es el coeficiente de extinción molecular del cyanidine-3-glucoside. Los resultados fueron reportados como mg de cyanidine-3glucoside por gramo de muestra ($\text{mgC3G}\cdot\text{g}^{-1}$).

Ácido fítico

Para la determinación del ácido fítico se utilizó el método propuesto por McKie y McCleary (33), para el cual primero se obtuvo el fosforo total por el método de metavanadato de amonio en un rango de absorción de 430 nm frente a una curva patrón de fosfato de potasio. Una vez obtenidos los resultados se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Ácido fítico} = (\text{Fosforo total})/0.282$$

En donde 0.282 es un factor de conversión de fosforo total a ácido fítico. Los resultados fueron expresados en gramos de ácido fítico por cada 100 g de peso seco de muestra.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de correlación de Pearson, además un análisis de conglomerados de K

medias y un análisis de componentes principales mediante el paquete estadístico SPSS (34).

2.6 CONCLUSIONES

Se obtuvieron 21 variedades sobresalientes, en base a las variables evaluadas, en donde 3 destacaron por sus altos niveles de fenoles y flavonoides; por otro lado, 18 variedades más destacaron por un alto nivel de proteína, además de niveles aceptables de antocianinas, ácido fítico y un bajo contenido de carbohidratos.

Las variedades Frijolón 1, Frijolón amarillo y Frijolón negro destacaron por un alto contenido de compuestos bioactivos por lo que se recomienda incorporarlas a un programa de biofortificación para mejorar la calidad nutricional del frijol; mientras que las 18 variedades restantes, por sus altos contenidos en proteína, se recomienda usarlas en programas de mejoramiento como una alternativa de proteína vegetal con buen índice glucémico.

La diversidad de frijol obtenida en las variedades sobresalientes genera opciones para programas de biofortificación en base al consumo de cada variedad o su lugar de procedencia.

2.7 BIBLIOGRAFÍA

1. **Sida-Arreola, J. P., Sánchez, E., Ávila-Quezada, G. D., Acosta-Muñiz, C. H., & Zamudio-Flores, P. B.** Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas y su impacto en la nutrición y salud humana. *Tecnociencia Chihuahua*. **2015**, 9(2): 67-74.
2. **Gutierrez, J.** Calidad De Vida, Alimentos Y Salud Humana: Fundamentos Científicos; 1st ed.; Ediciones Díaz de Santos: Madrid. **2012**, pp. 64-66. ISBN: 9788499690728.
3. **FIRA.** Panorama Agroalimentario: Frijol. *Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura*. **2016**, pp.1-37.
4. **Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. A.** Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked black bean, chickpea, and lentil Mexican varieties (Composición química, digestibilidad de carbohidratos, y capacidad antioxidante de variedades mexicanas cocidas de frijol negro, garbanzo, y lenteja). *CyTA–J. Food*. **2010**, 8(1), 7-14. <https://doi.org/10.1080/19476330903119218>
5. **Korus, J., Gumul, D., & Czechowska, K.** Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technol. Biotech.* **2007**, 45(2), 139-146.
6. **Ulloa A, Ulloa P, Ramírez J, Ulloa B.** (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Rev. Fuente*. **2011**, 3(8):5-9.
7. **Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T.** Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA–J. Food*. **2016**, 14(1), 131-137. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>
8. **Mederos, Y.** Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). [Quality indicators in bean (*Phaseolus vulgaris* L.)]. *Cultiv. Trop.* **2006**, 27, 55-63.
9. **Messina, V.** Nutritional and health benefits of dried beans. *Am. J. Clin. Nutr.* **2014**, 100(suppl_1), 437S-442S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071472>
10. **Cámara, C. R., Urrea, C. A., & Schlegel, V.** (2013). Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food: Implications on human health. *Agriculture*. **2013**, 3(1), 90-111. <https://doi.org/10.3390/agriculture3010090>
11. **Xu, B., & Chang, S. K.** Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, 57(11), 4754-4764. <https://doi.org/10.1021/jf900695s>
12. **Akond, A. S. M. G. M., Khandaker, L., Berthold, J., Gates, L., Peters, K., Delong, H., & Hossain, K.** Anthocyanin, total polyphenols and antioxidant activity of common bean. *Am. J. Food Tech.* **2011**, 6(5), 385-394. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.385.394>
13. **American Diabetes Association.** Índice glucémico y diabetes. (url) <http://www.diabetes.org/es/alimentos-y-actividad-fisica/alimentos/que-voy-a-comer/compression-de-los-carbohidratos/indice-glucemico-y-diabetes.html> (Consulta 28-09-18).
14. **USDA.** Food Composition Databases Show Foods -- Beans, pinto, mature seeds, raw (Includes foods for USDA's Food Distribution Program). [url] <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/16042?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=PINTO+BEANS%2C+UPC%3A+078742371467&ds=SR&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=> [Consulta 25-09-2018].
15. **Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E.** Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules*. **2017**, 22(8), 1360. <https://doi.org/10.3390/molecules22081360>

16. **Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., & Loarca-Piña, G.** Chemical composition and in vitro polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci.* **2009**, 74(7), 59-65. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x>
17. **Boateng, J., Verghese, M., Walker, L. T., & Ogutu, S.** (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.). *LWT-Food Sci. Technol.* **2008** 41(9), 1541-1547. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.025>
18. **Garretson, L., Tyl, C., & Marti, A.** Effect of Processing on Antioxidant Activity, Total Phenols, and Total Flavonoids of Pigmented Heirloom Beans. *J. Food Quality.* **2018**, Article ID 7836745, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/7836745>
19. **Gan, R. Y., Wang, M. F., Lui, W. Y., Wu, K., Dai, S. H., Sui, Z. Q., & Corke, H.** Diversity in Antioxidant Capacity, Phenolic Contents, and Flavonoid Contents of 42 Edible Beans from China. *Cereal Chem. J.* **2017**, 94(2), 291-297. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0061-R>
20. **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.). *J. Agric. Food Chem.* **2006**, 54(12), 4436-4444. <https://doi.org/10.1021/jf060185e>
21. **Akond, A. G. M., Heath Crawford, J. B., Talukder, Z. I., & Hossain, K.** Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common bean. *Am. J. Food Tech.* **2011**, 6(3), 235. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.235.243>
22. **Iniestra-González, J. J., Ibarra-Pérez, F. J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., & González-Laredo, R. F.** (2005). Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia.* **2005**, 39(6).
23. **Huber, K., Brigide, P., Bretas, E. B., & Canniatti-Brazaca, S. G.** Phenolic acid, flavonoids and antioxidant activity of common brown beans (*Phaseolus vulgaris* L.) before and after cooking. *J. Nutr. Food Sci.* **2016**, 6, 1-7. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000551>
24. **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. *Chil. J. Agr. Res.* **2018**, 78(2), 255-265. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000200255>
25. **Díaz-Batalla, L., Widholm, J. M., Fahey, G. C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O.** Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* **2006**, 54(6), 2045-2052. <https://doi.org/10.1021/jf051706l>
26. **Lara-Flores, M.** El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria UNAM.* 2015, 16(2): Artículo 9.
27. **Association of Official Analytical Chemist (AOAC).** *Oficial Methods of Analysis (17th). Ed.* **2000** AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU.
28. **Acheson, K. J., Campbell, I. T., Edholm, O. G., Miller, D. S., & Stock, M. J.** The measurement of food and energy intake in man—an evaluation of some techniques. *Am. J. Clin. Nutr.* **1980**, 33(5), 1147-1154. <https://doi.org/10.1093/ajcn/33.5.1147>.
29. **Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T.** (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 1995, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
30. **Peyrat-Maillard, M. N., Bonnely, S., & Berset, C.** Determination of the antioxidant activity of phenolic compounds by

- coulometric detection. *Talanta*. **2000**, 51(4), 709-716.
[https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(99\)00331-8](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(99)00331-8)
31. **Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W.** The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chem.* **1999**, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)
 32. **Wrolstad, R. E.** Color and Pigment Analysis in Fruit Products. *S Bulletin*. **1976**, 624, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis.
 33. **McKie, V. A., & McCleary, B. V.** (2016). A novel and rapid colorimetric method for measuring total phosphorus and phytic acid in foods and animal feeds. *J. AOAC Int.* **2016**, 99(3), 738-743. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0029>
 34. **SPSS 2011.** IBM SPSS statistics base 20. Chicago, IL: SPSS Inc.

Capacidad antioxidante y fitonutrientes en respuesta al color de la testa en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

3

Hernández Figueroa, Karla Ivonne; Sánchez Chávez, Esteban; Muñoz Márquez, Ezequiel; Sida Arreola, Juan Pedro; Licón Trillo, Lorena Patricia; Palacios Mónarrez, Abdon; Díaz García, Martín.

3.1 Resumen	57
5.2 Introducción	57
5.3 Resultados y Discusión	58
5.4 Materiales y métodos	67
5.5 Conclusiones	70
5.6 Bibliografía	71

3

Capacidad antioxidante y fitonutrientes en respuesta al color de la testa en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Hernández Figueroa, Karla Ivonne; Sánchez Chávez, Esteban; Muñoz Márquez, Ezequiel; Sida Arreola, Juan pedro; Licón Trillo, Lorena Patricia; Palacios Mónarrez, Abdon; Díaz García, Martín.

3.1 RESUMEN

El frijol forma parte importante de la dieta del mexicano desde hace miles de años, es una leguminosa rica en nutrientes y compuestos nutraceuticos, sin embargo se requieren estudios de sus características químicas y físicas para realizar proyectos de biofortificación. El trabajo tuvo como objetivo estudiar la influencia del color de la testa de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con la capacidad antioxidante y los fitonutrientes. Se recolectaron trece variedades; doce mexicanas y una cubana, las cuales se diferencian en su color, se incluyeron los siete grupos principales de colores en testa (Negro, Blanco, Amarillo, Morado, Bayos, Pintos y Moteado), se evaluó el color de testa, los fitonutrientes y la capacidad antioxidante en testa y cotiledón. Se encontraron diferencias significativas de concentraciones en las variables estudiadas. En testa los valores máximos fueron de Ca, Mg y Fe y de capacidad antioxidante, en cotiledón los valores máximos fueron en N, P, K, S, Mn, Cu y Ni. La variedad Higuera azufrado en testa sobresalió en N, Mg, S y proteínas con valores máximos. En Zn fueron similares los valores entre los dos órganos. El color de la testa influye en el contenido de nutrientes, y será importante incluirlo en programas de biofortificación.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, frijol, micronutrientes.

3.2 INTRODUCCIÓN

La dieta de los mexicanos por miles de años han incluido las leguminosas, una de ellas con relevante importancia en México es el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), esta semilla es fuente importante de nutrientes y compuestos nutraceuticos, estos refiriéndose a ser un alimento funcional con compuestos que benefician la salud, de una manera sobresaliente comparado con la nutrición básica [1], dentro de estos compuestos se encuentra la capacidad antioxidante. El frijol común (*Phaseolus*

vulgaris L.) según la FAO [2], tiene alrededor del mundo 150 especies, su origen en Mesoamérica dio inicio para que México sea una centro importante en el desarrollo de esta misma, este país tiene producción mundial de 1.56 millones de hectáreas cosechadas en el ciclo 2015 [3], por lo tanto es uno de los siete países con mayor producción y consumo mundial del frijol [3]. En el país existen cerca de 70 variedades nativas de frijol y más de 150 mejoradas [3], estas variedades se distribuyen en siete grupos principales según su color en testa; negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados, cada una de ellas con características físicas distintas como lo es el ancho, largo, grosor, peso y respectivamente su color. Su consumo y producción depende la zona en el país; en la zona norte (Chihuahua y Durango) las variedades importantes son en colores café como el Pinto Saltillo, en el noroeste son las variedades con colores claros, en el centro del país son Flor de mayo, Flor de junio y Negro, en esta zona se encuentra Zacatecas que es el estado con mayor producción anual en México y la variedad más producida es en color Negro, para las zonas del sur (Chiapas) son variedades con colores más notables en testa como Blanco, Rosa y negro. A nivel nacional la variedad más producida con un 37.95 % tiene color Negro en testa, el segundo es el color pinto con 26.5% [3], la variedad de especies desde épocas prehispánicas han sido una fortaleza en el surgimiento de nuevas especies.

La selección del frijol de una manera constante se basa en el color de testa, brillo, tamaño y forma, esto ha ocasionado ser uno de los factores evolutivos para el mantenimiento y aplicación genética de esta especie [4]. Según Vargas [5] el color de la testa de las variedades silvestres se deben a una selección natural causada por el mimetismo de la semilla en el suelo, para pasar desapercibida por sus depredadores naturales, así mismo el hombre a través del tiempo seleccionaba solo los frijoles que se adaptaran a su tipo de producción, incluyendo el color.

Los estudios en la testa del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) han llevado a datos concisos donde esta constituye de un 8 a un 10% del total de la semilla [6], también es rica en compuestos fenólicos [7], han encontrado que contiene compuestos polifenólicos, que tienen propiedades antioxidantes [8], así mismo también se ha encontrado que las variedades con mayor capacidad antioxidante se asociaron con la mayor coloración en testa [9].

Después de conocer estos datos y la poca información al respecto, surge la necesidad de estudiar las propiedades físico-químicas de cada variedad, ya que es parte importante del frijol consumido en México, donde influye su color en el momento de la selección, sumándole el ser un alimento nutraceutico. De esta manera se inicia el trabajo comparando el órgano de testa y cotiledón con respecto al color, sus fitonutrientes y la capacidad antioxidante.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Análisis de parámetros físicos

Siendo “L” la luminosidad, el brillo, es dado por el contenido total de energía, da lugar a colores claros y oscuros, es el grado entre la oscuridad y el brillo máximo (rojo brillante-amarillo o rojo oscuro-amarillo), si ordenamos los valores de

menor a mayor, los menores son los frijoles de color en testa negro, el de valor menor fue “Negro San Luis” (INIFAP, Durango), y el valor mayor sería los frijoles el colores de testa claros, el de valor mayor fue la variedad Alubia (Guadalajara, Jalisco). En el valor “C”, refiriéndose a Cromaticidad que es la saturación, intensidad o pureza espectral del color, va desde tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos, si de nuevo acomodamos la tabla de valores mayores a menores el valor mayor corresponde a la variedad Cuba V-7 (San Jose de Las Lajas, Cuba) identificado en color de testa negro, en el **Cuadro 1** se observa que su color es opaco tal y como lo identifica el valor de C, y el valor menor es la variedad Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz) esta variedad está identificada en color amarillo, las variedades de color amarillo se encuentran en los valores mayores de C. La “H” refiriéndose a Hue que es el tono, tinte, color, es caracterizado por la longitud de onda de la radiación y hace diferente un color de otro, representa un espacio en el diagrama de cromaticidad, en los valores mínimos se encuentra la variedad Negro criollo (Tulancingo, Oaxaca), de color en testa negro, y en su valor mayor se encuentra la variedad Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa), de color amarillo [10].

Cuadro 1 • Valores de análisis físicos de color del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	L	Croma	Hue
Negro 8025	23.6066	2.0771	-0.9668
Flor de mayo	51.52	16.2520	0.3126
Negro San Luis	23.47	2.1487	-1.0136
Higuera azufrado	63.8933	28.5610	1.4988
Moyocoa	60.9833	30.0611	1.3967
Negro criollo	23.51	1.9273	-1.0587
Ojo de cabra	48.32	15.6698	1.0960
Cuba V-7	24.9533	0.9560	-0.5994
Pinto saltillo	68.9466	18.1856	1.2322

Negro GREAT	26.23	2.1415	-0.9809
Jamapa	26.2266	2.0091	-0.9203
Bayo	48.4566	36.5940	1.1441
Alubia	77.0033	12.6827	1.3745

3.3.2 Análisis de Testa y Cotiledón

3.3.2.1 Concentración de Macronutrientes en Testa y Cotiledón

En el Cuadro 2 se puede observar que existen diferencias significativas en los nutrientes estudiados en ambos órganos ($P \leq 0.05$). Sobre sale el órgano de Cotiledón siendo el de valores máximos en Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Azufre con incrementos respecto a testa de 65.7, 37.5, 50.0 y 33.3% respectivamente. El órgano de Testa presentó sus valores máximos en Calcio y Magnesio con incrementos de 91.6% y 70.0% en comparación con el órgano de cotiledón. En estos nutrientes la Testa sobre sale

en dos de los elementos responsables de funciones nutricionales en el cuerpo humano, principalmente Ca que le da reconocimiento al grano del frijol como un alimento que aporta al mantenimiento de la estructura y la calidad de la masa ósea, y su deficiencia provoca enfermedades con el crecimiento normal del ser humano [11]. Blair [12] investigó cruza genéticas en frijol de variedades peruanas y brasileñas donde separó ambos órganos, su trabajo se centró en Fe y Zn, sin embargo en sus resultados señala que hay diferencias significativas en los elementos de Ca, P y S, aunque no fueron su prioridad.

Cuadro 2 • Concentración de macronutrientes en testa y cotiledón del grano de diferentes variedades de frijol

Macronutrientes						
Órgano	N	P	K	Ca	Mg	S
Testa	1.44b	0.10b	0.25b	0.96a	0.30a	0.08b
Cotiledón	4.20a	0.16a	0.50a	0.08b	0.09b	0.12 a

3.3.2.2 Concentración de Micronutrientes en Testa y Cotiledón

En el Cuadro 3 se puede observar que existen diferencias significativas entre sus valores ($P \leq 0.05$), los nutrientes analizados sobre sale el Cotiledón en Mn con incremento de 66.99% respecto a la Testa, en Cu con 49.83% y en Ni con 58.98%. El órgano de Testa sobresalió en la concentración de Fe con un incremento de 48.07% respecto a Cotiledón. Zinc no mostró diferencia significativa entre sus valores de órganos. En estos nutrientes de manera importante es considerar Fe y Zn, pues son indispensables para la nutrición humana, en Zn

se puede considerar que ambos órganos tienen la misma importancia al momento de su cantidad en el grano del frijol. Respecto a Fe siendo un elemento encargado de transportar oxígeno a través de la sangre [13], y su cantidad mayor fue en el órgano de Testa de nuevo podemos mencionar el trabajo de Blair [12] donde muestra que en la cruce de dos variedades de frijol la nueva generación presentó diferencias significativas en Fe entre la misma generación de la cruce, lo que nos lleva a observar que la Testa es fundamental en la aportación de Fe al grano de frijol y depende el tipo de testa tiene mayor o menor cantidad.

Cuadro 3 • Concentración de micronutrientes en testa y cotiledón del grano de diferentes variedades de frijol

Micronutrientes					
Órgano	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni
Testa	91.92a	3.69b	21.49a	4.60b	1.53b
Cotiledón	47.73b	11.18a	23.53a	9.17a	3.73a

3.3.2.3 Concentración de Elementos Orgánicos en Testa y Cotiledón

En elementos orgánicos se muestra que Carbono no tiene diferencia significativa, pero sí Hidrogeno y Proteínas, el órgano de Cotiledón tiene los valores máximos en ambos elementos, H tiene un incremento de 14.09% sobre testa y proteínas de 65.62 igual sobre testa. Estos elementos están involucrados en la formación de

proteínas, carbohidratos, calorías por lo tanto están presentes en el metabolismo de energía [14]. Siendo que C no tiene diferencias significativas se puede observar que ambos órganos tienen la misma importancia en la aportación de C en el grano de frijol, pero en los dos elementos restantes Testa es el órgano con mayor participación, por lo tanto podemos decir que la Testa es parte fundamental de la energía en la interacción de los elementos orgánicos.

Cuadro 4 • Concentración de elementos orgánicos en testa y cotiledón del grano de diferentes variedades de frijol

Elementos orgánicos			
Órgano	C	H	Proteína
Testa	40.85a	5.73b	9.04 b
Cotiledón	42.40a	6.67a	26.30a

3.3.2.4 Concentración de Capacidad Antioxidante en testa y Cotiledón

Entre órganos existe una diferencia significativa con un incremento del 86.97%, teniendo los valores máximos el órgano de Testa. Iniestra [9], en su trabajo menciona que la capacidad antioxidante tiene relación con la coloración en

la testa, pues es ahí donde se presenta un cantidad importante de fibra y compuestos fenólicos, donde está la capacidad antioxidante, estas misma propiedades según el estudio dan propiedades de color a la testa de cada variedad, por lo tanto compartimos los resultados similares a los de Iniestra donde la Testa tiene los valores máximos en el grano del frijol.

Cuadro 5 • Capacidad antioxidante en testa y cotiledón

Órgano	Capacidad Antioxidante
Testa	58.970a
Cotiledón	7.682b

3.3.3 Análisis en Testa

3.3.3.1 Concentración de Macronutrientes en testa

En los análisis realizados en Testa de las trece variedades se obtuvieron diferencias significativas en sus valores ($P \leq 0.05$), sobresaliendo con el mayor valor de Nitrógeno la variedad Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa), en Fósforo el mayor valor fue en Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz), en Potasio destaca con valor máximo el Negro San Luis (INIFAP, Durango), en Calcio sobresalió la variedad Alubia (Guadalajara, Jalisco), en Magnesio fueron las variedades Negro San Luis (INIFAP, Durango) y Alubia (Guadalajara, Jalisco) y en Azufre sobresale Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa). Por lo tanto tiene una presencia destacada la variedad Higuera azufrado (Guasave, Sinaloa en color de testa amarillo), es la más alta en N y S, y la más baja en K y Ca, tiene el último lugar en valor de Ca junto con otra variedad en amarillo que es la Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz). La variedad Negro orgánico (Atlixco, Puebla en color de testa negro) tiene importancia por sus valores mínimos en los elementos de N, P S y en K y

Mg entre los valores medios pero en Ca fue de los valores máximos, se puede analizar por su condición orgánica que a la falta de fertilización básica (N-P-K) presenta deficiencias de los macroelementos, se puede deducir que parte de la calidad del grano tiene relación con su programa de fertilización. En estudios anteriormente realizados por Dibb [15], exactamente en “De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana” afirma que la fertilización con los 14 nutrientes esenciales no solo pueden incrementar los rendimientos, sino que también puede mejorar la calidad alimenticia de productos vegetales y animales, el afirma que la fertilización con N y S tiene impacto en la calidad, composición de aminoácidos afecta la calidad de la proteína adecuada a los cultivos, daña el “producto”, lo deja fuera de la competencia de calidad.

Cuadro 6 • Concentración de macronutrientes en testa del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Negro 8025	1.18bcd	0.08de	0.17cd	0.96de	0.35 a	0.05cde
Flor de mayo	0.99cd	0.16b	0.39ab	0.67gh	0.28bc	0.00e
Negro San Luis	1.55abcd	0.07e	0.45 a	0.87ef	0.38 a	0.09cd
Higuera azufrado	2.71 a	0.13c	0.13d	0.49i	0.34 a	0.18 a
Moyocoa	2.22abc	0.15bc	0.31abc	0.75fg	0.24dc	0.09bcd
Negro criollo	0.93cd	0.04g	0.29abcd	1.08cd	0.36 a	0.04de
Ojo de cabra	2.41ab	0.14bc	0.21cd	1.18bc	0.29bc	0.16ab
Cuba V-7	1.17bcd	0.07ef	0.15cd	1.32de	0.19d	0.07cd
Pinto saltillo	1.05cd	0.05ef	0.19cd	0.99cde	0.29b	0.05cde
Negro orgánico	0.79d	0.03gh	0.39ab	1.34 a	0.34 a	0.06cd
Jamapa	1.92abcd	0.10d	0.18cd	0.86ef	0.25bc	0.10bc
Bayo	1.08bcd	0.26 a	0.15cd	0.59hi	0.26bc	0.05cde
Alubia	0.73d	0.01h	0.27bcd	1.36 a	0.38a	0.06cde

Cuadro 7 • Concentración de micronutrientes en testa del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	Micronutrientes (ppm)				
	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni
Negro 8025	2.28efgh	78.29efg	13.52ef	1.93d	1.32dcefg
Flor de mayo	2.99efg	21.26h	12.48ef	2.44d	0.90efg
Negro San Luis	2.46efg	94.76cde	12.91ef	1.82d	1.38bcdefg
Higuera azufrado	5.88b	94.89cde	26.88c	4.83bc	1.14defg
Moyocoa	4.33cd	71.26g	45.29 a	7.34a	0.82fg
Negro criollo	1.18h	91.87def	18.47d	5.14bc	0.65g
Ojo de cabra	5.12bc	75.79fg	26.85c	6.69ab	1.54abcdef
Cuba V-7	9.60a	196.156a	16.10de	5.24bc	2.27 a
Pinto saltillo	2.49efg	75.62fg	33.75b	5.97ab	1.66abcde
Negro orgánico	3.34def	156.56b	13.91ef	4.86bc	2.07abc
Jamapa	2.12gh	110.79c	19.30d	3.41cd	1.71abcd
Bayo	2.79efg	27.19h	29.47c	6.58ab	2.15ab
Alubia	3.42de	100.1cd	10.50f	3.56cd	2.21a

3.3.3.2 Concentración de Micronutrientes en testa

En el **Cuadro 7** se puede observar que existen diferencias significativas entre valores de minerales analizados en las trece variedades ($P \leq 0.05$). En el elemento del Manganeso la variedad destacada con valor máximo es Cuba V-7 (San José de Las Lajas, Cuba en color de testa negro), en el elemento de Fe la variedad sobresaliente es Cuba V-7 (San José de Las Lajas, Cuba con color en testa negro), en Zinc la variedad sobresaliente es Moyocoa (Guasave, Sinaloa con color de testa amarillo), el Cobre su variedad sobresaliente fue Moyocoa (Guasave, Sinaloa con color de testa amarillo), y para Níquel fue la variedad Cuba V-7 (San José de Las Lajas con color de testa negro). Como se puede observar la variedad Cuba V-7 tiene una importancia relevante al estar entre los valores máximos de Mn, Fe y Ni, de igual manera entre los máximos valores se encuentra la variedad Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz con color de testa amarillo), con valores máximos en Zn, Cu y Ni. De manera contraria las variedades sobresalientes por valores mínimos son Flor de Mayo (INIFAP, Durango con color en testa de

tonos morados de forma moteada) es la que tiene más valores mínimos Fe, Zn, Cu y Ni, Negro San Luis (INIFAP, Durango con color en testa negro), Negro criollo (Tulancingo, Oaxaca con color en testa negro), y Negro 8025 (INIFAP, Durango con color en testa negro). Se puede analizar que las variedades en color negro en testa son las de bajas concentraciones con una excepción en Fe, pues las tres más altas son en color negro.

3.3.3.3 Concentración de Elementos orgánicos en testa

Los tres elementos orgánicos muestran diferencias significativas ($P \leq 0.05$). La variedad Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa en color en testa amarillo) tiene los valores máximos en C, en H es la variedad Moyocoa (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo) y en Proteínas fue de nuevo Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo). Las variedades con los valores máximos en los tres elementos fueron Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo), Ojo de cabra (San Francisco de Conchos, Chihuahua con color en testa café de forma moteada), y Moyocoa

(Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo), las tres con similitudes de color en testa, donde se puede observar una relación de valores con color. La variedad con valores mínimos de cada elemento fue la variedad de Alubia (Guadalajara, Jalisco con color en testa blanco). Dibb [15] en su investigación menciona que la

eficiente manera de fertilización aumenta la calidad, las tres variedades con valores máximos son de regiones donde la producción se basa en fertilizaciones y riegos periódicos, se podría decir que su buena calidad en elementos orgánicos depende de su manera de producción.

Cuadro 8 • Concentración de elementos orgánicos en testa del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	Elementos orgánicos		
	C	H	Proteínas
Negro 8025	41.72abc	5.85abcde	7.38bcd
Flor de mayo	35.49c	4.98e	6.23cd
Negro San Luis	43.09abc	5.80abcde	9.69abcd
Higuera azufrado	47.24 a	6.40ab	17.06 a
Moyocoa	42.84abc	6.50 a	13.92abc
Negro criollo	38.90bc	5.38bcde	5.87cd
Ojo de cabra	44.60ab	6.35abc	15.16ab
Cuba V-7	39.34bc	5.33cde	7.24bcd
Pinto saltillo	41.59abc	6.03abcd	6.57cd
Negro orgánico	39.18bc	5.37cde	4.96d
Jamapa	42.63abc	5.98abcde	12.03abcd
Bayo	38.4bc	5.18de	6.81bcd
Alubia	36.08c	5.28de	4.57d

3.3.3.4 Análisis de Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante tiene un incremento de 73.83%, su valor máximo fue en la variedad Ojo de Cabra (San Francisco de Conchos, Chihuahua con color en testa café moteado), y su valor mínimo fue en Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo). En los trabajos de Salinas [16] publica que la capacidad antioxidante tiene relación con compuestos que dan coloración a la testa, señala que el color rosa rojo y negro en la testa son los portadores de los valores más altos de esta variable, en este trabajo realizado se observa en la tabla que los valores máximos es en color pinto con Ojo de cabra, esto no empata con los

resultados de Salinas ya que nuestro valor mínimo fue en color de testa amarillo que coincide con el trabajo mencionado pero justo en el tercer valor más alto también es en color amarilla, no empata con el trabajo de Salinas.

Cuadro 9 • Capacidad Antioxidante en testa de frijol

Variedad	Capacidad Antioxidante
Negro San Luis	79.423a
Negro Jamapa	60.949bc
Negro orgánico	59.771bc
Negro 8025	81.600a
Flor de Mayo	82.186a
Higuera Azufrado	22.006d
Moyocoa	34.609d
Ojo de Cabra	84.109a
Negro Criollo	72.921ab
Pinto Saltillo	57.216c
Bayo	75.493a
Cuba V-7	27.566d
Alubia	28.756d

3.3.4 Análisis en Cotiledón

3.3.4.1 Concentración de Macronutrientes en Cotiledón

Es el **Cuadro 10** podemos observar que hay una diferencia significativa en sus valores ($P \leq 0.05$) excepto en Nitrógeno. En el elemento de Fósforo la mayor concentración fue en la variedad Negro Jamapa (Teapa, Tabasco con el color en testa negro), en Potasio fue Negro 8025 (INIFAP, Durango con color en testa negro), en Calcio fue Ojo de Cabra (San Francisco de

Conchos, Chihuahua en color en testa café de forma moteada), en Magnesio fue Ojo de cabra (San Francisco de Conchos, Chihuahua en color en testa café de forma moteada) y en Azufre fue Negro 8025 (INIFAP, Durango con color en testa negro). A semejanza en los análisis de Testa solo sobresalió en el elemento de Ca, probablemente se deba al tipo de suelo dónde se esté produciendo, que exista la presencia elevada de calcio y difiera en la absorción de los otros elementos [17].

Cuadro 10 • Concentración de macronutrientes en cotiledón del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Negro 8025	4.33 a	0.15bcd	1.02 a	0.09abc	0.09abcd	0.17 a
Flor de mayo	4.29 a	0.10d	0.21e	0.08cde	0.09abcd	0.15ab
Negro San Luis	4.23 a	0.20abc	0.39cde	0.06f	0.10ab	0.14b
Higuera azufrado	4.96 a	0.19bc	0.72ab	0.08cde	0.09ab	0.14b
Moyocoa	4.23 a	0.21abc	0.85ab	0.08cdef	0.08bcd	0.13bc
Negro criollo	4.54 a	0.15bcd	0.22e	0.06f	0.18ab	0.14b
Ojo de cabra	4.52 a	0.13cde	0.36e	0.11 a	0.11 a	0.10de
Cuba V-7	3.86 a	0.238ab	0.71abcd	0.09bcd	0.07cd	0.08e
Pinto saltillo	4.58 a	0.20abc	0.23e	0.07ef	0.09abc	0.11cd
Negro orgánico	3.79 a	0.05e	0.20e	0.11ab	0.10ab	0.08e
Jamapa	3.86 a	0.24 a	0.38de	0.08cde	0.06d	0.10d

Bayo	4.04 a	0.15bcd	0.72abc	0.07def	0.08bcd	0.09e
Alubia	4.09 a	0.14cd	0.71bcde	0.09abc	0.11 a	0.08e

3.3.4.2 Concentración de Micronutrientes en Cotiledón

En el **Cuadro 11** se pueden observar las concentraciones de las trece variedades seleccionadas, se observa que hay diferencias significativas en todos los micronutrientes analizados ($P \leq 0.05$), donde sobresale la mayor concentración de Manganeso la variedad Cuba V-7 (San José de Las Lajas, Cuba con color en testa negro), en hierro fue Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo), en Zinc fue la variedad Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz con color en testa amarillo), en Cobre fue Moyocoa (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo), y en Níquel fue la variedad Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz con color en testa

amarillo). La variedad Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo) y Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz con color en testa amarillo) son las que destacan con valores máximos, la variedad Bayo coincide en los valores máximos con los valores analizados en los microelementos en testa, destaca en Zn, Cu y Ni. Entre los tres valores máximos de Cu se encuentran variedades con color en testa amarillo: Moyocoa (Guasave, Sinaloa), Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa) y Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz). De la misma manera que en los análisis de microelementos en testa la variedad Flor de Mayo fue la que obtuvo los mínimos valores en microelementos, en el caso del cotiledón los elementos fueron Mn, Cu y Ni.

Cuadro 11 • Concentración de micronutrientes en cotiledón del grano de diferentes variedades de frijol

Variedad	Micronutrientes (ppm)				
	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni
Negro 8025	16.46 a	52.67bc	21.51def	6.51f	2.99de
Flor de mayo	8.19fg	48.16cdef	19.38efg	6.13f	2.20e
Negro San Luis	8.84efg	43.41efg	16.31g	5.93f	2.83de
Higuera azufrado	12.60bc	69.06 a	2.13cde	11.25b	4.27bc
Moyocoa	10.53cdef	48.52cde	27.87abc	13.06 a	2.78de
Negro criollo	7.15g	34.17h	25.05bcd	10.66bc	3.67bcd
Ojo de cabra	10.24def	38.47gh	29.27ab	8.91de	3.09de
Cuba V-7	17.02 a	57.96b	25.69abcd	10.63bc	3.28d
Pinto saltillo	9.20efg	42.90efg	29.30ab	10.18bcd	2.93de
Negro orgánico	9.22defg	45.34ef	15.82g	6.95f	3.62cd
Jamapa	10.96bcde	42.35fg	24.48cd	9.51cde	3.60cd
Bayo	11.64bcd	46.25def	29.83 a	11.19b	8.62 a
Alubia	13.38b	51.29cd	17.26fg	8.30e	4.55b

3.3.4.3 Concentración de Elementos orgánicos en Cotiledón

Los resultados de los valores muestran una diferencia significativa en H fue de 15% con el valor mayor fue la variedad Pinto Saltillo (Sombrerete, Zacatecas con color en testa café). Los elementos C y Proteínas no presentaron diferencias significativas. La variedad Pinto Saltillo (Sombrerete, Zacatecas con color en

testa café) fue la que obtuvo los valores mayores en las tres variables a pesar de no haber diferencia significativa. Este resultado nos da como dato que la diferencia en actividad de energía de cada variedad depende de su contenido desarrollado en testa, pues al encontrar valores similares podemos decir que se produce la cantidad similar, y en contraste en testa no sucedió lo mismo, podemos hablar de la

cantidad de energía que se puede procesar involucran en los procesos mencionados [15].
puestos los elementos orgánicos son los que se

Cuadro 12 • Concentración de Elementos orgánicos en cotiledón

Variedad	Elementos orgánicos		
	C	H	Proteínas
Negro 8025	43.43 a	6.87ab	27.09 a
Flor de mayo	43.94 a	6.92ab	26.82 a
Negro San Luis	43.55 a	6.93ab	26.45 a
Higuera azufrado	43.45 a	6.88ab	26.69 a
Moyocoa	41.54 a	6.60ab	26.49 a
Negro criollo	42.37 a	6.72ab	28.38 a
Ojo de cabra	38.90 a	6.05b	28.52 a
Cuba V-7	41.09 a	6.47ab	24.13 a
Pinto saltillo	45.02 a	7.18 a	28.63 a
Negro	42.99 a	6.69ab	23.70 a
Jamapa	41.37 a	6.42ab	24.14 a
Bayo	41.29 a	6.57ab	25.30 a
Alubia	42.35 a	6.36ab	25.57 a

3.3.4.4 Concentración de Capacidad antioxidante en Cotiledón

En el **Cuadro 13** se observa diferencias significativas entre las trece variedades seleccionadas, existe un incremento del valor menor al mayor de 97.75%, siendo la más alta la variedad Pinto saltillo (Sombrete, Zacatecas con color en testa café), y la más bajo Alubia (Guadalajara, Jalisco con color en testa blanco).

Los resultados de Salinas [16] y los valores máximos y mínimos concuerdan con sus resultados, la máxima en color de testa negra y la mínima en color blanco, sin embargo sigue sin concordar resultados en sus totalidad, pues en valores mínimos junto con Alubia (Guadalajara, Jalisco con color en testa blanco), se incluyen variedades de color en testa negro.

Cuadro 13 • Capacidad antioxidante en cotiledón

Variedad	Capacidad Antioxidante
Negro San Luis	13.863bc
Negro Jamapa	15.391b
Negro orgánico	8.878cd
Negro 8025	2.106e
Flor de Mayo	15.944b
Higuera Azufrado	0.927e
Moyocoa	3.775de
Ojo de Cabra	4.564de
Negro Criollo	1.057e
Pinto Saltillo	29.777a
Bayo	1.378e
Cuba V-7	1.536e
Alubia	0.668e

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Recolección de variedades

Se recolectaron 105 variedades de semillas de frijol a nivel nacional. Las variedades recolectadas por Estado del país fueron: Chihuahua (frijol Pinto Saltillo, Pinto Americano, Ojo de Cabra, Ejote Silvestre y Bordales); Durango (frijol Negro 8025, Pinto Bravo, Flor de Mayo, Pinto Libertad, Pinto Centauro, Negro San Luis, Pinto Saltillo, Pinto Centenario, Pinto Coloso, Negro bola, Pinto Canario y Patol); Zacatecas (frijol Pinto Saltillo, Negro bola, Pinto obscuro y Bayo); Sinaloa (frijol Higuera Azufrado y Moyocoa); Oaxaca (frijol Flor de mayo, Rojo enredador, Cuarenteño “Bayo”, Negro Criollo, Amarillo, Negro guaca, Rojo mayo, Blanco Alubia, Peruano, Santanero, Biché o Costeño, Blanco Michigan, Peruano o Amarillo, Negro bola, Frijolon negro, Bayo bola, Frijolon blanco, Frijolon 1, Frijolon rojo y Pinto americano); Veracruz (frijol Negro Jamapa, frijol Bayo y Pinto); Yucatán (frijol Blanco pelón, Negro,

Frijol rosa “Bayo”, Frijol Rojo, Negro lx Pelón, Frijol Mejenives, Rojo pentulillo, Hibes Pinto, X-Pelón, Ojo Jabalí, Negro Jamapa, Oxo, Tzmá y Pentulillo lenteja); Chiapas (frijol Escumite o terapi y frijol negro); Puebla (frijol Negro orgánico, Mantequilla, Negro Michigan, Ayocote Amarillo, Amarillo Abolado, LAubia, Frijol cacahuete, Ayocote obscuro y Jaracho); Jalisco (frijol texano, Azufrado, frijol Laubia, Peruano bola, Flor de junio, Peruano Higuera, Negro, Frijol Chihcaro); Morelos (frijol Sangre de Toro, Peruano, Flor de Mayo, Negro, Pinto); Guanajuato (frijol Flor de Mayo); Michoacan (frijol Pinto) y Estado de México (frijol Strike). Se incluyeron dos variedades provenientes de Cuba por su alto nivel nutricional (frijol Negro V-6 y Negro V-7).

3.4.2 Selección de variedades

De las anteriores variedades recolectadas se escogieron trece tomando criterios de color en testa, su región de producción y su popularidad, son las siguientes:

Cuadro 14 • Variedades de frijol seleccionadas para el estudio

Variedad	Lugar	Color	Fotografía
Negro 8025	Durango INIFAP	Negro	
Flor de mayo media oreja	Durango INIFAP	Moteado	
Negro San Luis	Durango INIFAP	Negro	
Higuera azufrado	Guasave, Sinaloa	Amarillo	
Moyocoa	Guasave, Sinaloa	Amarillo	
Negro criollo	Tulancingo, Coixtlahuaca, Oaxaca	Negro	
Ojo de cabra	San Francisco de Conchos, Chihuahua	Moteado	
V-7	San José Las Lajas, Cuba	Negro	
Pinto Saltillo	Vergelitos Sombrerete, Zacatecas	Pinto	
Negro orgánico	Puebla	Negro	
Jamapa	Teapa, Tabasco	Negro	
Bayo	Hidalgo Titla, Veracruz	Amarillo	
Alubia	Guadalajara, Jalisco	Blanco	

3.4.3 Preparación de muestras

De inició la separación de testa del cotiledón de manera manual con bisturí. Se separó cada órgano hasta juntar la cantidad de 14g de testa, de estos gramos se utilizaron 10g para análisis de compuestos nutraceuticos, y los 4g para análisis minerales (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni), elementos orgánicos (C, H, S) y proteínas. El cotiledón se molió con licuadoras de vaso pequeño, y la testa se molió de manera manual, teniendo las muestras en sólido en pequeño tamaño se procedió a la realización de los análisis.

3.4.4 Análisis de parámetros físicos

Para la determinación del color se analizaron los parámetros L, a y b con el equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta). El parámetro “L” es la luminosidad teniendo rango de 0 (negro) a 100 (blanco). El parámetro “a” con valores positivos (rojo) a valores negativos (verde). El parámetro “b” con valores positivos (amarillo) a valores negativos (azul). Las mediciones fueron con tres repeticiones posteriormente se usaron los promedio de estos [18], con los valores de L a y b se calculó Cromo (C) y Hue (H), el primero se refiere a la saturación del color, el segundo se refiere al tono de color. El color del frijol va estar en función de los parámetros L, C y H [10].

3.4.5 Análisis de fitonutrientes

3.4.5.1 Determinación de Nitrógeno, Carbono, Hidrogeno, Azufre y Proteína

Se tomaron en una capsula de níquel 3 µg de muestra y se adicionó 9 µg de pentaóxido de vanadio (V_2O_5). Posteriormente, se introdujeron en el equipo Flash 2000 (Thermo Scientific), el cual trabaja bajo el método Dumas [19], los resultados se expresaron en porcentaje.

3.4.5.2 Determinación de Hierro, Zinc, Sodio, Magnesio, Manganeso, Potasio, Calcio, Cobre y Níquel

Para iniciar análisis de los minerales K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, se realizó la digestión por el método tradicional de digestiones por mezcla triácida, este proceso se utilizó para cada órgano del frijol (testa, cotiledón). La concentración de estos minerales se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (Thermo SCIENTIFIC) y se expresaron en ppm para los micronutrientes y porcentaje para macronutrientes.

3.4.5.3 Determinación de Fósforo

La determinación de la concentración de P fue por el método de metavanadato de amonio (NH_4VO_3) y por espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer). En un tubo de ensayo se colocaron 500 µl de cada muestra y posteriormente se le añadió 1ml de molibdato de amonio [$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$] y 3.5ml de agua tridestilada, se agitaron las muestras con un Vortex (VWR) y luego se dejaron reposar una hora. Al finalizar la hora se procedió a la lectura de cada una de las muestras. La concentración se expresó en porcentaje.

3.4.6 Análisis de Capacidad antioxidante

Las actividades antioxidantes se determinaron usando DPPH como radicales libres. Se empleó solución antioxidante en metanol (0.1ml), se añadió 3.9ml de un 6×10^{-5} mol/L solución de metanol DPPH. La disminución en la absorbancia fue determinada a 515nm a 0min, 1 lluvia y cada 15min hasta la reacción alcanzó una meseta. Se calculó con curva de calibración por regresión lineal.

3.4.7 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con trece tratamientos: Negro 8025, Flor de Mayo, Negro San Luis, Higuera Azufrado, Moyocoa, Negro Criollo, Ojo de cabra, Cuba V-7, Pinto Saltillo, Negro

orgánico, Negro Jamapa, Bayo, Alubia y con tres repeticiones.

3.4.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron separación de medias mediante el teste de Tukey ($\alpha=0.05$) [20].

3.5 CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas entre ambos órganos; testa y cotiledón y respecto a las variables estudiadas que fueron fitonutrientes y capacidad antioxidante.

En Testa están los valores más altos en los siguientes fitonutrientes; Ca, Mg y Fe, y la capacidad antioxidante respecto a cotiledón. Destaca en este órgano la variedad de frijol Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo) con N, Mg, S y Proteína con valores máximos, Cuba V-7 (San José de Las Lajas, Cuba con color en testa negro) en Fe y Moyocoa (Guasave, Sinaloa con color en testa amarillo) en Zn. Las variedades con mayor capacidad antioxidante en testa fueron las siguientes; Ojo de cabra (San Francisco de Conchos, Chihuahua con color en testa café), Flor de Mayo (INIFAP, Durango con color en testa morado de forma moteado), Negro 8025 (INIFAP, Durango con color en testa negro), Negro San Luis (INIFAP, Durango con color en testa negro) y Bayo (Hidalgo Titla, Veracruz con color en testa amarillo).

En Cotiledón están los valores máximos de N, P, K, S, Mn, Cu y Ni con respecto a testa. Estadísticamente los valores de N y Proteínas fueron similares. La variedad Negro Jamapa (Teapa, Tabasco en color de testa negro) sobresalió con el nivel mayor de P en Cotiledón; la variedad Negro 8025 (INIFAP, Durango con color en testa negro) destacó con el máximo nivel de K y S; Ojo de Cabra (San Francisco de Conchos, Chihuahua con color en testa café de forma moteado) presentó los mayores niveles de Ca y Mg; mientras que las variedades de frijol Higuera Azufrado (Guasave, Sinaloa con color en testa Amarillo) y Bayo (Hidalgo Titla,

Veracruz con color en testa Amarillo) destacaron con los máximos niveles de Fe y Zn en Cotiledón, respectivamente. Las variedades con la mayor capacidad antioxidante en Cotiledón fueron: Pinto Saltillo (Sombrete, Zacatecas con color en testa café), Flor de Mayo (INIFAP, Durango con color en testa morado de forma moteado), Negro Jamapa (Teapa, Tabasco con color en testa negro) y Negro San Luis (INIFAP, Durango con color en testa negro).

Se destaca que la capacidad antioxidante y fitonutrientes está en función del color de la semilla del grano del color, de la genética de la semilla, del manejo del cultivo y del ambiente donde se desarrolla el cultivo.

3.6 BIBLIOGRAFÍA

1. **Chasquibol, S.N.; Lengua C.L.; Delmás I.; Rivera C.D.; Bazán D.; Aguirre M.R.; Bravo A.M.** Alimentos funcionales o fitoquímicos, clasificación e importancia. 2014
2. **FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.** <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> . 2017 (Fecha de consulta febrero 09, 2017).
3. **FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura.** 2016. Panorama Agroalimentario, Frijol 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.
4. **Gepts P.; Debouck D.** 1991. Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Schoonhoven A. van, and O. Voysest (eds). Common Beans: Research for Crop Improvement. CAB International and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Wallingford, UK. 32 p.
5. **Vargas V. M.; P. L., Mutuaga M.; Pérez H. P.; Homar R.; Esquivel E.; Martínez D.; Rosales S.; Mayek P.** 2008. Caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de frijol común del INIFAP.
6. **Celis V. R.; Peña V. C.B., Luna C. M., Aguirre R. J.R.,** 2010. Caracterización morfológica de las semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol. Rev. Fc. Agron. (LUZ)2010, 27: 61-87.
7. **Morales S., Martha E.; Peña V. Cecilia B.; García E. Antonio; Aguilar B. Gisela; Kohashi S. Josué.** Características Físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. 2017. Agrociencia, vol. 51, núm. 1, pp 43-62. Colegio de postgraduados, Texcoco, México.
8. **Beninger, C. W., and G. L. Hosfield.** 2003. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. J. Agric. Food Chem. 51: 7879-7883
9. **Iniestra G. José J., Ibarra P. Francisco J., Gallegos I. José A., Rocha G. Nuria E., Gonzalez L. Rubén F.** 2005, diciembre. Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* l.). Agrociencias, vol. 39, núm. 6 noviembre- diciembre, pp. 603-610. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
10. **Retting M, Ah-Hen K.** 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agrosur 42(2): 39-48.
11. **Valencia Garcia, Francia Elena; Roman Morales, María Orfilia Y Cardona Sanchez, Diana Patricia.** 2011. El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. Rev. Lasallista Investig. 2011, vol.8, n.1.
12. **Blair Matthew W., Izquierdo Paulo, Astudillo Carolina, Grusak Michael A.** (2013) A legume biofortification quandary: variability and genetic control of seed coat micronutrient accumulation in common beans. Frontiers in Plan Science 2013; DOI: 10.3389/fpls.2013.00275
13. **Martínez G. Carmen, Ros Gaspar, Periago Maria J., Lopez gabriela.** 1999. Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. Archivos latinoamericanos de nutrición.
14. **Wattiaux, A.M.** 2001. Nutrición y Alimentación. Metabolismo de Proteínas en Vacas Lecheras. Universidad de Wisconsin-Madison.
15. **Dibb David. Roberts Terry. Welch R.** 2005. De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana. Informaciones Agronómicas No. 28, (1-8).
16. **Salinas M. Yolanda, Rojas H. Luciano, Sosa M. Eliseo, Pérez H. Patricias.** 2005. Composición de Antocianinas en variedades de Frijol Negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. Agrociencia, vol. 39, núm. 4, julio-agosto,

- 2005, pp. 385-394. Colegio de Postgraduados, Texcoco México
17. **Buechel, Troy.** 2017. Rol del calcio en el cultivo de plantas. PROMIX.
 18. **Aguirre Santos EA., Rodriguez Miranda J., Rosales Serna R., Catro Rosas J., Ochoa Martínez LA., Valle Cevantes S., Gómez Aldapa CA.** 2011. Determinación de tiempos de cocción de frijol común var. Pinto Saltillo utilizando dos métodos. CCCII Encuentro Nacional y I Congreso Internacional Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería (AMIDIQ) Riviera Maya, Quintana Roo. Páginas: 2812-2818.
 19. **Calvo NIR, Echeverría HE, Rozas HS.** 2008. Comparación de métodos de determinación de nitrógeno y azufre en planta: implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. *Ciencia del Suelo* 26(2): 161-167.
 20. **Statistical Analysis System.** (2002). SAS/STAT users guide: Statics, ver. 0.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1503 pp.

Compuestos bioactivos, contenido mineral y actividad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Oaxaca, México.

4

Armendáriz Fernández, Karen Vanesa; Herrera Hernández, Ibeth Marlene; Sánchez Chávez, Esteban.

4.1 Resumen	75
4.2 Introducción	75
4.3 Materiales y Métodos	76
4.4 Resultados y Discusión	80
4.5 Conclusiones	90
4.6 Bibliografía	91

4

Compuestos bioactivos, contenido mineral y actividad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Oaxaca, México

Armendáriz Fernández, Karen Vanesa; Herrera Hernández, Ibeth Marlene; Sánchez Chávez, Esteba.

4.1 RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar las variedades de frijol producidas en el estado de Oaxaca (México) con la finalidad de seleccionar variedades con potencial de ser biofortificadas con micronutrientes. Se recolectaron 11 variedades de frijol representativas del estado de Oaxaca (México), se caracterizó el color, y se determinó el análisis fisicoquímico, el contenido mineral, la capacidad antioxidante, el poder reductor y los compuestos bioactivos. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza para la diferencia entre las medias de las variedades de frijol estudiadas mediante la prueba de Tukey a 95%. Los resultados obtenidos indicaron que se encontraron diferencias significativas en las 11 variedades de frijol recolectadas en Oaxaca (México). El análisis arrojó 5 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc, proteína, capacidad antioxidante y poder reductor. Las variedades sobresalientes en cuanto a su contenido de Fe y Zn fueron Michigan para Fe 67.42 ppm, Sangre de Toro 62.49 ppm, que a su vez presento el mayor contenido de capacidad antioxidante 82.12 % de inhibición y Biche para Zn 34.77 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína 26.66 % fue el frijol Biche, seguido el frijol peruano con un 24.91% de proteína. La variedad con mayor contenido de poder reductor 0.16 % del poder reductor fue el frijol Blanco Michigan. Finalmente, cabe resaltar que dichas variedades de frijol sobresalientes son importantes para coadyuvar en mejorar la seguridad alimentaria y nutrición en comunidades vulnerables del sector urbano y rural de Oaxaca (México).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., Biofortificación, Compuestos bioactivos, Capacidad antioxidante, salud humana.

4.2 INTRODUCCIÓN

La desnutrición es una de las más importantes preocupaciones en la actualidad. La alimentación en la gran mayoría de la población mundial, es deficiente en muchos de los principales nutrientes: calorías, proteínas y una gran parte de las vitaminas. Se ha demostrado cómo la malnutrición en las primeras etapas de la vida, puede limitar a largo plazo, la capacidad de aprendizaje y de desarrollo intelectual. Asistiendo la aparición temprana de enfermedades cada vez más frecuentes como la obesidad, la hipertensión o la diabetes (Zuriban, Chávez 2017) [1].

En Oaxaca (México), un 65.9% de la población vive en condiciones de pobreza y desigualdad social. Es en las localidades rurales donde se presenta la mayor problemática de desnutrición con más de 17 mil niños desnutridos. Por falta de acceso a alimentos nutritivos y que llevan dietas inadecuadas en cuanto a calidad y cantidad. Mientras que el conflicto del sobrepeso y obesidad emerge sobre todo a nivel urbano. El problema de la obesidad, es el resultado del consumo excesivo en calorías y un bajo desgaste energético (Instituto nacional de salud pública, 2012) [2].

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), es la leguminosa más importante para el consumo humano, ya que tiene un gran aporte nutrimental en proteína, carbohidratos, lípidos, hierro, calcio, vitaminas del complejo B y minerales (Guzman- Maldonado, Acosta Gallegos, Alavrez M. Garcia 2002) [3]. El frijol es considerado un alimento importante de la canasta básica en México, al mismo, tiempo, forma parte de la dieta de un gran número de personas. Este cultivo se considera un alimento altamente funcional debido a que aporta un gran contenido de sustancias bioactivas con potencial benéfico para la salud, tales como: polifenoles,

falvonoides y antocianinas, entre otras, las cuales contribuyen de manera sinérgica con sus propiedades terapéuticas, y que pueden tener un efecto positivo contra algunas patologías. También sirven como una excelente fuente de antioxidantes naturales para la prevención de enfermedades y promoción de la salud (*Puertas, Mejía, Mosquera, Rojinoll, 2017*) [4].

La presencia de antioxidantes es importante no solo en la salud humana sino también en el ejercicio físico ya que aumenta las defensas antioxidantes, entre otros efectos positivos. Aparte es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano. Han estudiado alrededor de 100 enfermedades y su relación con el desbalance del sistema oxidativo, entre otras: cáncer y diabetes.

En el caso de la diabetes, los posibles mecanismos de los antioxidantes se relacionan con el retraso de la digestión en los carbohidratos, en particular la glucosa, de la cual también se modula su liberación por el hígado. Respecto al cáncer se asocia con los genotipos humanos relacionados al estrés

oxidativo (*Rocha- Guzman, Ramos- Gomez, 2013*) [5].

En general, se cuenta con escasa información referente a la caracterización de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido mineral presentes en las diferentes variedades de frijol existentes en México dada su gran agrobiodiversidad. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el contenido mineral, compuestos bioactivos, así como, su actividad antioxidante en variedades de frijol producidas en el estado de Oaxaca (México) con la finalidad de seleccionar variedades con potencial de ser biofortificadas con micronutrientes y con ello coadyuvar en mejorar la seguridad alimentaria y nutrición en comunidades vulnerables del sector urbano y rural de Oaxaca (México).

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1 Material vegetal

Se recolectaron 11 variedades de frijol representativas del estado de Oaxaca México (**Figura 1**).

Figura 1 • Variedades de frijol cultivadas con métodos tradicionales en el Estado de Oaxaca, México

Variedad de Frijol	Origen	Fecha de Colecta	Fotografía
Blanco Alubia	Yautepec, Oaxaca Región Sierra Sur	15/02/2018	
Biche	Juquila, Oaxaca Región Costa	15/02/2018	
Blanco Michigan	Pochutla, Oaxaca Región Costa	15/02/2018	
Peruano	Villa Alta, Oaxaca Sierra Norte	15/02/2018	
Sangre de Toro	Villa Alta, Oaxaca Sierra Norte	15/02/2018	
Bayo	Mixe, Oaxaca Sierra Norte	15/02/2018	

Negro Bola	Choapam, Oaxaca Región Papaloapan	15/02/2018	
Negro Michigan	Zaacila, Oaxaca Valle Centrales	15/02/2018	
Bayo Bola	Tlacolula, Oaxaca Valle Centrales	15/02/2018	
Flor de Mayo	Etla, Oaxaca Valle Centrales	15/02/2018	
Pinto Americano	Centro, Oaxaca Valle Centrales	15/02/2018	

4.3.2 Preparación de muestra vegetal

Se tomaron 100 semillas de cada variedad las cuales se sometieron a una molienda mediante vasos pequeños de licuadora para obtener una harina fina, dichas muestras fueron las utilizadas para los análisis de interés.

4.3.3 Análisis vegetal

4.3.3.1 Análisis de color

Para la medición del color se utilizaron los métodos propuestos por (Aguirre-Santos., et al 2010) [6]. Se tomaron varias semillas de cada variedad, después se colocaron en cajas Petri de vidrio, en donde se midieron los parámetros L, a y b mediante el uso de un equipo Chroma Meter CR-400/410. El parámetro L representa la luminosidad, con un rango desde 0 (negro) hasta 100 (blanco). El parámetro “a” puede tener valores positivos (rojo) o negativos (verde). El parámetro “b” puede tener valores positivos (amarillo) o negativos (azul). Las mediciones se realizaron con tres repeticiones obteniendo después los promedios. Con los valores de L, a y b se calculó los parámetros de Cromo (C) y Hue (H). El croma (C) se refiere a la saturación del color, mientras que (H) se refiere al Tono del color. El color del frijol va a estar dado en función de los parámetros: L* (luminosidad), C* (croma), H* (tono), en este orden.

4.3.4 Análisis fisicoquímico

4.3.4.1 Determinación de Ceniza

La determinación de ceniza se realizó mediante el método propuesto por la (Norma Mexicana

NMX-F-066-S-1978) [7]. En un crisol a peso constante, se pesó un 1 g de muestra con dos repeticiones para cada variedad, se introdujeron en el desecador y posteriormente se colocaron los crisoles con muestras en una mufla (Felisa) a una temperatura de 600 ° C, para carbonizar la muestra hasta alcanzar la calcinación. Los resultados obtenidos de ceniza se expresaron en porcentaje.

4.3.4.2 Determinación de Grasa

La determinación de grasa en las muestras de frijol, se llevó a cabo bajo el método Goldfish propuesto por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, (AOAC, 2000) [8]. Se prepararon los matraces Goldfish secándolos en la estufa hasta alcanzar el peso constante, luego se montó el equipo LABCONCO y dentro de papeles filtro se colocó la muestra y se tapó con algodón, para después introducirla dentro del equipo. Se agregó el solvente (éter de petróleo) y se dejó en reflujo durante 2 horas y media. Después de terminada la extracción, se recuperó el solvente por medio de una destilación, quedando únicamente la grasa en el matraz.

Finalmente, se pesó el matraz con el residuo y se determinó el porcentaje de grasa.

4.3.4.3 Determinación de Humedad

La determinación de la humedad fue realizada mediante el método de secado en cápsula abierta propuesto por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, (AOAC, 2000) [9]. Para este análisis fue necesario tomar 1 g de muestra para cada repetición, contando con dos repeticiones para cada variedad de frijol, este se pesó en una cápsula de aluminio previamente secada a 75°C hasta peso constante. Después de pesar cada cápsula se introdujeron al horno (Felisa) las cápsulas durante 12 horas a 75°C. A continuación, se extrajeron las cápsulas del horno y se dejaron secar en el desecador y posteriormente se pesaron nuevamente. La determinación de humedad se expresó en porcentaje.

4.3.4.4 Determinación de Fibra

Para la determinación en fibra cruda se utilizó el método propuesto por la (Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978) [10]. A partir de la muestra que anteriormente fue desengrasada, se realizó esta determinación. Las muestras fueron pesadas y registradas cada uno de sus pesos, se transfirió cada muestra a los vasos para fibra, a continuación a cada vaso se le agregaron 200 mL de ácido sulfúrico al 1.25% con 1 mL de alcohol isoamílico como antiespumante. Se dejó la mezcla durante 30 minutos en ebullición, al finalizar se realizaron enjuagues para eliminar los residuos del ácido sulfúrico y el alcohol isoamílico y al mismo tiempo neutralizar la mezcla, posteriormente se le añadió a la muestra 200 mL de hidróxido de sodio al 1.25% y se dejó ebullición durante otros 30 minutos, a su término se realizaron enjuagues en fibra de vidrio hasta llegar a la neutralidad. Posteriormente, se colocó la fibra de vidrio con muestra en la cápsula y se introdujeron a la estufa, se dejó secar durante 12 horas para asegurar que la muestra estuviera perfectamente

seca. Concluido el secado se pesó la cápsula con la fibra de vidrio y muestra, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de fibra contenida en cada una de las muestras.

4.3.4.5 Determinación de Carbohidratos

La determinación de los carbohidratos se realizó por diferencia de los otros parámetros y se reportó en porcentaje.

4.3.4.6 Determinación de Proteína

En la determinación para proteína se utilizó el método propuesto por (Dumas Calvo et al., 2008) [11]. Primero se tomó en una cápsula de níquel 3 µg de muestra y se adicionó 9 µg de pentaóxido de vanadio. Posteriormente, se introdujo en el equipo Flash 2000 (Thermo Scientific), la concentración de proteína se expresó en porcentaje.

4.3.4.7 Determinación de Energía

La energía contenida en cada una de las muestras fue medida por la suma de las calorías contenida en carbohidratos, grasa y proteína. La energía se expresó en Kcal.

4.3.5 Análisis mineral

4.3.5.1 Determinación de micronutrientes

Se pesó 1 g de muestra en la balanza analítica. Después se realizó la digestión de cada una de las muestras, para esto se preparó una mezcla con 1000 mL de ácido nítrico, 100 mL de ácido clorhídrico y 25 mL de ácido sulfúrico, (mezcla triácida), y por cada gramo de muestra molida se le agregó 25 mL de la mezcla triácida, la muestra junto con el ácido se vació en vasos de precipitado de 250 mL y se colocaron sobre una parrilla digestora (LABCONCO), por cada vaso de precipitado se colocó un vidrio de reloj junto con 3 perlas de ebullición mientras se digerían en la parrilla, una vez digerida la muestra con el ácido, se vació en matraces de 50 mL los cuales se les colocaron embudos de cristal con papel filtro, (esto para obtener una muestra más pura), posteriormente se aforaron los matraces con

agua tridestilada y se vaciaron en tubos para centrifuga graduados de 50 mL. La concentración de Fe, Zn, Mn, Cu y Ni se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC) y se expresó en ppm para los micronutrientes.

4.3.5.2 Determinación de macronutrientes

La concentración de Mg, K, Ca, también se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC) de la misma manera que se determinaron los micronutrientes y se expresó en porcentaje para macronutrientes: K, Ca, Mg y Na. Para la determinación del Fósforo (P) se realizó por el método de metavanadato de amonio, en un rango de absorción de 430 nm frente a una curva patrón de K_2HPO_4 . Para la preparación del reactivo del fósforo se utilizó un vaso de precipitado con 800 mL de H_2O desionizada caliente, casi en ebullición, se disolvió 10 g de molibdato-amónico y 0.5 g de vanadato-amónico. Seguidamente se añadió, ya en frío, 4 mL de HNO_3 , al principio gota a gota y con agitación continua. Posteriormente, se adicionaron 134 mL de HNO_3 . Se aforó con H_2O desionizada hasta un volumen final de 1 L. Después en tubos de ensayo (2 tubos por cada repetición de muestra) se colocaron 3.5 mL de agua tridestilada y se le agregaron 500 μ L de muestra de la variedad previamente digerida, finalmente se le añadió 1 mL del reactivo de fósforo, cada tubo se agitó con un Vortex y se dejaron reposar una hora. Al finalizar la hora se procedió a la lectura de cada una de las muestras en el equipo de espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer). La concentración de P se expresó como porcentaje de peso seco.

4.3.6 Determinación de la Capacidad antioxidante (DPPH)

El análisis fue realizado con el método propuesto por (Hsu *et al.*, 2003) [12]. El extracto se obtuvo macerando 1 g de semilla en 5 mL de metanol al 80%, posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 10 minutos. Del sobrenadante resultante se tomó 0.5 mL del extracto y se mezcló con 2.5 mL de una solución 0.1 mM de DPPH recién preparada, y la mezcla se incubó durante 60 minutos en oscuridad y frío. Los resultados de actividad Antioxidante fueron reportados en porcentaje de inhibición.

4.3.7 Determinación del poder reductor

El poder reductor en las semillas fue medido de acuerdo al método descrito por (Hsu *et al.*, 2003) [13]. Se macero en hielo 1 g de muestra en 5 mL de metanol al 80%, paso a una centrifugación de 5000 rpm durante 10 minutos, del sobrenadante resultante se tomó 1 mL del extracto y después se le agrego: 1 mL de buffer fosfato 0.2 M pH 6.6 y 1 mL de $K_3Fe(CN)_6$ al 1% (peso/volumen). Posteriormente la mezcla fue incubada durante 20 minutos a 50 °C. Después los tubos se enfriaron sumergiéndolos por 10 minutos en hielo y se les añadió 0.5 mL de Cl_3CCOOH al 10%. Pasados los 10 minutos, se centrifugaron a 5000 rpm durante 10 minutos, se tomó 1 mL del sobrenadante que resulto y se mezcló con 1 mL de agua destilada y 0.1 mL de $FeCl_3$ (0.1%), la mezcla se incubó por 10 minutos a temperatura ambiente en oscuridad. Los valores de absorbancia más altos indican un mayor poder reductor

4.3.8 Compuestos bioactivos

4.3.8.1 Extracción y cuantificación de Fenoles totales

La extracción de compuestos fenólicos fue determinado con el método colorimetría ante una curva patrón de ácido cafeico (10-100 μ g/mL) propuesto por (Singleton *et al.*, 1985)

[14]. Una cantidad de 0.5 g de semillas fue mezclada con 2.5 mL de metanol, 2.5 mL de cloroformo y 1.25 mL de una solución de NaCl al 2%. Después fue homogenizada, luego de una centrifugación a 5000 rpm durante 10 minutos, se obtuvieron las siguientes fases: fase metanólica, es la que contiene los ácidos fenólicos (dicha fase se utiliza en el proceso de cuantificación como extracto). Interfase, está formada por proteínas precipitadas por el NaCl y fase clorofórmica, constituida por lípidos disueltos. En cuanto a la cuantificación de fenoles, se le agregó 750 μL de Na_2CO_3 al 2%, 250 μL de reactivo Folin-Ciocalteu al 50% y 1375 μL de H_2O desionizada, 250 μL de extracto enzimático. Finalmente, pasa a una incubación a temperatura ambiente durante 60 minutos. Los resultados de Fenoles totales fueron expresados en mg de ácido cafeico g^{-1} (GA/g extracto).

4.3.8.2 Flavonoides

El análisis de flavonoides fue realizado con el método propuesto por (Zhishen *et al.*, 1999) [15]. El extracto se obtuvo macerando 0.5 g de semilla molida en 5 mL de metanol al 80%, posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos. La mezcla de reacción consistió en poner 250 μL de la alícuota en un tubo de ensayo, después Agregar 75 μL de NaNO_2 , posteriormente fue agitado mediante un Vortex y se dejó reposar durante 5 minutos, pasados los 5 minutos se procedió a agregar 150 μL de AlCl_3 y 500 μL de NaOH , diluyendo con un volumen final de 2.025 mL de H_2O . Los resultados obtenidos fueron expresados como mg equivalentes de catequina por gramo de muestra (mg CE/g) basado sobre peso seco.

4.3.8.3 Antocianinas monoméricas

Para determinar el contenido de antocianinas monoméricas se utilizó el método diferencial de pH, propuesto por (Wrolstad *et al.*, 1976) [16]. Una cantidad de 0.5 g fue mezclada con 5 mL

de metanol. Después se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos. Tras la centrifugación se obtuvieron dos fases, de la primera fase se tomaron 0.5 mL y se le agregó 2 mL de cloruro de potasio, pasando por agitación mediante un Vortex, posteriormente fue medida por espectrofotometría A_{460} . Para la segunda fase se tomaron 0.5 mL y se le agregó 2 mL de acetato de sodio, pasando por agitación mediante un Vortex, posteriormente fue medida por espectrofotometría. *Los resultados fueron reportados como mg de cianidin-3-glucoside (C3G)/g de muestra (peso en seco).

4.3.8.4 Análisis estadístico

Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza. Para la diferencia entre las medias de las variedades de frijol estudiadas se utilizó la prueba de Tukey a 95% (SAS, 2007) [17]. Los niveles de significancia de ambos análisis fueron expresados como: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ y NS (no significativo).

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Análisis de color

El color del grano de frijol fue determinado por luminosidad (L^*), coordenadas cromáticas (a^* y b^*), la pureza relativa del color (Croma), y Angulo Hue°, como se muestran en el **Cuadro 1**.

En relación a la luminosidad presente en dichas variedades, se muestra que los resultados van de 25.00 a 72.91% respecto a L^* , siendo la variedad de frijol Bayo (color blanco) la que presenta la mayor luminosidad con 72.91%, mientras que la variedad Negro bola presenta la menor con un 25.00% (**Cuadro 1**). Lo cual nos indica acerca del color luminoso presente en estos granos, ya que mientras el color sea más oscuro, la luminosidad es cercana a cero. Por lo cual nuestras variedades con los tonos más claros respecto al resto de las variedades en estudio, en el color de la testa se obtuvieron los

valores más altos en cuanto a luminosidad, estos son: Blanco Michigan, Blanco Alubia y Bayo. Mientras que las variedades con los valores más bajos son: Michigan, Negro Bola y Sangre de Toro, debido a que su color visible en la testa es oscuro (**Cuadro 1**).

En cuanto a las coordenadas cromáticas (a^* y b^*), en el caso de a^* los valores se encuentran de 0.93 a 21.37, estos valores son positivos y la mayor pertenece a la variedad Sangre de Toro, mientras que para las mediciones para b^* se obtuvo un valor negativo el cual pertenece a la variedad de frijol Michigan ($b^* - 0.61$). Los resultados antes descritos tuvieron una significancia de $p \leq 0.001$.

Es de suma importancia resaltar que dentro del modelo cromático CIELAB los valores positivos en cuanto a la letra a^* refleja la presencia de tonos rojizos en la testa del grano, en tanto a la misma letra, pero en negativo, indica la presencia de tonos verdes, dichos resultados concuerdan con los valores del modelo cromático ya que la variedad Sangre de Toro que fue la que obtuvo el valor más alto en a^* $p \leq 0.001$ y presento en su testa un color rojizo.

Con un nivel de significancia de $p \leq 0.001$ para los valores b^* desde los negativos (-0.61) hasta el mayor y positivo (25.47), es decir, existe diferencia significativa en las especies variedad Michigan con -0.61, y más alto a la variedad Peruano con un valor de 25.47 (**Cuadro 1**). Cabe destacar que dentro del modelo cromático los valores negativos en cuanto a la letra b^* indica la presencia de tonalidades azules, mientras que, en la misma letra, pero este caso positivo presenta tonalidades amarillas, por lo cual los resultados obtenidos en este estudio concuerdan ya que la variedad que presento valores negativos (Michigan -0.61) presento en su testa un color oscuro.

Dentro de la pureza relativa del color, conocida como croma o clave de color, los valores van en un rango de 2.13 a 25.63 ($p \leq 0.001$), perteneciendo el máximo valor a la variedad de frijol Peruano con un valor de 25.63, y el valor de 2.13 representa el mínimo es para la variedad Michigan (**Cuadro 1**). Esto debido a que los valores van del 0 al 100, donde el 0 indica una saturación baja mostrando tonalidades grises, negras o blancas, o bien más decoloración. Mientras que 100 indica saturación alta, lo cual indica que el color es más intenso, por ende, esto confirma los valores obtenidos en el presente estudio ya que la variedad Michigan obtuvo un valor de croma más bajo de 2.13 ($p \leq 0.001$) lo cual nos indica que el color oscuro de su testa no es tan intenso dentro de la escala de grises y negros, mientras que la variedad Peruano debido al color de su testa obtuvo una saturación media.

Con lo que corresponde al matiz, o tonalidad (por su traducción en inglés °Hue) medido el parámetro °Hue, se obtuvieron valores de negativos a positivos, perteneciendo el valor positivo a la variedad Peruano, la cual presentó un valor de 1.45 °Hue, y la variedad Michigan que presento un valor negativo de -0.37 °Hue (**Cuadro 1**). Cabe destacar que dicho estudio se encuentra dentro de estos rangos, por tanto, a que los grados Hue son una de las propiedades o cualidades fundamentales en la propiedad de un color, en el cual un estímulo puede ser descrito similar o diferente tal como lo es: verde, rojo, amarillo y azul. Para este parámetro hubo diferencia significativa de $p \leq 0.01$ entre las distintas variedades.

Cuadro 1 • Determinación de colorimetría en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Oaxaca.

Variedades de frijol	L*	a*	b*	Croma	°Hue
Blanco Alubia	72.37	2.40	13.13	13.35	1.38
Biche	72.91	4.93	17.43	18.12	1.29
Blanco Michigan	71.66	2.47	12.61	12.84	1.37
Peruano	63.95	2.87	25.47	25.63	1.45
Sangre de Toro	30.41	21.37	3.34	21.63	0.15
Bayo	63.48	8.86	19.01	20.97	1.13
Negro Bola	<u>25.00</u>	2.22	0.35	2.47	0.02
Michigan	25.07	<u>0.93</u>	<u>-0.61</u>	<u>2.13</u>	<u>-0.37</u>
Bayo Bola	60.43	9.08	23.76	25.45	1.20
Flor de Mayo	47.47	15.65	9.49	18.30	0.54
Pinto Americano	54.04	9.09	14.04	17.03	1.00
Significancia	***	***	***	***	**
MSD	3.5007	1.0445	3.9438	3.1625	1.2403

Nivel de significancia: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, NS (no significancia).

NOTA: Los números en **negrita** representan los máximos valores y los números subrayados representan los mínimos valores.

4.4.2 Análisis fisicoquímico

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre las distintas variedades de frijol estudiadas (**Cuadro 2**), en el cual se presentan la concentración de fibra, proteína, grasa, carbohidratos, energía, humedad y ceniza presentes en el grano de frijol.

De las once variedades de frijol Oaxaca con respecto a la concentración de fibra, los valores encontrados oscilan entre el 1.40% a 3.21%, siendo la variedad Flor de Mayo la que destaca con la máxima concentración (3.21%), en comparación a las demás y la de Biche presenta la concentración mínima (1.40%) (**Cuadro 2**).

En un estudio similar realizado por (Sánchez *et al.*, 2017) [18], en variedades de frijol de otras regiones, muestran los niveles de fibra bruta del 1.77% al 2.77%, rangos dentro de los que se encuentran los valores que se obtuvieron en este proyecto.

En relación al contenido de proteínas, en nuestro estudio los valores obtenidos se encuentran en un rango de 21.57% a 26.66%, siendo la variedad de frijol Biche la que destaca por presentar un 26.66% que es el mayor, mientras que el menor es para la variedad de frijol Bayo con un 21.57% (**Cuadro 2**). (Ulloa *et al.*, 2011) [19], señala que los valores de proteína en el frijol se encuentran entre el 14 y 33%, por lo

que estos resultados se encuentran dentro de dicho rango.

Los valores obtenidos de grasa, muestran que en la variedad de frijol más sobresaliente fue el frijol Blanco Alubia ya que obtuvo un valor máximo de 1.68%, mientras que el mínimo se presentó en la variedad de Peruano con un 0.79% (**Cuadro 2**). Un estudio similar realizado por (*Zacharie Barampama., 1993*) [20]. reportó que los valores medios de grasa en el frijol se ubican en un 1,01%, por tanto los resultados obtenidos de nuestras variedades se encuentran dentro de dicho rango.

Con lo que respecta al contenido de carbohidratos, los valores obtenidos muestran que para la variedad de frijol Bayo se obtuvo el mayor contenido al poseer un 70.10%, mientras que para Sangre de Toro presentó el valor mínimo de 57.16% (**Cuadro 2**).

En relación al contenido energético presente en las variedades de frijol analizadas, destacó un valor alto de 385.50 Kcal que pertenece a la variedad de frijol Biche y el de más bajo contenido energético fue para la variedad de frijol Flor de Mayo con 374.81 Kcal (**Cuadro 2**).

Cuadro 2 • Composición fisicoquímica de variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Oaxaca (México).

Variedades de frijol	Ceniza	Grasa	Humedad	Fibra	Carbohidratos	Proteína	Energía
	%	%	%	%	%	%	(Kcal)
Blanco Alubia	4.53	1.68	11.42	2.44	67.62	23.71	380.52
Biche	<u>3.61</u>	1.12	11.25	<u>1.40</u>	67.19	26.66	385.50
Blanco Michigan	4.37	1.51	11.15	2.46	67.95	23.70	380.21
Peruano	4.64	<u>0.79</u>	10.65	2.37	67.27	24.91	375.93
Sangre de Toro	5.09	1.35	11.02	2.45	<u>66.29</u>	24.81	376.59
Bayo	4.44	1.03	13.02	2.84	70.10	<u>21.57</u>	376.02
Negro Bola	4.60	0.87	<u>10.32</u>	2.68	67.31	24.51	375.22
Michigan	4.48	1.62	14.51	2.52	68.90	22.46	380.10
Bayo Bola	4.58	1.39	12.92	2.79	68.96	22.28	377.47
Flor de Mayo	4.51	1.15	12.88	3.21	67.93	23.18	<u>374.81</u>
Pinto Americano	4.69	1.33	11.22	2.31	68.05	23.60	378.65
Significancia	***	***	***	***	***	***	***
MSD	0.0115	0.02	0.0092	0.01013	0.1003	0.0119	0.4147

Nivel de significancia: *p ≤ 0.05, ** p ≤ 0.01, *** p ≤ 0.001, NS (no significancia).

NOTA: Los números en **negrita** representan los máximos valores y los números subrayados representan los mínimos valores.

Los resultados de cenizas y humedad, se encontraron diferencias significativas de $p \leq 0.001$ entre las variedades estudiadas (**Cuadro 2**). En el parámetro cenizas, la variedad de frijol más sobresaliente fue Sangre de Toro con 5.09% y la menor fue la variedad de frijol Biche con un 3.61%. Para el parámetro de humedad, la variedad de frijol con mayor porcentaje fue la de Michigan con 14.51% en comparación a las demás variedades, así como, la de Negro Bola que contiene un 10.32% siendo este el valor mínimo (**Cuadro 2**).

4.4.3 Análisis minerales

4.4.3.1 Análisis de micronutrientes

Los resultados obtenidos en el análisis de micronutrientes mostraron diferencias significativas en las diferentes variedades de frijol estudiadas. Los valores obtenidos se muestran en el **Cuadro 3**. En el cual se presentan la concentración de Cobre ($p \leq 0.01$), Níquel ($p \leq 0.001$), Manganeso ($p \leq 0.001$), Hierro ($p \leq 0.05$) y Zinc ($p \leq 0.001$) contenidos en las once variedades de frijol.

Con respecto a la concentración de Cobre, los valores destacados van de 4.67 a 12.11 ppm, siendo la variedad de frijol Peruano la que destaca por contener la máxima concentración de 12.11 ppm, mientras que la variedad de frijol bayo presenta la mínima concentración con 4.67 ppm (**Cuadro 3**).

El contenido de Níquel se encuentra en un rango de 12.72 y 29.12 ppm, destacando la variedad de frijol Pinto Americano con el mayor contenido de 29.12 ppm, en cuanto a la variedad de frijol Blanco Alubia presenta el menor contenido de 12.72 ppm (**Cuadro 3**).

En relación a la concentración de Manganeso, la variedad de frijol Flor de Mayo presenta el máximo nivel con un valor de 29.80 ppm, en relación al mínimo nivel obtenido en la variedad

Michigan con un valor de 18.51 ppm (**Cuadro 3**).

En relación al Hierro, los valores oscilan entre 45.34 67.42 ppm, siendo la variedad de frijol Michigan la que destaca al poseer una máxima concentración de 67.42 ppm, mientras la variedad de frijol Blanco Alubia presenta una mínima concentración con 45.34 ppm (**Cuadro 3**). Estos valores se encuentran por encima de los rangos de en un estudio similar realizado por (Sánchez C. C.-M., 2017) [21]. (42.39 ppm), esto indica que nuestros valores son superiores debido a su variedad y región, es importante destacar que la variedad con la menor concentración, es la Blanco Alubia con 45.34 ppm, y aun así se encuentra por arriba de los resultados de dicho estudio.

Por otro parte los valores obtenidos para Zinc, se encuentran en un rango de 10.74 a 34.77 ppm, siendo la variedad de frijol Biche que presenta la mayor concentración con 34.77 ppm, por tanto, la variedad de frijol Blanco Michigan presenta la mínima concentración con 10.74 ppm (**Cuadro 3**). Según (Chávez- Mendoza, and Sánchez 2017) [22]. muestran que los valores de Zinc en variedades de frijol de distintas regiones de México con concentraciones de 30.83 ppm, por lo que podemos decir que nuestras variedades se encuentran dentro de dicho rango.

Cuadro 3 • Concentraciones de micronutrientes en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Oaxaca (ppm)

Variedad de Frijol	Cobre	Níquel	Manganeso	Hierro	Zinc
Blanco Alubia (119)	7.48	<u>12.72</u>	21.39	<u>45.34</u>	33.04
Biche (123)	9.50	18.96	20.59	62.02	34.77
Blanco Michigan (124)	7.75	18.00	23.55	57.26	<u>10.74</u>
Peruano (126)	12.11	17.42	19.18	47.87	26.41
Sangre de Toro (127)	9.11	21.16	25.29	62.49	30.89
Bayo (128)	<u>4.67</u>	21.01	23.20	53.93	17.26
Negro Bola (129)	8.66	18.54	23.40	50.97	21.92
Michigan (134)	7.35	25.13	<u>18.51</u>	67.42	25.85
Bayo Bola (135)	7.04	27.10	25.34	54.33	28.62
Flor de Mayo (137)	5.91	23.23	29.80	57.39	23.93
Pinto Americano (140)	7.60	29.12	26.11	58.41	23.49
Significancia	**	***	***	*	***
MSD	3.9187	3.3123	4.354	18.794	9.0821

Nivel de significancia: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, NS (no significancia).

NOTA: Los números en **negrita** representan los máximos valores y los números subrayados representan los mínimos valores.

4.4.3.2 Análisis de macronutrientes

Los resultados obtenidos en el análisis de macronutrientes mostraron diferencias significativas para nitrógeno ($p \leq 0.001$) y fósforo ($p \leq 0.001$) en las once variedades de frijol estudiadas, mientras que para potasio, magnesio y calcio no se encontró diferencia significativa entre variedades. Los valores obtenidos se muestran en el **Cuadro 4**.

Con respecto a la concentración de Nitrógeno, los valores van de 3.45 a 4.26%, siendo la variedad de frijol Biche la que destaca por presentar la máxima concentración con 4.26%, mientras que la variedad de frijol Bayo presenta la mínima concentración con 3.45% (**Cuadro 4**).

En cuanto a la concentración de Fósforo, se encontraron dos variedades con el mismo valor siendo el frijol Peruano y Sangre de Toro las que destacan por presentar la máxima concentración con 0.17%, en comparación a las variedades de frijol Michigan y Bayo Bola que

presentan la mínima concentración de 0.01% (**Cuadro 4**). Un estudio similar realizado por (*Oscar Velasco- Gonzales et al., 2013*) [23], muestra que sus niveles de Fósforo se encuentran en un 0.85 y 1.29%, por lo que podemos decir que nuestras variedades se encuentran dentro de dicho rango.

Con respecto a los valores obtenidos para Potasio, la variedad de frijol Michigan presenta el mayor contenido de 1.05%, en relación a la variedad de frijol Biche que presenta la menor concentración con 0.33% (**Cuadro 4**).

En cambio, los valores obtenidos para Magnesio, se encuentran en un rango de 0.03 a 0.11%, dentro del cual destacaron dos variedades con la misma concentración, siendo el frijol Negro Bola y Bayo Bola las que poseen la mayor concentración con 0.11%, mientras que las variedades de frijol Biche y Pinto Americano presentan la menor concentración ambas con un 0.03% (**Cuadro 4**). Según (*Oscar Velasco- Gonzales et al., 2013*) [24], indica que sus

niveles de Magnesio oscilan entre un 0.10 y 0.17%, por lo cual se denota que nuestros valores se encuentran dentro de dicho rango.

En las variedades de frijol analizadas en relación a la concentración de Calcio, se observó que la máxima concentración se presentó en la variedad de frijol Biche con 1.39%, al tiempo

que la variedad de frijol Bayo presentó la mínima concentración con un 0.08% (**Cuadro 4**).

Cuadro 4 • Concentraciones de macronutrientes en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Oaxaca

Variedades de frijol	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
Blanco Alubia (119)	3.79	0.07	0.42	0.08	0.53
Biche (123)	4.26	0.05	<u>0.33</u>	<u>0.03</u>	1.39
Blanco Michigan (124)	3.79	0.12	0.54	0.07	0.09
Peruano (126)	3.98	0.17	0.80	0.07	0.28
Sangre de Toro (127)	3.97	0.17	0.45	0.04	1.27
Bayo (128)	<u>3.45</u>	0.14	0.47	0.06	<u>0.08</u>
Negro Bola (129)	3.92	0.15	0.68	0.11	0.29
Michigan (134)	3.59	<u>0.01</u>	1.05	0.07	0.77
Bayo Bola (135)	3.56	<u>0.01</u>	0.60	0.11	1.34
Flor de Mayo (137)	3.70	0.16	0.41	0.05	0.26
Pinto Americano (140)	3.77	0.16	0.42	<u>0.03</u>	0.14
Significancia	***	***	NS	NS	NS
MSD	0.0019	0.0544	0.7414	0.098	2.4642

Nivel de significancia: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, NS (no significancia).

NOTA: Los números en **negrita** representan los máximos valores y los números subrayados representan los mínimos valores.

4.4.4 Actividad antioxidante

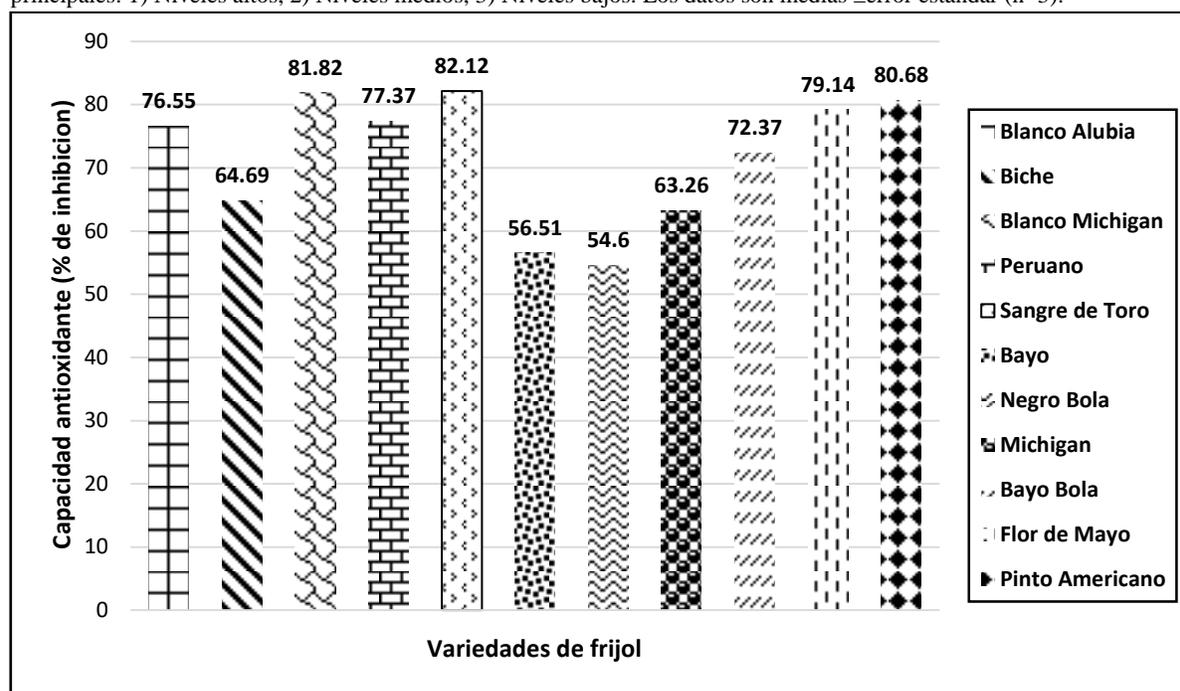
En la **Figura 2** se presentan los valores obtenidos para la capacidad antioxidante en once variedades de frijol procedentes del estado de Oaxaca, México. Las once variedades del frijol estudiadas, se encuentran clasificadas en

tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) niveles bajos de capacidad antioxidante. Dentro del nivel alto de capacidad antioxidante se encuentran las variedades de frijol: Sangre de Toro, Blanco Michigan, Pinto Americano y Flor de Mayo, las cuales presentan

una similitud en proteína con un 23%, destacándose la variedad de frijol Sangre de Toro con una máxima capacidad antioxidante de 82.12%. En el nivel medio de capacidad antioxidante se encuentran las variedades de frijol: Blanco Alubia, Biche, Peruano, Michigan y Bayo Bola, dichas variedades presentan un color comparable entre café y amarillo a excepción del Michigan ya que es un color negro, siendo la más sobresaliente de entre los niveles medios en cuanto a su máxima concentración de capacidad antioxidante la variedad de frijol Peruano con un 77.37%. En el

nivel bajo de capacidad antioxidante se encuentran las variedades de frijol: Bayo y Negro Bola, presentando el nivel más bajo la variedad de Negro Bola con un 54.6%. Destacando de entre las once variedades de frijol, la variedad Sangre de Toro con el máximo valor de capacidad antioxidante 82.12% en comparación con la variedad de Negro Bola, la cual presento el mínimo valor de capacidad antioxidante con un 54.6%, presentando un incremento de 33.51% en relación a la variedad más baja de capacidad antioxidante.

Figura 2 • Capacidad antioxidante en variedades de frijol producias en el estado de Oaxaca. Clasificadas en tres gru'pos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos. Los datos son medias \pm error estándar (n=3).



4.4.5 Poder reductor

En la **Figura 3** se presentan los valores de Poder Reductor en las once variedades de frijol producidas en el estado de Oaxaca (México). Estas variedades estudiadas, se encuentran clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) niveles bajos de capacidad antioxidante. Dentro del nivel alto de poder reductor se encuentran las

variedades de frijol: Blanco Michigan, Michigan y Bayo, destacándose la variedad de frijol Blanco Michigan al contener un 0.16 % de poder reductor. Con respecto al nivel medio de poder reductor se encuentran la mayoría de las variedades analizadas las cuales son: Biche, Peruano, Sangre de Toro, Negro Bola, Bayo Bola, Pinto Americano, no obstante, las variedades más sobresaliente dentro de este