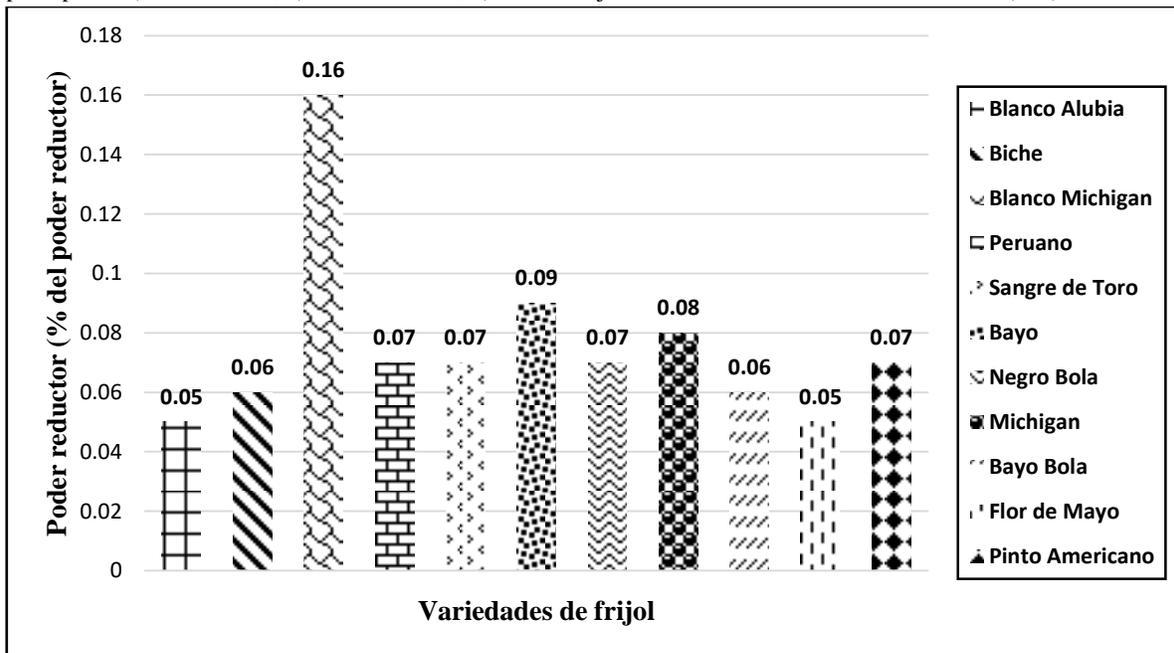


nivel es el frijol Peruano, Sangre de Toro, Negro Bola y Pinto Americano ya que dichas variedades contienen un 0.07% de poder reductor, mostrando entre sí un 24% de proteína. En el último nivel se encuentran las variedades de frijol: Blanco Alubia y Flor de Mayo, siendo ambas variedades las que representan este nivel con un 0.05% de poder reductor. Destacando de

entre las once variedades de frijol, la variedad Blanco Michigan ya que presenta la mayor cantidad de Poder Reductor con un 0.16 % mientras que el frijol con menos porcentaje corresponde a las variedades de Blanco Alubia y Flor de Mayo ambas con un 0.05 % del poder reductor. Dando así un aumento de 68.75% entre la variedad más alta y la más baja.

**Figura 3** • Poder reductor en variedades de frijol producidas en el estado de Oaxaca. Clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos. Los datos son medias  $\pm$  error estándar (n=3)



#### 4.4.6 Compuestos bioactivos

Los valores obtenidos en el análisis de compuestos bioactivos se muestran en el **Cuadro 5**. En el cual se presenta la concentración de Fenoles totales, Flavonoides y Antocianinas presentes en el grano de frijol. Para las determinaciones de Fenoles totales ( $p \leq 0.01$ ) y Antocianinas ( $p \leq 0.001$ ) existe diferencia significativa entre las especies, mientras que para flavonoides no se encontró diferencia significativa. En relación al contenido de Fenoles Totales presente en las variedades de frijol se encontró que sus rangos van de 58.98 a 109.54 mg Ácido Gálico/g, destacando la

variedad Peruano con el mayor contenido en un 109.54 mg Ácido Gálico/g, en cuanto a la variedad Biche que presenta el menor contenido con 58.98 mg Ácido Gálico/g (**Cuadro 5**).

Con respecto a la concentración de Flavonoides, los valores oscilan entre el 0.62 a 7.43 mg equivalentes de Catequina por gramo de muestra (mg CE/g), siendo la variedad Pinto Americano la que destaca con la máxima concentración (7.43 mg CE/g), en comparación a la de Blanco Alubia que presenta la concentración mínima (0.62 mg CE/g) (**Cuadro 5**).

Por otro lado, los valores obtenidos para Antocianinas, muestran que la variedad de frijol más sobresaliente fue el frijol Blanco Alubia con un valor máximo de 2.33 mg /g de extracto, mientras que la mínima se presentó en la variedad de Flor de Mayo con un 0.39 mg /g de extracto (**Cuadro 5**). Un estudio realizado por

(Chávez, Sánchez 2017) [] muestra que sus niveles de Antocianinas fueron de 0.43 mg /g de extracto, valor dentro del cual se encuentra los resultados que se obtuvieron en este proyecto.

**Cuadro 5 •** Compuestos bioactivos en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Oaxaca

Variedades de frijol	Fenoles Totales (mg Ácido Gálico/g)	Flavonoides ( mg CE/g)	Antocianinas ( mg /g extracto)
Blanco Alubia (119)	81.65	<u>0.62</u>	<b>2.33</b>
Biche (123)	<u>58.98</u>	0.77	1.50
Blanco Michigan (124)	98.77	1.77	2.03
Peruano (126)	<b>109.54</b>	2.01	1.80
Sangre de Toro (127)	94.96	4.24	1.16
Bayo (128)	74.36	4.19	0.44
Negro Bola (129)	84.00	4.31	0.87
Michigan (134)	91.24	3.60	0.84
Bayo Bola (135)	104.70	0.81	0.45
Flor de Mayo (137)	77.61	4.11	<u>0.39</u>
Pinto Americano (140)	84.99	<b>7.43</b>	1.26
Significancia	**	NS	***
MSD	47.612	12.117	0.3633

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

**Nota:** los números remarcados en **negrita** son los valores más altos, los números que se encuentran subrayados son los valores más bajos.

Se determinaron 7 variables en 11 variedades de frijol provenientes del estado de Oaxaca (México), de las cuales destacaron 5 variedades de manera individual y general. Dentro de las variedades destacadas individualmente se encuentran la variedad de frijol Biche proveniente de la región costa de Oaxaca (México), con el mayor contenido en Zinc

(34.77 ppm) y Proteína (26.66 %), por consiguiente se encuentra la variedad Peruano proveniente de la sierra norte de Oaxaca (México), siendo la segunda más alta en Proteína (24.91 %). Por ultimo de manera individual se encuentra la variedad Michigan proveniente de Valles centrales Oaxaca (México), presentando el mayor contenido en

Hierro (67.42 ppm). Dentro de las variedades destacadas de manera general se encuentra la variedad de frijol Sangre de Toro proveniente de la Sierra Norte de Oaxaca (México), siendo la segunda que presenta el valor más alto de Hierro con (62.49 ppm), así mismo es la que presenta más compuestos, dicha variedad fue la más sobresaliente en Capacidad Antioxidante con un 82.12 % de inhibición debido a su alto contenido en flavonoides (4.24 mg CE/g) y antocianinas (1.16 mg/ g de extracto). Por último se encuentra la variedad Blanco Michigan proveniente de la región costa de Oaxaca (México), siendo la segunda con más compuestos, destaco con un alto valor en Poder Reductor (0.16 % del poder reductor), debido a su gran contenido en fenoles (98.77 mg ácido gálico/ g), antocianinas (2.03 mg/ g extracto) y capacidad antioxidante (81.82 % de inhibición). Dichas variedades sobresalientes son provenientes de las mismas regiones, por lo cual tienen algunas variabilidades genéticas debido al ambiente, al suelo, los minerales y clima, tienen un mecanismo de absorber más nutrientes.

(98.77 mg ácido gálico/ g), antocianinas (2.03 mg/ g extracto) y capacidad antioxidante (81.82 % de inhibición).

## 4.5 CONCLUSIONES

**D**e las 11 variedades representativas del estado de Oaxaca (México) destacaron 5 por ser las que presentaban los valores más altos en cuanto a los compuestos medidos, la variedad de frijol Biche presento el mayor contenido en Zinc (34.77 ppm) y Proteína (26.66 %), por consiguiente se encuentra la variedad Peruano, siendo la segunda más alta en Proteína con un 24.91 %. En cuanto a la variedad Michigan presento el valor más alto en Hierro con 67.42 ppm. La variedad de frijol Sangre de Toro presento el segundo valor más alto en Hierro con (62.49 ppm), dicha variedad fue la más sobresaliente en Capacidad Antioxidante con un 82.12 % de inhibición debido a su alto contenido en flavonoides (4.24 mg CE/g) y antocianinas (1.16 mg/ g de extracto). Por último se encuentra la variedad Blanco Michigan la cual destaco con un alto valor en Poder Reductor (0.16 % del poder reductor), debido a su gran contenido en fenoles

## 4.6 BIBLIOGRAFÍA

1. **Zuriban, S.; Chávez A.** APRIL 7th WORLD HEALTH DAY Theme for 1963: Hunger-disease of millions; pp. 1-13.
2. **Instituto nacional de salud pública,** 2012.; Oaxaca encuesta nacional de salud y nutrición, resultados por entidad federativa, 2012.
3. **Guzmán-Maldonado., S. H.; Acosta Gallegos., J. A.; Álvarez M., M. A.; García D., S.; Loarca P., G.** (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agric. Téc. Méx. 28: 159-173.
4. **Puertas, M.A.; Mejía, I.N.; Mosquera-Mosquera, I.; Rojanoll, B.** Study of in vitro antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) by microwave assisted extraction.
5. **Rocha-Guzman, N. E.; Gallegos-Infante, J. A.; Gonzalez-Laredo, R. F.; Cardoza-Cervantes, V.; Reynoso-Camacho, R.; Ramos-Gomez, M.; Garcia-Gasca, T. and De Anda Salazar, A.** Evaluation of culinary quality and antioxidant capacity for Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in pilot plant, International Food Research Journal 20(3): 1087-1093 (2013) Journal homepage, Received: 24 August 2012 Received in revised form: 12 December 2012 Accepted:13 December 2012.
6. **Coronado, M.; Vega, S.; Vázquez, M.** Antioxidants: Present perspective for human health. Revista chilena de nutrición, Santiago, jun.2015; Vol.42, No.2.
7. **NMX-F-066-S-1978.** DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS. FOODSTUFF DETERMINATION OF ASHES. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>
8. **Association of Official Analytical Chemist.** (2000). Oficial Methods of Analysis (17<sup>th</sup>). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU.
9. **Association of Official Analytical Chemist.** (2000). Oficial Methods of Analysis (17<sup>th</sup>). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU.
10. **NMX-F-427-1982.** (1982). Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-427-1982.PDF>
11. **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.
12. **Aguirre-Santos, E.A.; Gómez-Aldapa, C.A.** 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*, 2010, Edición Especial 9, 1-8.
13. **NMX-F-066-S-1978.** Alimentos. Determinación de cenizas en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. 1978. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF> (accessed on 15 July 2018).
14. **NMX-F-427-1982.** Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección General de Normas. 1982. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-427-1982.PDF> (accessed on 15 July 2018).
15. **Association of Official Analytical Chemist (AOAC).** Oficial Methods of Analysis (17<sup>th</sup>). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE, UU. 2000.
16. **NMX-F-090-S-1978.** Determinación de fibra cruda en alimentos. Dirección general de normas, 1978. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-090-S-1978.PDF>
17. **Statistical Analysis System.** (2002). SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1503 pp.

18. **Sánchez, C. C.** (2017). Bioactive Compounds from Mexican Varieties of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*): implications for Health. *moleculas*, 32
19. **Ulloa JA, Ulloa PR, Ramírez-Ramírez JC, Ulloa-Rangel BE.** (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente* 3(8): 5-9.
20. ...
21. **Sánchez, C. C.-M.** (17 de agosto de 2017). Bioactive Compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): implications for health. *moleculas* , 32. Obtenido de file:///C:/Users/Usr01/Downloads/moleculas-22-01360.pdf
22. **Sánchez, C. C.-M.** (17 de agosto de 2017). Bioactive Compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): implications for health. *moleculas* , 32. Obtenido de file:///C:/Users/Usr01/Downloads/moleculas-22-01360.pdf
23. **Oscar Velasco- Gonzales, R. M.-E.** (2013). PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL GRANO DE FRIJO (*Phaseolus vulgaris* L). *Bioagro*, 161-166
24. **Oscar Velasco- Gonzales, R. M.-E.** (2013). PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL GRANO DE FRIJO (*Phaseolus vulgaris* L). *Bioagro*, 161-166

# Compuestos bioactivos, contenido mineral y capacidad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Zacatecas, México

# 5

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

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

# 5

## **Compuestos bioactivos, contenido mineral y capacidad antioxidante en variedades de frijol cultivadas en Zacatecas, México**

---

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

---

## 5.1 RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar nutricionalmente la biodiversidad de frijol producido en Zacatecas, México. Con potencial para implementar modelos de biofortificación agronómica que sirvan como una alternativa viable en el mejoramiento nutricional de la población, especialmente en comunidades pobres del sector urbano y rural de México, lo cual ofrecerá mejores perspectivas de progreso para la agricultura nacional, y asegurará que los cultivos se encuentran en condiciones de satisfacer las necesidades nutricionales de la población, colocándolo no solo como uno de los alimentos de la dieta básica nacional, sino como una de las leguminosas con mayor potencial de biofortificación en México. Se recolectaron 11 variedades de frijol (Flor de Mayo, Bayo, Frijola, Patola, Alubia, Flor de Junio, Frijol Reata, Frijol Japonés, Negro, Peruano y Pinto Saltillo), se evaluaron sus características físicas, fisicoquímicas, contenido mineral, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y separación de medias. Los resultados más sobresalientes de manera individual fueron los siguientes: Peruano con el mayor contenido de Hierro (105.29 ppm); el frijol Bayo con la mayor concentración de Zinc (48.18 ppm) y el frijol Reata con el mayor nivel de proteína (26.88 %). Las variedades más sobresalientes en cuanto a Hierro, Zinc, proteína y capacidad antioxidante fueron: Flor de Junio, Flor de Mayo, Frijol Reata, Alubia y Pinto saltillo, sin embargo, la variedad más destacada de manera integral fue Flor de Junio con un poder reductor (0.20%), capacidad antioxidante (80.62% de inhibición), P (0.17%), Ca (0.24%), Fe (90.97 ppm), Zn (27.23 ppm), Fibra (3.22%), Energía (353.50 Kcal), Fenoles (94.82 mgACg/g extracto) y Flavonoides (1.30 mgCat/g extracto).

**Palabras clave:** Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Biofortificación, Capacidad antioxidante, Compuestos bioactivos, contenido mineral.

## 5.2 INTRODUCCIÓN

La insuficiencia de micronutrientes en los alimentos hortícolas ha aumentado en los últimos años, teniendo como consecuencia un marcado descenso en la calidad de la dieta de las personas, en países desarrollados y en desarrollo. Incluso la deficiencia de micronutrientes como Yodo, Selenio, Hierro y Zinc, se ha considerado un problema de salud pública que afecta a más de un tercio de la población mundial, generando un aumento en la mortalidad, baja talla y problemas de aprendizaje [1]. Sin embargo, actualmente existe un interés creciente por la nutrición y los hábitos alimenticios. Lo cual, ha repercutido en que las personas sean más selectivas con los productos que consumen. La alimentación de origen vegetal ha despertado el interés, ya que contiene los principales nutrientes que el cuerpo necesita para desarrollar sus funciones y cubrir las necesidades dietéticas. Por lo que los productos de origen vegetal están siendo considerados alimentos con un gran potencial nutracéutico. Uno de estos es el frijol; leguminosa de importancia mundial en términos de consumo humano. Sin embargo, tanto los productores como los consumidores, desconocen el valor nutricional preciso que resulta de esta diversidad genética preservada, a pesar de que forma parte de su dieta diaria [2]. El frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.), se considera la leguminosa más importante en el mundo, es fuente importante de proteínas, calorías, vitaminas del complejo B, minerales, polifenoles, entre otros, que en conjunto le confieren un alto valor [3,4]. Dado que el frijol presenta una alta disponibilidad, relativo bajo costo y tradición cultural, se ha catalogado como uno de los pilares de la cultura gastronómica milenaria, y dentro de la canasta básica como un producto indispensable. Esta leguminosa posee características que contribuyen a completar un cuadro de nutrición elemental [5]. Son fuente considerable de micronutrientes como: hierro, calcio, fósforo, magnesio y zinc. Presentan un

buen contenido de compuestos bioactivos, sustancias que pueden influir en la salud, afectando diferentes actividades a nivel fisiológico o celular. Mejoran la salud, retrasan el envejecimiento, previenen enfermedades crónicas, prolongan la esperanza de vida y apoyan una estructura o función corporal [6], debido a la incapacidad del cuerpo humano para neutralizar los radicales libres, obliga al hombre a recurrir a alimentos capaces de neutralizarlos. El frijol presenta beneficiosos niveles de capacidad antioxidante, sustancias capaces de prevenir o retardar la oxidación de materiales fácilmente oxidables. Actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales, retrasando los procesos de envejecimiento, combatiendo la degeneración y la muerte celular [7].

México se considera el país con la mayor diversidad de frijol, es centro de origen de 47 de las 52 especies del género *Phaseolus* [8]. La producción nacional para el año 2017 ascendió a 1,273, 957 toneladas, con una superficie sembrada de 1 millón 428 mil hectáreas. [9]. El estado de Zacatecas, es el mayor productor a nivel nacional en los últimos años, con una producción anual de 350 a 450 mil toneladas de frijol [5]. Dado que la caracterización es un paso previo a la implementación de programas de biofortificación, se ha considerado viable el mejoramiento de los cultivos mediante técnicas de fertilización, fitomejoramiento tradicional o asistido con biotecnología, como una alternativa para incrementar el contenido de nutrientes. Sin embargo, hace falta realizar estudios respecto a sus propiedades fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos, mineral y capacidad antioxidante de las variedades de frijol producidas y cultivadas en México. El objetivo primordial del presente artículo fue caracterizar nutricionalmente la biodiversidad de frijol en Zacatecas, México. Con potencial para implementar modelos de biofortificación agronómica que sirvan como una alternativa viable en el mejoramiento nutricional de la

población, especialmente en comunidades pobres del sector urbano y rural de México, lo cual ofrecerá mejores perspectivas de progreso para la agricultura nacional, asegurará que los cultivos se encuentran en condiciones de satisfacer las necesidades nutricionales de la población, colocándolo no solo como uno de los alimentos de la dieta básica nacional, sino como una de las leguminosas con mayor potencial de biofortificación en México.

## 5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.3.1 Características físicas

#### 5.3.1.1 Color del grano

El color del grano estuvo determinado por la luminosidad ( $L^*$ ), las coordenadas cromáticas ( $a^*$ ,  $b^*$ ), la pureza relativa del color (Croma) y el ángulo Hue. En el **Cuadro 1** se muestran dichos parámetros, evaluados en las 11 variedades mexicanas de frijol. El color no solo define la variedad de frijol, si no también otras funciones, como proteger contra patógenos, en especial cuando presentan un color en testa oscuro [10]. Por otro lado, Pérez Herrera et al. [11], Iniestra-González et al. [12] mencionan que el color de testa oscura podría indicar una buena actividad antioxidante.

En relación a la luminosidad presente en cada una de las variedades en estudio, se obtuvieron resultados entre 27.55 hasta 81.84% respecto a  $L^*$ , perteneciéndole a la variedad Patola (frijol de color blanco) los valores más altos en cuanto a luminosidad, con 81.84%, y por el contrario el valor más bajo en cuanto a luminosidad le perteneció a la variedad de frijol Negro, con 27.55% respecto a  $L^*$  (**Cuadro 1**).

Estos valores nos dan una indicación sobre el aspecto luminoso del color estudiado en el grano, ya que, cuanto más oscuro es el color, la luminosidad es más débil, es por esto que nuestras variedades con los tonos más claros en testa obtuvieron los valores más altos en cuanto a luminosidad, tal es el caso de las variedades: Patola, Alubia, Frijola y Bayo, las cuales fueron las más claras respecto al resto de las variedades

en estudio. En cambio, las variedades: Negro, Frijol Reata, Flor de Mayo y Flor de Junio, obtuvieron los valores más bajos en cuanto a luminosidad, debido a que el color de su testa es oscura (**Cuadro 1**).

Con respecto a las coordenadas cromáticas ( $a^*$ ,  $b^*$ ), en el caso de  $a^*$ , los resultados mostraron valores desde negativos -0.006 hasta positivos 14.68, el valor negativo perteneció a la variedad Peruano, mientras que el valor positivo más alto se encontró en la variedad de frijol Flor de Mayo (**Cuadro 1**). Es importante destacar que dentro del modelo cromático CIELAB los valores positivos en torno a la letra  $a^*$  indican la presencia de tonos rojizos, mientras que la misma letra pero negativa, es decir  $-a^*$  indica la presencia de tonos verdosos amarillentos, dichos resultados concuerdan claramente con los valores del modelo cromático, ya que la variedad Peruano, la cual obtuvo un valor de  $a^*$  negativo presentó en su testa un color amarillento con tintes un tanto verdosos, mientras que por el contrario la variedad Flor de Mayo presentó en su testa un color morado rojizo, concordando a totalidad con el modelo cromático.

En el caso de  $b^*$ , los resultados encontrados también mostraron valores desde negativos -2.18 hasta positivos 30.84, el valor negativo perteneció a la variedad de frijol Negro, mientras que el valor positivo más alto perteneció a la variedad Peruano (**Cuadro 1**). Cabe destacar que dentro del modelo cromático CIELAB los valores negativos en cuanto a la letra  $b^*$  indican la presencia de tonos azules, mientras que la misma letra pero con valores positivos indica la presencia de tonos amarillentos, los resultados encontrados en nuestras variedades también concuerdan con los

valores del modelo cromático, puesto que la variedad de frijol Peruano, la cual registró un valor de  $b^*$  positivo presentó en su testa un color amarillento con tintes un tanto verdosos, y en particular la variedad de frijol Negro presentó en su testa un color negro azulado intenso, concordando a cabalidad con el modelo cromático previamente descrito.

Ahora bien, la pureza relativa del color, conocida como Croma o clave de color, se encontró en un rango de 2.31 a 30.84 Croma, el valor mínimo le perteneció a la variedad de frijol Negro, mientras que el valor máximo le perteneció a la variedad de frijol Peruano. Debido a que los valores posibles van del 0 al 100, donde el 0 indica una saturación baja, mientras que el 100 indica una saturación alta, por tanto, cuanto menor sea la saturación de un color, mayor tonalidad grisácea habrá y más decolorado estará. Esto se confirma en el presente estudio, ya que la variedad frijol Negro obtuvo una saturación baja de 2.31, lo cual es un indicador de que el color de su testa tiene una tonalidad intensa oscura dentro de la escala de grises y negros, mientras que en la variedad frijol Peruano debido al color de su testa se obtuvo una saturación media.

Respecto al tono, matiz o tonalidad (Hue) se reportaron valores de negativos a positivos, en el caso de la variedad de frijol Negro, esta reportó un valor de  $-1.22^\circ\text{Hue}$ , mientras que la variedad Patola reportó un valor de  $1.46^\circ\text{Hue}$  (**Cuadro 1**). Por tanto se puede inferir que las variedades en estudio están en un rango razonable, debido 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 como similar o diferente como: rojo, amarillo, verde o azul.

**Cuadro 1 • Color del grano en variedades de frijol producidas en el estado de Zacatecas, México.**

Variedades de frijol	L*	a*	b*	Croma	°Hue
Flor de Mayo	53.13	<b>14.68</b>	7.60	16.54	0.47
Bayo	65.44	7.11	20.01	21.23	1.22
Frijola	66.75	6.41	19.58	20.60	1.25
Patola	<b>81.84</b>	1.55	13.99	14.05	<b>1.46</b>
Alubia	79.54	2.05	10.31	10.51	1.37
Flor de Junio	52.04	14.19	9.13	16.90	0.57
Frijol Reata	46.86	13.08	8.87	15.82	0.59
Frijol Japonés	55.98	11.57	15.34	19.22	0.92
Negro	<u>27.55</u>	0.78	<u>-2.18</u>	<u>2.31</u>	<u>-1.22</u>
Peruano	67.63	<u>-0.006</u>	<b>30.84</b>	<b>30.84</b>	-0.52
Pinto Saltillo	65.06	5.71	13.54	14.69	1.17
Significancia	***	***	***	***	***
MSD	4.8888	1.3998	1.9912	1.813	1.6055

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

### 5.3.1.2 Largo, ancho, grosor y peso

El frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) es un grano común, con una alta biodiversidad en cuanto a sus características físicas: largo, ancho, grosor y peso. En el **Cuadro 2** se enlistan los resultados arrojados para dichas características, las cuales fueron analizadas en las 11 variedades de frijol provenientes del estado de Zacatecas.

Las dimensiones registradas en relación al largo del grano, son muy similares entre sí en 9 de las 11 variedades en estudio, sin embargo, se muestran considerables diferencias en cuanto al

largo en las variedades Patola y Negro, ya que la variedad Patola fue la más grande respecto a este parámetro al medir 18.03 mm, y sin embargo, la variedad Negro fue la más pequeña al medir 10.70 mm (**Cuadro 2**).

Haciendo referencia al ancho del grano, se muestran pequeñas pero muy significativas diferencias, ya que las variedades estudiadas presentaron valores muy similares, destacando de entre ellas las variedades: Flor de Junio y Patola, las cuales tienen un ancho de 7.60 y 11.06 mm respectivamente (**Cuadro 2**).

En el caso del grosor, este no fue la excepción al registrar valores similares entre variedades, sobresaliendo con el máximo grosor la variedad Patola al presentar 7.30 mm, mientras que la variedad Pinto Saltillo reportó el mínimo grosor con 4.83 mm (**Cuadro 2**), es destacable decir que entre dichas variedades hay una diferencia de 2.47 mm entre sí, diferencia que pareciera no ser muy grande, pero al comparar visualmente ambas variedades esta diferencia se hace totalmente notoria.

Aunado a dichas características se encuentra el peso de los granos, el cual, tal y como se esperaba se vio influenciado por los parámetros previamente descritos, mostrando diferencias significativas entre variedad, los cuales van de 28.86 a 83.72 g, correspondiéndole dichos pesos a las variedades Flor de Junio y Patola, respectivamente (**Cuadro 2**).

**Cuadro 2 • Biodiversidad de las variedades de frijol producidas en el estado de Zacatecas en cuanto a sus características físicas.**

Variedades de frijol	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso en 100 granos (g)
Flor de Mayo	13.26	7.73	5.66	29.49
Bayo	12.03	9.10	5.83	35.26
Frijola	13.73	9.63	6.03	47.80
Patola	<b>18.03</b>	<b>11.06</b>	<b>7.30</b>	<b>83.72</b>
Alubia	12.26	7.96	6.43	34.31
Flor de Junio	11.40	<u>7.60</u>	6.00	<u>28.86</u>
Frijol Reata	16.23	8.66	6.30	47.94
Frijol Japonés	11.46	9.06	7.23	40.98
Negro	<u>10.70</u>	7.76	5.40	30.75
Peruano	12.86	7.63	6.43	45.01
Pinto Saltillo	12.60	8.00	<u>4.83</u>	32.70
Significancia	NS	NS	NS	NS
MSD	1.8275	1.2914	1.6455	3.6038

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

### 5.3.2 Análisis fisicoquímico

Con respecto a la concentración de fibra, los valores oscilaron entre el 2.71 al 3.64%, siendo la variedad de frijol Flor de Mayo la que destacó por poseer la máxima concentración con 3.64%, mientras que la variedad Bayo presentó la

concentración mínima con 2.71% (**Cuadro 3**).

Un estudio similar realizado por Aguirre-Santos et al. [13] muestran que sus niveles de fibra se encuentran entre el 1.35% al 2.77%, rango que indica que nuestros valores fueron superiores a los encontrados por dichos autores, ya que se

obtuvieron mayores concentraciones por variedad, y siendo sobresaliente que nuestra variedad con la menor concentración, es decir, el frijol Bayo (2.71%), se encontró en dicho estudio dentro de los valores con la mayor concentración (2.77%) dentro de todas las variedades analizadas .

Por otro lado, el contenido de proteína se encontró en un rango de 19.20 a 26.88%, siendo la variedad Frijol Reata la que presentó la mayor concentración con 26.88%, mientras que la variedad Flor de Junio presentó la menor concentración con 19.20% (**Cuadro 3**). Según Ulloa, J.A [14], indica que los valores de proteína en frijol se encuentran entre un 14 a 33%, por lo que nuestras variedades se posicionan dentro del rango anteriormente descrito.

Los valores para carbohidratos muestran que la variedad de frijol Negro presentó el mayor contenido en carbohidratos con un 65.79%, mientras que la variedad Frijol Reata presentó la menor concentración con un 57.16% (**Cuadro 3**). En relación a las investigaciones realizadas por Campos-Vega [15] y Aguirre-Santos [13], las cuales, registraron valores de 51.51 a 56.28%, es sobresaliente decir que nuestras variedades superan considerablemente los valores encontrados por dichos autores, ya que nuestra variedad con menor contenido en carbohidratos, es decir el Frijol Reata superó con 0.88% a la variedad con mayor contenido en carbohidratos, según señalan los resultados encontrados en dicho estudio.

Con respecto a los valores obtenidos para grasa, estos se encontraron en pequeñas cantidades, y se muestra que la variedad frijol Negro presentó el mínimo nivel de grasa con 0.78%, mientras que con un máximo de 2.19% se colocó a la variedad Frijola (**Cuadro 3**). En un estudio similar Lijiao Kan [16] reportó que los niveles de grasa se encuentran entre un 1.05% a 2.83%, niveles que se sitúan por arriba de nuestro valor mínimo, pero dentro de nuestro valor máximo.

En relación al contenido energético presente en las variedades de frijol analizadas se arrojaron las siguientes concentraciones; el más alto contenido energético con 355.15 Kcal se presentó en la variedad de frijol Frijola y el más bajo contenido energético con 346.96 Kcal la obtuvo la variedad de frijol Peruano (**Cuadro 3**).

Con respecto a cenizas y humedad, se encontraron diferencias significativas entre las variedades estudiadas. En el caso cenizas, la variedad más sobresaliente fue Patola con un incremento de 4.72% en comparación a Flor de Junio con 3.89%. En relación a la humedad, la variedad Peruano destacó al contener 7.42% en comparación a la variedad Japonés la cual presentó un 6.14% de humedad (**Cuadro 3**). Según investigaciones realizadas por Campos-Vega [15] y Aguirre-Santos et al. [13], el porcentaje de humedad oscila entre el 8.0% llegando a alcanzar valores de hasta 11.95%, por lo que nuestra variedad con mayor porcentaje, es decir el frijol Peruano, contiene menor porcentaje de humedad (7.42%) en comparación a los valores reportados por dichos autores.

**Cuadro 3 •** Composición fisicoquímica de diferentes variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Zacatecas, México.

Variedades de frijol	Ceniza (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)	Proteína (%)	Energía (Kcal)
Flor de Mayo	4.14	1.03	6.36	<b>3.64</b>	63.47	21.36	348.59
Bayo	4.15	1.39	7.12	<u>2.71</u>	62.53	22.10	351.03
Frijola	4.41	<b>2.19</b>	6.72	2.82	59.57	24.29	<b>355.15</b>
Patola	<b>4.72</b>	2.09	7.17	3.48	60.60	21.94	348.97
Alubia	4.24	1.11	6.46	3.24	61.79	23.16	349.79
Flor de Junio	<u>3.89</u>	1.74	6.69	3.22	65.26	<u>19.20</u>	353.50
Frijol Reata	4.40	1.73	6.66	3.17	<u>57.16</u>	<b>26.88</b>	351.73
Frijol Japonés	4.42	0.97	<u>6.14</u>	2.88	62.67	22.92	351.09
Negro	4.12	<u>0.78</u>	6.35	2.82	<b>65.79</b>	20.14	350.74
Peruano	4.26	1.08	<b>7.42</b>	2.93	59.30	25.01	<u>346.96</u>
Pinto Saltillo	4.29	1.11	6.73	3.44	58.65	25.78	347.71
Significancia	***	***	***	***	***	***	***
MSD	0.0515	0.0763	0.0545	0.0832	0.2659	0.05	0.3854

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

### 5.3.3 Análisis mineral

#### 5.3.3.1 Micronutrientes

En los resultados obtenidos en el análisis de micronutrientes, se encontraron diferencias significativas en las variedades de frijol estudiadas. Los valores obtenidos se muestran en el **Cuadro 4**. En el cual se presentan las concentraciones de Cobre, Níquel, Manganeso, Hierro y Zinc presentes en el grano de frijol.

Los niveles de Hierro encontrados en las variedades de frijol empleadas en este estudio se localizan en un rango de 21.62 ppm a 105.29

ppm, ubicándose al frijol Peruano como la variedad con la mayor concentración de Hierro al contener 105.29 ppm, mientras que la variedad Frijol Japonés registró el menor contenido en Hierro con solo 21.62 ppm. Según Acosta-Gallegos et al. [17] quienes realizaron un estudio en variedades de frijol Mexicanas, revela que el contenido en Hierro se encuentra en un rango de 24.8 ppm a 57.5 ppm, estos valores nos indican que nuestras variedades con los valores más altos superaron las concentraciones dadas por dicho autor, y que nuestra variedad más baja se encontró con una

diferencia de 3.18 ppm en relación a los valores reportados por Acosta-Gallegos et al. [17].

Por otra parte, las concentraciones de Zinc muestran que las variedades estudiadas se localizan en un rango que va desde 6.74 ppm hasta 48.18 ppm, valores que corresponden a las variedades Frijol Japonés y Bayo, respectivamente. Dichos resultados son similares a los encontrados por Acosta-Gallegos et al. [17], quienes evaluaron el contenido de Zinc presente en algunas variedades de frijol provenientes de la República Mexicana, reportando sus valores entre 27.1 hasta 41.3 ppm, por lo que al comparar sus valores con los nuestros podemos decir que nuestras variedades están por debajo de los valores mínimos registrados por Acosta-Gallegos et al. [17], sin embargo, nuestros valores altos están por encima de los valores máximos registrados por dicho autor.

Con respecto a Cobre, el contenido de este varió de 8.34 a 13.24 ppm, siendo el frijol Bayo el más sobresaliente dentro de las 11 variedades en estudio, al poseer 13.24 ppm, mientras que la variedad Negro solo posee 8.34 ppm.

En relación al contenido de Níquel presente en las variedades analizadas, se arrojaron las siguientes concentraciones: el más alto contenido en Níquel con 10.40 ppm perteneció a la variedad Frijol Japonés y el más bajo contenido se presentó en la variedad de frijol Bayo con 2.03 ppm.

Las concentraciones encontradas de Manganeso revelan que los valores oscilan entre 5.41 y 38.54 ppm, siendo el frijol Negro la variedad que arrojó la mayor concentración para dicho elemento con 38.54 ppm, mientras que la variedad Pinto Saltillo arrojó la menor concentración con 5.41 ppm.

**Cuadro 4 •** Concentración de micronutrientes (ppm) en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Zacatecas, México.

Variedades de frijol	Cobre	Níquel	Manganeso	Hierro	Zinc
Flor de Mayo	10.15	8.98	25.45	55.78	31.00
Bayo	<b>13.24</b>	<u>2.03</u>	10.07	76.48	<b>48.18</b>
Frijola	10.14	7.89	12.16	97.76	8.52
Patola	9.85	10.12	25.42	65.74	7.09
Alubia	12.38	4.89	30.60	53.90	18.12
Flor de Junio	8.95	2.78	12.86	90.97	27.23
Frijol Reata	11.19	7.54	6.07	65.57	17.09
Frijol Japonés	12.76	<b>10.40</b>	15.90	<u>21.62</u>	<u>6.74</u>
Negro	<u>8.34</u>	5.64	<b>38.54</b>	84.59	13.11
Peruano	10.72	3.29	28.48	<b>105.29</b>	27.20
Pinto Saltillo	11.82	6.04	<u>5.41</u>	62.48	25.96
Significancia	NS	***	*** <sub>x</sub>	***	***
MSD	5.7385	5.1612	25.183	46.342	28.372

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

### 5.3.3.2 Macronutrientes

Los resultados obtenidos respecto al contenido de macronutrientes mostraron diferencias significativas. Los valores obtenidos se muestran en el **Cuadro 5**, en el cual se presenta la concentración de Calcio, Sodio, Magnesio,

Potasio, Fósforo y Nitrógeno en cada una de las variedades en estudio.

En relación al contenido de Calcio, se arrojaron las siguientes concentraciones: el más alto

contenido en Calcio con 0.29% se presentó en la variedad de frijol Alubia, mientras que la variedad Patola reportó el más bajo contenido con 0.12% respecto a Calcio (**Cuadro 5**). Anteriores investigaciones, reportaron valores muy similares a los nuestros, siendo Acosta-Gallegos et al. [17] quienes reportaron que el contenido de Calcio en el grano de frijol se encuentra entre el 0.11 al 0.63%. Situándose así nuestras variedades en estudio dentro de dichos valores encontrados, ya que tal y como se describe al inicio del párrafo nuestras variedades arrojaron resultados de 0.12 hasta 0.29% respecto a contenido en Calcio, lo cual indica que nuestras variedades están dentro de los valores normales para dicho macronutriente.

Respecto al contenido de Sodio, los concentraciones encontradas son mínimas y muy similares entre sí, estas pequeñas concentraciones presentaron una media de 0.003%, ya que los valores encontrados respecto a Sodio oscilaron entre el 0.002 al 0.004%. Situándose las variedades Flor de Mayo y Patola con el porcentaje más bajo, es decir 0.002% respecto a Sodio, mientras que las variedades Frijola, Peruano, Bayo y Pinto Saltillo arrojaron el porcentaje más alto, es decir 0.004%, y por ende el resto de las variedades obtuvieron el valor media (0.003%) dentro de esta concentración.

Por otro lado, el contenido de Magnesio se encontró en un rango de 0.2 a 0.16%, siendo las variedades Bayo y Flor de Junio las que presentaron el menor porcentaje en cuanto a Magnesio, al contener tan solo 0.2%, mientras que la variedad Frijol Japonés presentó el mayor porcentaje en Magnesio con 0.16% (**Cuadro 5**).

Los valores respecto a Potasio muestran que la variedad Peruano presenta el menor contenido con tan solo el 0.41%, y siendo las variedades Bayo y Frijol Japonés las que reportan el mayor contenido con 1.32% de Potasio. Un estudio similar realizado por Esteban Sánchez [18] muestra que los niveles de Potasio reportados son superiores a los nuestros ya que estos se encuentran entre el 1.63 al 4.65%, mientras que nuestras variedades están en un rango de 0.41 a 1.32%. Se considera que estas diferencias en cuanto a valores se deben a condiciones agroclimáticas, al manejo del cultivo y así como a la variedad genética.

Con respecto a las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno, indicar que se encontraron diferencias significativas entre las variedades estudiadas. En el caso de Fósforo, los valores encontrados oscilan entre el 0.13 al 0.40%, siendo la variedad Frijola la que destaca por poseer la máxima concentración con 0.40%, mientras que las variedad de frijol Alubia y Bayo presentan la concentración mínima con 0.13% (**Cuadro 5**). Respecto a la concentración de Nitrógeno los valores van de 3.07 a 4.30%, destacándose por poseer la concentración más alta la variedad Frijol Reata con 4.30%, y la variedad con la más baja concentración correspondió al frijol Flor de Junio con tan solo el 3.07% (**Cuadro 5**). Según Esteban Sánchez [18] indica que los valores de Fósforo encontrados en el grano de frijol tienen un máximo de 1.14%, y en el caso de Nitrógeno tienen un rango que va de 2.75 a 4.75%. Nuestras variedades obtuvieron menores concentraciones respecto a Fósforo que las encontradas por los autores anteriormente mencionados, pero valores muy similares respecto a la concentración de Nitrógeno.

**Cuadro 5** • Concentración de macronutrientes (%) en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Zacatecas

Variedades de frijol	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Sodio	Calcio
Flor de Mayo	3.41	0.16	1.04	0.13	<u>0.002</u>	0.14
Bayo	3.53	<u>0.13</u>	<b>1.32</b>	<u>0.02</u>	<b>0.004</b>	0.17
Frijola	3.88	<b>0.40</b>	0.74	0.08	<b>0.004</b>	0.22
Patola	3.51	0.18	0.78	<b>0.16</b>	<u>0.002</u>	<u>0.12</u>
Alubia	3.70	<u>0.13</u>	1.08	0.08	0.003	<b>0.29</b>
Flor de Junio	<u>3.07</u>	0.17	0.43	<u>0.02</u>	0.003	0.24
Frijol Reata	<b>4.30</b>	0.18	0.63	0.10	0.003	0.25
Frijol Japonés	3.66	0.19	<b>1.32</b>	<b>0.16</b>	0.003	0.21
Negro	3.22	0.14	1.25	0.08	0.003	0.25
Peruano	4.00	0.16	<u>0.41</u>	0.05	<b>0.004</b>	0.14
Pinto Saltillo	4.12	0.16	0.86	0.11	<b>0.004</b>	0.25
Significancia	**	**	**	*	***	*
MSD	0.008	0.0647	0.7354	0.1421	0.0017	0.1026

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

### 5.3.4 Capacidad antioxidante

En la **Figura 1** se presentan los valores de Capacidad antioxidante en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Zacatecas. Las 11 variedades de frijol estudiadas, fueron clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos de capacidad antioxidante.

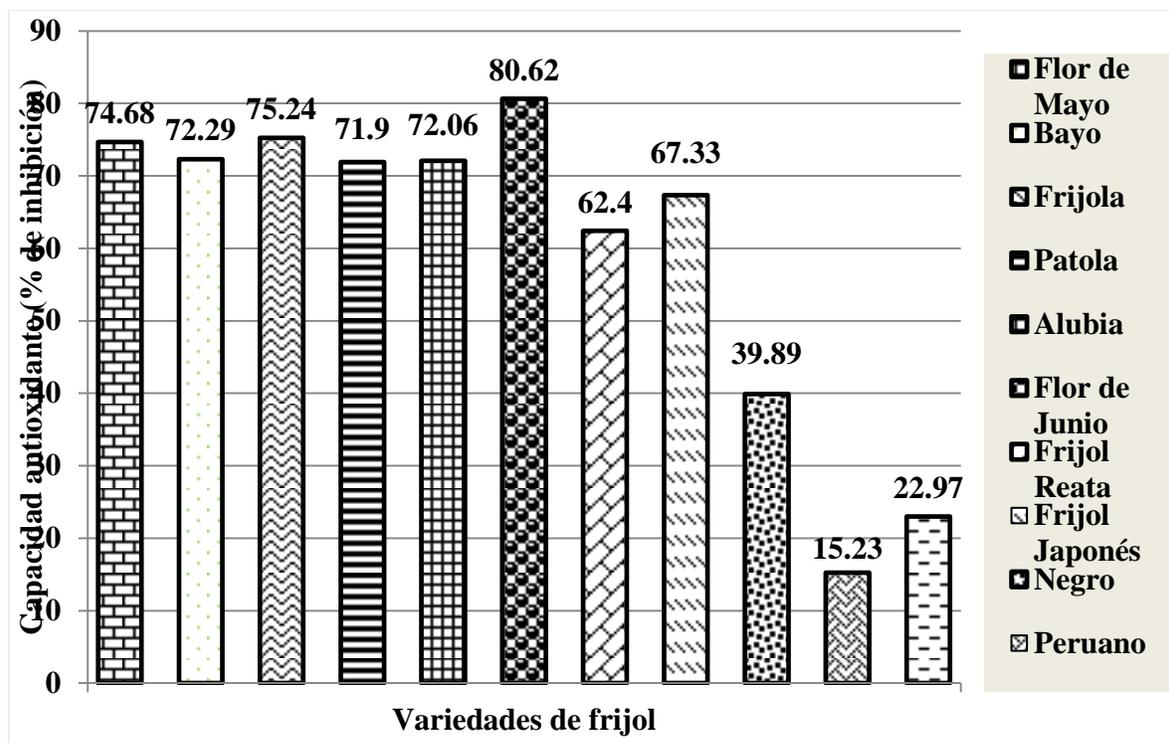
En el nivel alto de capacidad antioxidante se encontraron las variedades de frijol Flor de Junio, Frijola, Flor de Mayo, Bayo, Alubia y Patola, variedades que comparten ciertas características físicas entre sí, por ejemplo: las variedades Alubia y Patola comparten el mismo color blanco, las variedades Bayo y Frijola poseen el mismo color café, así como, el mismo tamaño, mientras que las variedades Flor de Junio y Flor de Mayo presenta un peculiar color morado, destacándose de entre estas, la variedad Flor de Junio con una máxima capacidad antioxidante de 80.62% de inhibición.

En el nivel medio de capacidad antioxidante se encontraron las variedades de Frijol Japonés y Frijol Reata, siendo sobresaliente de entre los

niveles medios la variedad Frijol Japonés con un 67.33% de inhibición.

Por otro lado, en el nivel bajo de capacidad antioxidante se encontró a las variedades Frijol Negro, Peruano y Pinto Saltillo, variedades que presentan diferentes características físicas en cuanto a color, ya que la variedad Peruano presenta un color amarillo, la variedad Pinto Saltillo presenta un color café moteado, y la variedad Negro tal y como su nombre lo indica tiene presencia de tonos oscuros, a pesar de presentar colores muy distintos en testa en tamaño son muy similares, presentando el nivel más bajo la variedad de frijol Peruano con un 15.23% de inhibición.

Sobresaliendo de entre las 11 variedades en estudio, la variedad Flor de Junio con un máximo valor de capacidad antioxidante de 80.62% en comparación con la variedad de frijol Peruano, la cual presentó el mínimo valor de capacidad antioxidante con un 15.23%, y presentándose un incremento de 81.11% entre la variedad más alta y la más baja respecto a capacidad antioxidante.



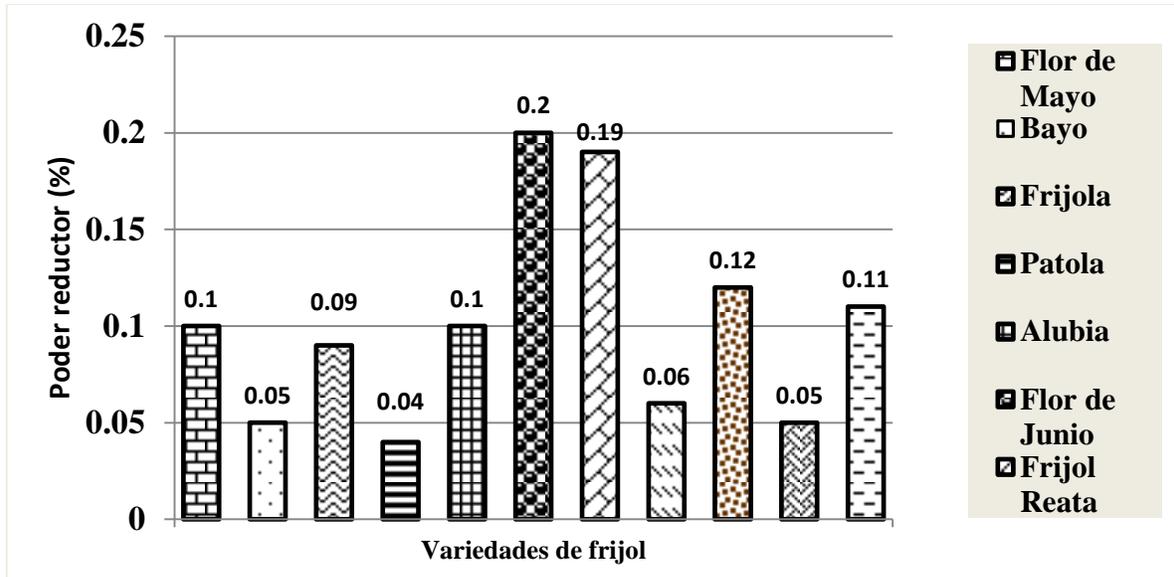
**Figura 1** • Capacidad antioxidante en variedades de frijol producidas en el estado de Zacatecas, clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos. Los datos son medias  $\pm$  error estándar (n=3).

### 5.3.5 Poder reductor

En la **Figura 2**, se presentan los valores de Poder reductor en variedades de frijol producidas en el estado de Zacatecas, las 11 variedades fueron clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos de Poder Reductor.

Dentro del grupo de los niveles altos se encontró a las variedades: Flor de Junio y Frijol Reata, variedades que comparten entre sí como característica física el color morado, así como, una similitud en su tamaño, sobresaliendo la variedad Flor de Junio al contener un 0.2% de poder reductor. En el segundo grupo se encontró la mayoría de las variedades analizadas las cuales fueron: Negro, Pinto Saltillo, Frijola, Flor de Mayo y Alubia, sin embargo, el más sobresaliente dentro de este grupo es el frijol Negro, ya que reportó un 0.12% de poder reductor.

En el tercer grupo se situaron las variedades: Frijol Japonés, Peruano, Patola y Bayo, siendo la variedad Patola la más baja en cuanto a Poder reductor. Por el contrario, la variedad que más destacó fue Flor de Junio al presentar la mayor concentración de poder reductor con un 0.2%, mientras que el frijol con la menor concentración de poder reductor correspondió a la variedad Patola con un 0.04%. Dando así un incremento de 80% entre la variedad más alta y la más baja.



**Figura 2** • Poder reductor en variedades de frijol producidas en el estado de Zacatecas, clasificadas en tres grupos principales: 1) Niveles altos, 2) Niveles medios, 3) Niveles bajos. Los datos son medias  $\pm$  error estándar (n=3).

### 5.3.6 Compuestos bioactivos

#### 5.3.6.1 Fenoles totales

En relación al contenido de Fenoles totales, se encontraron valores en un rango de 46.75 a 114.29 mg Ácido Gálico /g extracto, siendo la concentración máxima para la variedad de Frijola con 114.29 mg Ácido Gálico /g extracto, mientras que la variedad de frijol Alubia presentó la concentración mínima con 46.75 mg Ácido Gálico /g extracto (**Cuadro 6**). Previos estudios realizados por Gracia-Nava [19], quien realizó una cuantificación en fenoles totales, deja ver en sus resultados que el contenido de Fenoles oscila entre 19.75 a 221.48 mg Ácido Gálico/g extracto, valores que coinciden dentro del rango de nuestros valores encontrados en esta investigación.

#### 5.3.6.2 Flavonoides

En el caso de Flavonoides los resultados (**Cuadro 6**) muestran que, todas las variedades contienen flavonoides en concentraciones mucho menores que las reportadas para Fenoles totales, esto se encuentra dentro de lo esperado, ya que los Flavonoides son un subgrupo de los

compuestos fenólicos. En un estudio similar realizado por Gracia-Nava [19] se reportaron 2.26 mg Catequina /g extracto como mínimo, mientras que como máximo se reportaron 25.94 mg Catequina /g extracto. En cambio nuestros valores varían de 0.33 a 2.18 mg Catequina /g extracto, correspondiendo a las variedades de frijol Negro y Patola, respectivamente.

#### 5.3.6.3 Antocianinas

Con respecto al contenido de Antocianinas, los valores encontrados indican que la variedad Frijol Reata presentó el menor contenido en Antocianinas con tan solo 0.20 mg EC3G/g extracto, sin embargo, la variedad de frijol Alubia presentó el mayor contenido con 2.57 mg EC3G/g extracto. Reynoso-Camacho [20] reportó en su estudio que los niveles de Antocianinas se encuentran en 3.75 mg EC3G/g extracto, haciendo una comparación entre ambos estudios, notamos que nuestra variedad tiene una menor concentración, pero aun así su contenido es considerablemente bueno.

**Cuadro 6** • Concentración de Compuestos bioactivos en variedades de frijol producidas y consumidas en el estado de Zacatecas

Variedades de frijol	Fenoles totales (mg Ácido gálico/g extracto)	Flavonoides (mg Catequina/g extracto)	Antocianinas (mgEC3G/g extracto)
Flor de Mayo	83.58	1.70	0.62
Bayo	89.83	1.10	0.50
Frijola	<b>114.29</b>	1.16	0.27
Patola	59.92	<b>2.18</b>	0.33
Alubia	<u>46.75</u>	0.35	<b>2.57</b>
Flor de Junio	94.82	1.30	0.44
Frijol Reata	94.35	1.20	<u>0.20</u>
Frijol Japonés	101.50	0.97	0.70
Negro	80.33	<u>0.33</u>	0.43
Peruano	68.01	0.46	1.16
Pinto Saltillo	90.16	0.82	0.59
Significancia	*	***	***
MSD	65.988	0.6481	0.659

Niveles de significancia: \*p <0.05, \*\*p <0.01, \*\*\*p <0.001, NS (no significativo)

Nota: los números en **negritas** señalan el valor más alto, mientras que los números subrayados señalan el valor más bajo.

Las variedades más sobresalientes de manera individual fueron las siguientes: Peruano con el mayor contenido de Hierro (105.29 ppm); el frijol Bayo con la mayor concentración de Zinc (48.18 ppm) y el frijol Reata con el mayor nivel de proteína (26.88 %). Por otro lado, las variedades más sobresalientes de manera integral en cuanto a la concentración de Hierro, Zinc, proteína y capacidad antioxidante fueron: Flor de Junio, Flor de Mayo, Frijol reata, Alubia y Pinto saltillo. Flor de Mayo: Esta variedad es muy completa ya que sobresale en poder reductor (0.10%), capacidad antioxidante (74.68% inhibición), potasio (1.04%), magnesio (0.13%), níquel (8.89 ppm), manganeso (25.45 ppm), zinc (31.00 ppm), fibra (3.64%), flavonoides (1.70 mgcat/g extracto), antocianinas (0.62 mgEC3G/g extracto); Frijol Reata: Tiene un alto contenido en nitrógeno (4.30%) y por consecuencia una elevada

concentración de proteína (26.88%), además presenta buenos niveles en cuanto a fósforo (0.18%), magnesio (0.10%), cobre (11.19 ppm), níquel (7.54 ppm), energía (351.73 Kcal), fenoles (94.35 mgACg/g extracto) y flavonoides (1.20 mgcat/g extracto). El frijol Alubia presenta buenas concentraciones en cuanto: a poder reductor (0.10%), capacidad antioxidante (72.06% de inhibición), nitrógeno (3.70%), potasio (1.08%), calcio (0.29%), cobre (12.38 ppm), manganeso (30.60 ppm), proteína (23.16%), fibra (3.24%) y destaca su alto contenido en antocianinas (2.57 mgEC3G/g extracto). El frijol Pinto Saltillo presenta una amplia concentración de: poder reductor (0.11%), nitrógeno (4.12%), magnesio (0.11%), calcio (0.25%), cobre (11.82 ppm), zinc (25.96 ppm), proteína (25.78%), fibra (3.44%), fenoles (90.16 mgAC/g extracto), antocianinas (mgEC3G/g extracto). Sin embargo, la variedad

de frijol Flor de Junio mostró ser la variedad más completa y sobresaliente, ya que posee una elevada concentración de capacidad antioxidante (80.62% de inhibición) y poder reductor (0.20%), dichos parámetros se ven influenciados por la concentración de fenoles (94.82 mgACg/g extracto) y flavonoides (1.30 mgCat/g extracto), además presenta buenos niveles de hierro (90.97 ppm), zinc (27.23 ppm), fibra (3.22%), energía (353.50 Kcal), calcio (0.24%) y fósforo (0.17%). Dichas variedades por sus concentraciones de minerales, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, son candidatas a formar parte de un programa de

biofortificación con micronutrientes en México, con la finalidad de contrarrestar la desnutrición y promover la seguridad alimentaria a nivel nacional e inclusive a escalas internacionales.

## 5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.4.1 Material vegetal

Se recolectaron 11 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes del estado de Zacatecas, México.

**Cuadro 7 •** Variedades de frijol del estado de Zacatecas seleccionada para su estudio.

Variedad de frijol	Procedencia	Fecha de obtención	Fotografía
Flor de Mayo	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Bayo	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Frijola	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Patola	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Alubia	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Flor de Junio	Calera, Zacatecas	06/04/2018	

Frijol Reata	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Frijol Japonés	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Negro	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Peruano	Calera, Zacatecas	06/04/2018	
Pinto Saltillo	Calera, Zacatecas	06/04/2018	

### 5.4.2 Preparación de muestras

Se tomaron 100 semillas por variedad, las cuales posteriormente fueron molidas con ayuda de una licuadora, el resultante de dicha molienda se colocó en bolsas asépticas. Las cuales posteriormente fueron utilizadas en los análisis.

### 5.4.3 Análisis vegetal

Se evaluaron 32 variables, en 11 variedades de frijol provenientes de la región de Calera en el estado de Zacatecas, México, dichas variables fueron: propiedades físicas (largo, ancho, grosor, peso, L\*, a\*, b\*, croma y °hue); propiedades fisicoquímicas (ceniza, grasa, humedad, fibra, carbohidratos, proteína y energía); análisis mineral (Fe, Zn, Ca, Mg, K, Ni, Na, Cu, Mn, P y N); compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides y antocianinas); capacidad antioxidante y poder reductor.

### 5.4.4 Propiedades físicas

#### 5.4.4.1 Dimensiones de la semilla

Los parámetros largo, ancho y grosor, fueron determinados mediante un vernier electrónico,

con objeto de evaluar 40 semillas por variedad en estudio, y para así, obtener un comparativo no solo en términos cualitativos si no también cuantitativos respecto a las diferencias de tamaño entre variedades, obteniéndose un total de 440 datos por parámetro, los cuales se reportaron en milímetros (mm) [21].

#### 5.4.4.2 Peso de la semilla

El peso se determinó en una balanza analítica, en donde, sobre una caja Petri se colocaron 100 semillas representativas de cada una de las variedades en estudio, realizándose esto por triplicado y reportándose el peso como g/100 semillas. [22]

#### 5.4.4.3 Color de la semilla

Con ayuda de un colorímetro se determinó el color, utilizando un espectrofotómetro Minolta CM-2600d (Konica Minolta Sensing Inc., Japan) con una iluminación D65 observada en el ángulo de 10°. Las mediciones se realizaron por

triplicado en cada una de las variedades en estudio, y obteniéndose después los promedios. Los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , fueron registrados, y posteriormente se calculó la cromaticidad ( $C^*=a^{*2}+b^{*2}$ ), así como, el ángulo Hue ( $h^\circ=\tan^{-1}(b^*/a^*)$ ) para cada una de las variedades de frijol estudiadas. Los resultados se analizaron para finalmente indicar la saturación de color. Donde  $L^*$  hace referencia a la luminosidad, tomando valores de 100 (blanco) y 0 (negro), mientras que  $a^*$  y  $b^*$ , no tienen límites pero si valores positivos o negativos. La escala de  $a^*$  varió de los valores positivo (rojo) a los negativos (verde), mientras que la escala de  $b^*$  va del amarillo (+) al azul (-).

### 5.4.5 Propiedades fisicoquímicas

#### 5.4.5.1 Determinación de humedad

Se realizó utilizando el método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) de secado en cápsula abierta [23]. Se realizó por triplicado lo siguiente: se pesó 1 g de muestra por variedad de frijol en estudio en una cápsula de aluminio previamente secada a  $75^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Luego de pesar cada cápsula se introdujeron en un horno (Felisa) a temperatura de  $75^\circ\text{C}$  durante 12 horas. Pasado dicho tiempo, se extrajeron las cápsulas del horno y se dejaron secar en el desecador, y posteriormente se pesaron de nuevo. La determinación de humedad se expresó en porcentaje.

#### 5.4.5.2 Determinación de cenizas

Se realizó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-066-S-1978 [24]. En un crisol a peso constante, se pesó 1 g de muestra con 2 repeticiones por variedad, una vez pesadas se introdujeron en el desecador, posteriormente se colocaron los crisoles en una mufla (Felisa) a temperatura de  $600^\circ\text{C}$ , con el objetivo de carbonizar las muestras hasta alcanzar la calcinación. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.

#### 5.4.5.3 Determinación de grasa

Se realizó mediante el método Goldfish (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales [23]). Los matraces Goldfish se prepararon secándolos en estufa hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se montó el equipo LABCONCO, dentro de papel filtro se colocó la muestra tapándose con algodón e introduciéndose dentro del equipo. Luego se añadió como solvente éter de petróleo, y se dejó en reflujo durante 2 horas y 30 minutos. Una vez terminada la extracción, se recuperó el solvente por medio de una destilación, quedando así únicamente la grasa en el matraz. Finalmente, se pesó el matraz con el residuo y de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-427-1982 [25] se determinó el porcentaje de grasa.

#### 5.4.5.4 Determinación de fibra

En base a la Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978 [26] se determinó la concentración de fibra cruda. A partir de la muestra que anteriormente fue desengrasada se realizó esta determinación. Las muestras fueron pesadas, y se registraron cada uno de los pesos, luego, se transfirió cada muestra a los vasos para fibra, y a cada vas se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% con 1 ml de alcohol isoamílico como antiespumante. La mezcla resultante se dejó durante 30 minutos en ebullición, al término de los 30 minutos se realizaron enjuagues en fibra de vidrio hasta llegar a la neutralidad. Posteriormente, la fibra de vidrio con muestra se colocó en la cápsula y se introdujo a la estufa, en donde se dejó secar durante 12 horas, con la finalidad de que la muestra estuviera perfectamente seca. Pasado dicho tiempo, se procedió a pesar la cápsula y la fibra de vidrio con muestra, por diferencia de peso se determinó el porcentaje de fibra contenido en cada una de las muestras.

#### 5.4.5.5 Determinación de carbohidratos

Se realizó por diferencia de los otros parámetros, y, se reportó en porcentaje.

#### 5.4.5.6 Determinación de energía

La energía contenida en cada una de las muestras se determinó mediante la suma de las calorías contenidas en carbohidratos, grasa y proteína. La energía resultante se expresó en Kcal.

### 5.4.6 Análisis mineral

#### 5.4.6.1 Micronutrientes

Para el análisis de micronutrientes se tomaron 100 semillas por variedad, las cuales posteriormente fueron molidas con ayuda de una licuadora, el resultante de dicha molienda se colocó en bolsas asépticas. Seguido a esto, con ayuda de una balanza analítica se pesó 1 g de muestra, y se dio inicio a las digestiones sobre una parrilla digestora, las cuales, se realizaron por triplicado en cada variedad pesando 1 g de muestra, todo el proceso fue realizado dentro de la campana de flujo, en dónde se colocó la muestra sobre un vaso de precipitado el cual contenía 3 perlas de ebullición, a este se le añadieron 25 ml de solución triácida (ácido nítrico, clorhídrico, sulfúrico), una vez hecho esto, fueron tapados y colocados sobre la parrilla en nivel de fuego 3, dando así por iniciado el proceso de digestión, el cual duró aproximadamente 1 hora.

Pasado dicho tiempo se retiraron las muestras del fuego, dejándose enfriar por unos minutos, mientras se enfriaban se colocó sobre un matraz volumétrico de 50 ml un embudo de vidrio y con un papel filtro se formó un cono el cual fue colocado sobre el embudo, ya fría la muestra se roció agua tridestilada sobre el vaso para generar un enjuague de la digestión, esta se vertió al matraz, posteriormente se realizaron dos enjuagues más, una vez terminado el tercer enjuague se retiró el papel filtro, así como, el embudo y con ayuda de una pizeta la cual contenía agua tridestilada se aforó el matraz hasta alcanzar un volumen de 50 ml. Finalmente se vaciaron en tubos de 50 ml previamente rotulados para su fácil identificación, obteniéndose 33 tubos de las 11 variedades en estudio.

Una vez concluido el proceso de digestión se procedió a medir las concentraciones de micronutrientes contenidas en cada una de las 11 variedades, para ello las muestras se leyeron en el equipo de absorción atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®), el cual tuvo que ser ajustado por elemento, el ajuste consistió en cambiar las lámparas del equipo según el elemento y programar desde la computadora el equipo, expresándose los resultados en partes por millón (ppm).

#### 5.4.6.2 Macronutrientes

Para la concentración de macronutrientes se siguió el mismo modelo que para micronutrientes en el equipo de absorción atómica (espectrofotómetro de absorción atómica ice 300 Thermo SCIENTIFIC®), y los resultados se expresaron en porcentaje (%).

Para la determinación del Fósforo (P) se realizó por el método de metavanadato de amonio ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ), en un rango de absorción de 430 nm frente a una curva patrón de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . Para la preparación del reactivo del fósforo se utilizó un vaso de precipitado con 800 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  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 [ $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ]. Seguidamente se añadió, ya en frío, 4 mL de  $\text{HNO}_3$ , al principio gota a gota y con agitación continua. Posteriormente, se adicionaron 134 mL de  $\text{HNO}_3$ . Se aforó con  $\text{H}_2\text{O}$  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  $\mu\text{L}$  de muestra de la variedad previamente digerida, finalmente se le añadió 1 mL del reactivo de fósforo, cada tubo se agitó con un Vortex (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), se vació el líquido resultante a las celdillas y se ingresaron al espectrofotómetro a una longitud de onda de

430 nm. La concentración de P se expresó en porcentaje.

#### 5.4.7 Capacidad antioxidante

El análisis se realizó en base a la metodología de Xu et al. [27]. El extracto se obtuvo macerando 1g de semilla en 5 ml de metanol al 80%, se centrifugó a 6000 rpm durante 10 minutos a temperatura de 4°C, del sobrenadante resultante se tomó 0.5 ml de extracto se mezcló con 2.5 ml de solución 0.1 mM de DPPH, recién preparada la mezcla se incubó durante 60 minutos en oscuridad y frío, la absorbancia fue medida por espectrofotometría A517. Los resultados de capacidad antioxidante se expresaron en porcentaje de inhibición.

#### 5.4.8 Poder reductor

El poder reductor en las semillas fue medido de acuerdo al método por Xu et al. [27]. El extracto se obtuvo macerando en hielo 1 g de semilla en 5 ml de metanol al 80%, se centrifugó a 5000 rpm durante 10 minutos a temperatura de 4°C. Del sobrenadante resultante se tomó 1 ml de extracto se le añadió 1 ml de buffer de 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 resultó y se mezcló con 1 ml de agua destilada y 1 ml de  $FeCl_3$  0.1%, la mezcla se incubó por 10 minutos a temperatura ambiente en oscuridad. La absorbancia fue medida a 700 nm utilizando como blanco  $H_2O$  desionizada. Los valores de absorbancia más altos indicaron un mayor poder reductor. Los resultados se expresaron en porcentaje.

#### 5.4.9 Compuestos bioactivos

##### 5.4.9.1 Fenoles totales

La determinación y cuantificación de fenoles totales fue determinada según propone Singleton and Rossi [28]; Singleton et al. [29]. Se inició

homogeneizando 0.5-1 g de semillas molidas con 5 ml de metanol y 2.5 ml de solución NaCl al 1%, posteriormente se centrifugó durante 10 minutos a 5000 rpm, y se obtuvieron las siguientes fases: 1) Metanólica (fase que contiene ácidos fenólicos y la empleada para la cuantificación), 2) Interfase, y, 3) Clorofórmica. La mezcla de reacción consistió en poner 750  $\mu$ l de  $Na_2CO_3$  al 2% en un tubo de ensayo, 250  $\mu$ l de reactivo Folin-Ciocalteau al 50% y 1375  $\mu$ l de  $H_2O$  desionizada, añadiendo 250  $\mu$ l de extracto enzimático. La mezcla se incubó a temperatura ambiente durante 60 minutos se procedió a la determinación frente a una curva patrón de ácido cafeico (10-100  $\mu$ g/ml) a una absorbancia de 725 nm. Los resultados se expresaron en mg GA/g extracto.

##### 5.4.9.2 Flavonoides

Los flavonoides del material seco fueron extraídos con metanol. Una cantidad de 0.5 g del material molido de frijol de cada variedad fue homogeneizado con 5 ml de metanol y centrifugado a 4000 rpm durante 10 minutos a 4°C. La mezcla consistió en poner 250  $\mu$ l de la alícuota en un tubo de ensayo, agregar 75  $\mu$ l de  $NaNO_2$ , agitar mediante un vortex, dejar reposar durante 5 minutos, agregar 150  $\mu$ l de  $AlCl_3$ , luego añadir 500  $\mu$ l de  $NaOH$  y diluir con un volumen final de 2.025 ml de  $H_2O$ . La absorbancia fue medida por espectrofotometría a 510 nm. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de catequina por gramo de muestra, basado sobre peso seco (mgCE/g).

##### 5.4.9.3 Antocianinas

Se utilizó el método diferencial de pH descrito por Wrolstad [30]. Las antocianinas del material seco fueron extraídas con metanol. Una cantidad de 0.5 g del material molido de frijol fue homogeneizado con 5 ml de metanol y centrifugado a 4000 rpm durante 10 minutos a 4°C. La mezcla de reacción consistió en 2 fases, la absorbancia de la fase 1 fue medida por

espectrofotometría a 460nm, mientras que la fase 2 fue medida a 710 nm. Los resultados fueron reportados como mg de cyanidin-3-glucoside (C3G/g de muestra).

#### 5.4.10 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, separación de medias mediante el test de Tuckey y correlación, mediante el programa estadístico (Statistica Analysis System, 2002). Para la diferencia entre las medias de las variedades de frijol estudiadas se utilizó la prueba de Tukey a 95%. Los niveles de significancia de ambos análisis fueron expresados como: \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$  y NS (no significativo) [31].

### 5.5 CONCLUSIONES

Las variedades más sobresalientes de manera individual fueron las siguientes: Peruano con el mayor contenido de Hierro (105.29 ppm); el frijol Bayo con la mayor concentración de Zinc (48.18 ppm) y el frijol Reata con el mayor nivel de proteína (26.88 %). Las variedades más sobresalientes en cuanto a Hierro, Zinc, proteína y capacidad antioxidante fueron: Flor de Junio, Flor de Mayo, Frijol reata, Alubia y Pinto saltillo, sin embargo, la variedad más destacada de manera integral fue Flor de Junio con un poder reductor (0.20%), capacidad antioxidante (80.62% de inhibición), P (0.17%), Ca (0.24%), Fe (90.97 ppm), Zn (27.23 ppm), Fibra (3.22%), Energía (353.50 Kcal), Fenoles (94.82 mgAC/g extracto), Flavonoides (1.30 mgCat/g extracto). Dichas variedades por sus concentraciones de minerales, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, son excelentes candidatas para formar parte de un programa de biofortificación con micronutrientes en México, con la finalidad de contrarrestar la desnutrición y promover la seguridad alimentaria a nivel nacional e inclusive a escalas internacionales.

### 5.6 BIBLIOGRAFÍA

1. **White, P.J.; Broadley, M.R.** Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science* **2005**, 10:586-593. [PubMed]
2. **Espinosa-Alonso, LG.; Lyging A.; Widholm, JM.; Valverde ME.; Paredes-López, O.** *J.Agric. Food Chem.* **2006**; Volume 54, pp.12, ISSN:4463-4444
3. **Guzman-Maldonado, SH.; Acosta-Gallegos, JA.; Álvarez-Muñoz, MA.; García-Delgado, S.; Loarca-Piña, G.** Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.), México. *Agricultura técnica en México* **2002**; Volume 28, pp.159-173, ISSN: 0568-2517
4. **Suárez-Martínez, SE.; Ferriz-Martínez, RA.; Campos-Vega, R.; Elton-Puente, JE.; de la Torre-Carbot, K.; García-Gasca, T.** Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food* **2015**; Volume 14, pp.131-137, ISSN:1947-6345
5. **Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.** (21 de Junio de 2017). Available online: URL: <http://www.gob.mx/siap/articulos/frijol-alta-disponibilidad-y-tradicion-cultural-que-impulsa-nuestra-produccion?idiom=es>.
6. **Chávez-Mendoza, C.; Sánchez, E.** Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules* **2017**, Volume 22, No. 8, p. 1360.
7. **Gutierrez-Zavala, A.; Ledesma-Rivero, L.; García-García, I.; Grajales-Castillejos, O.** Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Rev. Cubana Salud Pública* **2007**, Volume 33, ISSN:1561-3127
8. **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—Journal of Food*, **2010**, 8(1), 7-14.
9. **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 Agosto 20, 2018).
  10. **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.
  11. **Pérez-Herrera, P., G. Esquivel-Esquivel, R. Rosales-Serna, y A. Acosta-Gallegos.** Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **2002**, 52:172-180.
  12. **Iniestra-González, J.J., F.J. Ibarra-Pérez, J.A. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán, y R.F. González-Laredo.** Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia*, **2005**, 39:603-610.
  13. **Aguirre-Santos EA, Gómez-Aldapa CA.** 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*, **2010**, 9-2010.
  14. **Ulloa, J.A.; Rosas-Ulloa, P.; Ramírez-Ramírez, J.C.; Ulloa-Rangel, B.E.** El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Rev. Fuente* **2011**, No.8.
  15. **Campos-Vega, R.; Reynoso-Camacho, R.; Pedraza-Aboytes, G.; Acosta-Gallegos, J.; Guzman-Maldonado, S.; Paredes-López.; Loarca-Piña, G.** Chemical composition and in vitro polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci*, **2009**, 74.
  16. **Lijiao-Kan, S.N.** Nutrients, phytochemicals and antioxidant activities of 26 kidney bean cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, **2017**, 467-477.
  17. **Acosta-Gallegos, J.; Mendoza-Hernández, F.; Guzman-Maldonado, S.; Hernández, J.; Herrera, M.** Contenido de proteína y minerales en la semilla de frijol silvestre y domesticado. **2016** *Rev. Mexicana de ciencias agrícolas*, 17, 3281-3291.
  18. **Sánchez, E.; Ruiz, J.M.; Romero, L.; Preciado-Rangel, P.; Flores-Córdova, M.A.; Márquez-Quiroz, C.** Son los pigmentos fotosintéticos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en el frijol ejotero **2018**. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 15.
  19. **Alejandro Gracia-Nava, M.** Cuantificación de Fenoles y Flavonoides totales en extractos naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. *Rev Acad*, **2009**; p.1-4
  20. **Reynoso-Camacho, E.; Ramos-Gómez, M.; Loarca-Piña, G.** Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), In: Guevara-González, R.G.; Torres-Pacheco, I. Kerala India. *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*. **2006**, pp.217-236
  21. **Aguirre-Santos EA, Gómez-Aldapa CA.** 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*, **2010**, 9-2010.
  22. **Aguirre-Santos EA, Rodríguez-Miranda J, Rosales-Serna R, Castro-Rosas J, Ochoa-Martínez LA, Valle-Cervantes S, Gómez-Aldapa CA.** 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). 2011. Riviera Maya, Quintana Roo. Páginas: 2812-2818.
23. **Association of Official Analytical Chemist.** (2000). Oficial Methods of Analysis (17<sup>th</sup>). Ed. AOAC International. Guithersbur,MD,EE.UU.
24. **NMX-F-066-S-1978.** (1978). Determinación de cenizas en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.  
<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>
25. **NMX-F-427-1982.** (1982). Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección general de normas.  
<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-427-1982.PDF>
26. **NOM—F-90-S-1978.** (1978). Determinación de fibra cruda en Alimentos. Norma Oficial Mexicana.  
<http://www.dof.gob.mx/notadetalle.php?codigo=479984&fecha=27/03/1979>
27. **Xu,B.J, S.H.Yuan, S.K.C.Chang.** Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *J. Food Sci.* 2007. 72: S167-S177.
28. **Singleton, V.L., J.A. Rossi.** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture.* 1965. 16:144-158
29. **Singleton, V.L., Salgues, M., Zaya, J., Trousdale, E.** Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymatic oxidation in grape must and wine. *American Journal of Enology and Viticulture.* 1985. 36, 50-56.
30. **Wrolstad,R.E.,** Color and pigment analyses in fruit products. *Oregon State University Agricultural Experiment. Station Bull.* 1976. 624:1-7.
31. **Statistical Analysis System.** (2002). SAS/STAT users guide: Statics, Ver.9.00. SAS Institute,Inc. Cary,NC,USA.1503 pp.



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

# 6

García Terrazas, Mariana; Sánchez Chávez, Esteban; Preciado Rangel, Pablo.

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

# 6

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

---

García Terrazas, Mariana; Sánchez Chávez, Esteban; Preciado Rangel, Pablo.

---

## 6.1 INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es el alimento básico del pueblo mexicano ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales, (Maldonado et al., 2002; Suárez et al., 2016). Mismos que previene enfermedades como diabetes y problemas cardiovasculares.

El frijol representa un cultivo clave en la dieta de los mexicanos. En 2017, SAGARPA establece que, en México, el consumo per cápita de este producto es de 8.4Kg. al año y el valor de la producción se estima en 9.5 mil millones de pesos (Planeación Agrícola Nacional 2016-2030). Durante los años anteriores la producción de frijol en el país aumentó 14 por ciento, llegando a un millón 76 mil toneladas y ocupando el estado de Chihuahua el tercer lugar en producción nacional, con 101 mil 999 toneladas, con 9.5 del volumen total (SAGARPA, 2017).

Dada la importancia de este cultivo en la alimentación y salud, es preciso conocer su distribución geográfica y características de fertilidad de los suelos. En la Actualidad, por falta de planeación se está enfrentando una situación lamentable en la que se verán afectados los estados donde se concentra la mayor producción de frijol en el país, entre ellos el estado de Chihuahua, ya que se tiene previsto un posible desplome del 50% de la cosecha de frijol (Piñon,2018) afortunadamente, se cuenta con herramientas que pueden ayudar a planear y prever problemáticas de forma más adecuada de acuerdo a las necesidades específicas del cultivo al establecer mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya que una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como, la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada

especie por región geográfica o agroecológica (Sánchez y Ruiz, 1995).

En estudios previos con base en SIG (López Soto et al., 2005) determinaron los tipos climáticos de distribución de 25 especies silvestres del género *Phaseolus*, cuestión que resulta indispensable para la descripción de su distribución geográfica en México. Para ello se conformó una base de datos de colectas realizadas en el interior del país en las últimas dos décadas donde a partir de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta, se caracterizó la climatología de cada punto. Por otro lado, Eduardo Espitia- Rangel et al. (2010) tuvo como objetivo obtener los patrones de distribución de *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* y sus parientes silvestres, mediante el uso de SIG, además de realizar un patrón de variación geográfica de las zonas donde se localizan.

En general, existe escasa información referente al tema en cuestión, por lo cual la presente investigación tuvo como objetivo generar un sistema de información geográfica del cultivo de frijol en el Estado de Chihuahua con el propósito de conocer las principales regiones productoras, las variedades que se cultivan las características de fertilidad de los suelos y su impacto en la calidad del frijol.

## 6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.2.1 Localización del sitio de estudio

El presente estudio tuvo lugar en el estado de Chihuahua, ubicado en la región noreste del país, el cual está conformado por sesenta y siete municipios, teniendo como capital Chihuahua. Este es la entidad federativa más extensa del país con más de 250 000 km<sup>2</sup> con coordenadas geográficas 28° 48' 51" N, 106° 26' 22" W con altitud máxima de 3333 msnm. Los análisis de suelo y frijol se realizaron en el Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal-CIAD Delicias

ubicado en las coordenadas geográficas 28°10'21.3"N 105°27'17.2"W.

### 6.2.2 Softwares empleados

- ❖ QGIS 2.14.22 Essen
- ❖ Google Earth Pro
- ❖ Microsoft Excel

#### 6.2.2.1 QGIS 2.14.22 Essen

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que nos permite crear, editar, manejar y exportar datos. Exploración de mapas, análisis de datos espaciales, entre otras funcionalidades.

#### 6.2.2.2 Google Earth Pro

Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. El mapa de Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora.

#### 6.2.2.3 Microsoft Excel

Es una aplicación de hojas de cálculo que forma parte de la suite de oficina Microsoft Office. Es un software que permite crear tablas, calcular y analizar datos este es utilizado en tareas financieras y contables, con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación.

### 6.2.3 Recolección de variedades

Se recolectaron 9 variedades de semillas de frijol a nivel estado. Las variedades recolectadas fueron: Chihuahua (frijol Pinto Saltillo, Pinto Americano, Ojo de Cabra, Ejote Silvestre y Bordales).

### 6.2.4 Variedades seleccionadas

De las variedades recolectadas se escogieron 9, tomando criterios de color de la testa, propiedades fisicoquímicas, su región de

producción y suelo de su lugar de origen. Las variedades seleccionadas fueron las del cuadro (Cuadro 1).

### 6.2.5 Determinación de proteína

Se tomaron en una cápsula de níquel 3 µg de muestra y se adicionó 9 µg de pentaóxido de vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Posteriormente, se introdujeron en el equipo Flash 2000 (Thermo Scientific), el cual trabaja bajo el método Dumas (Calvo et al., 2008). La concentración proteínica se expresó en porcentaje.

### 6.2.6 Determinación de humedad

La determinación de la humedad se realizó utilizando el método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000) de secado en cápsula abierta. 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 introdujo al horno (Felisa) las capsulas 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.

### 6.2.7 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-066-S-1978. 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.

**Cuadro 1 • Variedades de frijol seleccionadas para el estudio**

#	Localidad	Variedad	
1	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo mejorado	
2	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo	
20	SF de Conchos, Chihuahua	Pinto americano	
22	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	
23	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	
24	Guachochi, Chihuahua	Ojo de cabra	

28 Ejido Saenz,  
Guerrero,  
Chihuahua

Pinto saltillo



33 Buenavista,  
Batopilas,  
Chihuahua

Pinto saltillo



98 Cusiguriachi,  
Chihuahua

Pinto centauro



### 6.2.8 Determinación de grasa

La determinación de la grasa de las muestras de frijol se realizó mediante el método Goldfish (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, 2000). 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 a la Norma Mexicana NMX-F-427-1982.

### 6.2.9 Determinación de carbohidratos

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

### 6.2.10 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

### 6.2.11 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con nueve tratamientos: Pinto saltillo mejorado, Pinto saltillo, Pinto americano, Ojo de cabra y Pinto centauro y con 3 repeticiones.

### 6.2.12 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron separación de medias mediante el test de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) (Statistical Analysis System, 2002).

### 6.2.13 Metodología para elaboración de mapas

Para lograr el objetivo de la siguiente investigación se generaron mapas correspondientes a cada variable que se busca representar en cada uno de ellos siguiendo los pasos que se enmarcan a continuación.

- ❖ Se añade una capa vectorial (en formato Shape,), del lugar y datos que se desea representar en la interfaz de QGIS, ya que si esta no se encuentra en formato Shape no se puede realizar ningún cambio. Se utilizó así la capa con la información correspondiente a México, ya que es el lugar de interés.
- ❖ Se tomaron las coordenadas mediante GPS de los lugares donde se obtuvieron las muestras de frijol donde estas fueron cosechadas.
- ❖ Mediante Microsoft Excel, se utilizó la plantilla que automáticamente convierte las coordenadas decimales a UTM (Universal Transverse Mercator).
- ❖ Se generaron los mapas de prescripción, para ello se hicieron las anteriores conversiones de formatos txt. de coordenadas UTM a un formato Shape. Se tomó en cuenta la proyección (UTM) y el Datum (WGS84 zona 14N) del predio donde fueron cosechadas las muestras
- ❖ Se ubicó el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), que en este caso

fue WGS84/UTM zone 13N. WGS84 es el Datum utilizado por la mayoría de los sistemas de posicionamiento global (GPS) para registrar posiciones (coordenadas) en la tierra.

- ❖ Para dotar de mayor calidad la representación utilizamos, como cartografía de base, el recurso *Bing Aerial With Labels* del **plugin OpenLayers** Donde podemos tener una mejor visión del predio donde las muestras fueron cosechadas.
- ❖ Para otorgar la simbología deseada y cumplir el objetivo de dicho proyecto, se crearon las capas una a una de cada variable que se desea representar en el SIG, añadiendo los datos y resultados de los análisis que se realizaron en las muestras de frijol y suelo de donde fueron cosechados, representándolos también con fotografías para que pudiera ser más atractivo y útil para el productor.

### 6.2.14 Determinación de pH del suelo

Para la determinación del pH del suelo se utilizó la metodología propuesta por Uvalle-Bueno (1993).

### 6.2.15 Determinación de Conductividad Eléctrica en el suelo

Para la determinación de la Conductividad Eléctrica suelo se utilizó la metodología propuesta por Uvalle-Bueno (1993).

### 6.2.16 Determinación de Materia Orgánica en el suelo

Para la determinación de la Materia Orgánica del suelo se utilizó la metodología propuesta por Uvalle-Bueno (1993).

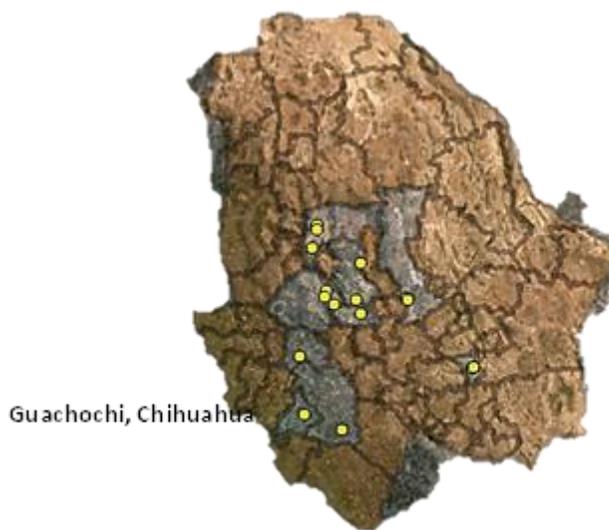
### 6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de información geográfica mostró que las principales zonas productoras de frijol son: El charco, Guerrero, San Fco. De Conchos, Guachochi, Namiquipa, Batopilas, Cusiguriachi, todos estos municipios del estado de Chihuahua. Estas regiones productoras de frijol se caracterizan por

tener suelos con pH ácido, Conductividad Eléctrica adecuada según Doorenbos y Kassan (1979) y en su mayoría ricos en Materia Orgánica, como se muestra en el **Cuadro 2**, donde se puede apreciar que la localidad #6 es la que presenta las condiciones más óptimas para la producción de frijol de acuerdo a los rangos establecidos (pH 6.5 a 7.5;  $MO \geq 1.5$ ) por la SAGARPA (2017).

**Cuadro 2** • Propiedades químicas de suelos de nueve localidades, productoras de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

#	Localidad	Variedad	pH	CE mmhos/cm	MO %
1	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo mejorado	5.52	0.20	0.33
2	Charco, Chihuahua	Pinto Saltillo	4.94	0.20	0.59
3	SF de Conchos, Chihuahua	Pinto Americano	7.21	1.60	1.04
4	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	7.32	0.59	1.90
5	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	7.32	0.59	1.90
6	Guachochi, Chihuahua	Ojo de cabra	6.65	0.40	1.92
7	Ejido Saenz, Guerrero, Chih.	Pinto saltillo	7.05	0.40	1.92
8	Buenavista, Batopilas, Batopilas, Chih.	Pinto saltillo	7.32	0.75	0.92
9	Cusihuiriachic, Chihuahua.	Pinto centauro	5.74	0.05	0.58



En el **Cuadro 3**, se presentan los resultados obtenidos en los cuales se determinó la calidad de las diferentes variedades. En el contenido de grasa la variedad que presentó mayor concentración fue la #2, la cual, superó en 46.42% a la #5 que fue la que presentó menor concentración. Por otra parte, los resultados obtenidos en la proteína de frijol, indican que la variedad con máxima concentración es la #4, superando en un 46.95% a la #9 que fue la de más baja concentración. Mahajan et al. (2015) estudiaron el contenido de proteína en 51 variedades de frijol, encontrando que la máxima concentración fue de 31.6%. En este estudio, se

encontraron concentraciones inferiores a las obtenidas por el autor antes mencionado. Con respecto a la energía contenida, los valores van de 222.93 a 337.46 Kcal, siendo la variedad de frijol #1 la que contiene mayor cantidad en relación a la variedad #3 que presentó la menor cantidad de energía. Estos datos concuerdan con Adsule et al. (2004) quien menciona que a esta leguminosa se le atribuyen propiedades nutraceuticas, por presentar un bajo contenido calórico, que puede ayudar a reducir problemas como el sobrepeso y la obesidad.

**Cuadro 3 •** Propiedades fisicoquímicas de las variedades de frijol

#	Localidad	Variedad	Grasa %	Proteína %	Energía (Kcal)
1	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo mejorado	0.95	22.04	339.91
2	Charco, Chihuahua	Pinto saltillo	1.38	22.58	339.78
3	SF de Conchos, Chihuahua	Pinto americano	0.78	25.72	319.74
4	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	0.79	26.26	339.19
5	SF de Conchos, Chihuahua	Ojo de cabra	0.56	24.86	334.12
6	Guachochi, Chihuahua	Ojo de cabra	0.91	21.39	335.27
7	Ejido Saenz, Guerrero, Chih.	Pinto saltillo	1.25	21.26	229.05
8	Buenavista, Batopilas, Chih.	Pinto saltillo	1.17	19.55	34085
9	Cusihuiachi, Chihuahua	Pinto centauro	1.22	17.87	326.62

## 6.4 CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta indispensable que nos permitió generar información valiosa y confiable para una mejor planeación y toma de decisiones en el cultivo de frijol donde se dio a conocer las principales regiones productoras, las características de fertilidad de los suelos y su impacto en la calidad del frijol en el estado de Chihuahua.

## 6.5 BIBLIOGRAFÍA

- Maldonado, S. H. G., Gallegos, J. A. A., Muñoz, M. D. L. Á. Á., Delgado, S. G., & Piña, G. L.** (2002). Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 28(2), 159-173.
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T.** (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 131-137.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).** 2017, 06 mayo. Disponible EN: <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/aumenta-14-por-ciento-produccion-de-frijol-en-mexico> Consultado el 20 de agosto de 2018.
- Frijol Mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Planeación Agrícola Nacional 2016-2030.** Disponible en [http://www.planeacionagricolanacional.mx/assets/basico-frijol-\(monografia\).pdf](http://www.planeacionagricolanacional.mx/assets/basico-frijol-(monografia).pdf) Consultado el 18 de agosto de 2018.
- Piñon D.** (2018). Cosecha de frijol se desplomará un 50% en Chihuahua. *EL Heraldo de Chihuahua*. Consultado: 19 de agosto de 2018. Disponible en <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/cosecha-de-frijol-se-desplomara-un-50-en-chihuahua-1926916.html>
- Sánchez G J J, J A Ruiz C** (1995) Teosinte distribution in Mexico. In: *Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize Varieties, and Teosinte; Implication for Transgenic Maize*. J A Serratos, M C Willcox, F Castillo (eds). Mexico, D. F. CIMMYT. pp:1839.
- López Soto, J., & Ruiz Corral, J., & Sánchez González, J., & Lépiz Ildelfonso, R.** (2005). Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la república mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28 (3), 221-230.
- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, E. C., Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D.** (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 427-437.
- 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.
- Association of Official Analytical Chemist.** (2000). *Official Methods of Analysis* (17th). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H.** (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, 33, 257.
- Mahajan R, Zargar SM, Aezum AM, Farhat S, Gani M, Agrawal GK, Rakwal R.** (2015). Evaluation of Iron, Zinc, and Protein Contents of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes: A Collection from Jammu & Kashmir, India. *Legume Genomics and Genetics* 6(2): 17.
- Adsule RN, Deshpande SS, Sthe SK.** (2004) *Tratado de Ciencias y Tecnología de las Hortalizas*. Ed. Acribia, S.A México D.F. 739 p.
- Statistical Analysis System.** (2002). *SAS/STAT users guide: Statics*, Ver. 9.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1503 pp.
- Uvalle Bueno, JX.** 1993. *Memorias del Curso de "Nutrición Vegetal enfocado al Diagnóstico Diferencial Integrado"* Facultad de Fruticultura, Universidad Autónoma de Chihuahua, Noviembre 3, 1993. 40 p.

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



Rico Alderete, Iván Alejandro; Flores Córdova, María Antonia; Sánchez Chávez, Esteban; Soto Parra, Juan Manuel; Salas Salazar, Nora Aidé.

1.1 Introducción	129
1.2 Objetivo general	129
1.3 Objetivos específicos	129
1.4 Hipótesis	129
1.5 Materiales y Métodos	129
1.6 Resultados y Discusión	130
1.7 Conclusiones	132
1.8 Bibliografía	133

# 7

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

---

Rico Alderete, Iván Alejandro; Flores Córdova, María Antonia; Sánchez Chávez, Esteban; Soto Parra, Juan Manuel; Salas Salazar, Nora Aidé.

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La importancia del frijol viene desde tiempos precortesianos, pues los aztecas lo incluían en su tributo. Desde entonces ha sido, junto con el maíz el más importante de México, además de su contenido de carbohidratos y minerales (Muñoz-Saldaña, 2010). México considera el frijol como un producto tradicional estratégico para el país. La importancia del frijol trasciende como sustituto de otros nutrientes en la sociedad. Sobre todo cuando el consumo per cápita limita la adquisición de bienes de alto nivel proteico, pero de mayor valor económico (Reyes-Rivas et al., 2008). Para México el frijol es el segundo más importante del sector agroalimentario, tanto para su fuente de ingresos, como también para la dieta de su población, principalmente la de los estratos sociales de menor ingreso (Rodríguez-Licea et al., 2010). Quintero-Fernández et al., (2008), nos dice que las deficiencias minerales constituyen problemas en millones de personas, siendo las más relativas Hierro y Zinc. Por otro lado, los cultivos biofortificados son un medio viable para hacer que lleguen alimentos fortificados a personas de acceso limitado, o bien a personas con desnutrición de zonas rurales (Sida-Arreola et al., 2016). La biofortificación es una de las herramientas para combatir la problemática de la falta de nutrientes. Dicha alternativa busca el incremento de nutrientes en los cultivos mediante fertilización, fitomejoramiento. En América Latina las deficiencias tienden a involucrar la calidad en la dieta. Es por ello que dichas deficiencias nutricionales nos llevan a realizar una biofortificación de los cultivos (Monserrate-Rojas 2008).

## 1.2 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el manejo de fertilización mineral sobre la calidad nutricional y rendimiento en frijol pinto centauro.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de la fertilización mineral en la calidad contenido nutricional, del frijol Pinto Centauro. Conocer el efecto del manejo de la fertilización mineral sobre el rendimiento de producción del frijol pinto.

## 1.4 HIPOTESIS

El manejo de la fertilización mineral incrementará la calidad, contenido nutricional y rendimiento en la producción de frijol pinto.

## 1.5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.5.1 Localización del sitio experimental

El estudio experimental se realizó durante el ciclo agrícola primavera verano 2017 de temporal en el municipio de Cusihuriachi, Chih., en el Rancho “San Pedro”, con una altitud de 1997 msnm, una LN 28° 14' 22.075" y LO 106° 50' 1.907".

### 1.5.2 Material vegetal y manejo de cultivo

Se utilizó frijol pinto cultivar Centauro. La siembra se realizó el 25 de Julio de 2017 y se cosecho el 8 de Noviembre de 2017. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con 4 tratamientos de fertilización y 4 repeticiones. Los tratamientos de fertilización fueron: T1= Testigo Productor (NP), T2= Productor-Mosaic (NP), T3= Mejorado-Mosaic (NSZn) y T4= Completo-Mosaic (NKMgSZn).

### 1.5.3 Propiedades físicas

#### 1.5.3.1 Color de la semilla

Se midieron los parámetros L, a y b mediante el uso de un equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta). Con los valores de L, a y b se calculó los parámetros de Cromo (C) y Hue (H).

### 1.5.3.2 Dimensión de la semilla

Las dimensiones del frijol (longitud, ancho y grosor) fueron determinados mediante un Vernier.

### 1.5.4 Análisis de nutrientes

Para iniciar análisis de los minerales K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, se realizó la digestión por el método tradicional de mezcla triácida. La concentración de estos minerales se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (Thermo SCIENTIFIC) y se expresaron en ppm.

### 1.5.5 Determinación de fósforo

La determinación de la concentración de P fue por el método de metavanadato de amonio ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) y por espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer).

**Cuadro 1** • Parámetros de color de los granos de frijol pinto en respuesta a los diferentes tratamientos de fertilización

Tratamientos de Fertilización	Parámetros de color				
	L*	a*	b*	Croma	Hue
Productor	66.15 a	5.34 a	15.65 a	16.54 a	71.16 b
Productor-Mosaic	67.31 a	4.70 b	15.65 a	16.34 a	73.27 a
Mejorado	67.61 a	5.09 ab	15.89 a	16.69 a	72.24 ab
Completo	67.66 a	4.60 b	15.14 a	15.83 a	73.11 a

\*Medias con distinta letra son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey con  $P \leq 0.05$

En una investigación realizada por Aguirre-Santos et al., (2010) en un trabajo de frijol, obtuvieron valores de 70.25 en L, 3.57 en a, 17.6 en b y 18.31 en Croma, probablemente sea por la diferencia de variedades puesto que ellos utilizaron pinto saltillo y nosotros la variedad pinto centauro. Por otro lado los componentes de pureza de color como son el Croma, obtuvimos rangos de 15.83 a 16.54, y comparados con Urias-López et al., (2017) quienes obtuvieron 13.54 mas bajos a los obtenidos en este trabajo.

### 1.6.2 Dimensiones de la semilla

En el **Cuadro 2** se presentan las dimensiones de semilla en donde no se encontraron diferencias

### 1.5.6 Análisis estadísticos

Fueron realizadas mediante un análisis de varianza y medias de comparación tukey, mediante el programa SAS.

## 1.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.6.1 Análisis Parámetros de Color

En el **Cuadro 1** los parámetros de color en relación a la brillantez y tonalidad no presentaron diferencias significativas en los tratamientos aplicados. Sin embargo, el parámetro Hue, con el tratamiento Productor Mosaic obtuvo un incremento del 2.88 % siendo este favorecido en comparación a los demás tratamientos.

significativas en los tratamientos aplicados en frijol pinto con la aplicación de Zinc.

Los valores que se obtuvieron en ancho, se encuentran por arriba de la media en comparación a estudios previos por Urias-López et al., (2017) el cual muestra valores de 0.74 mm y los valores obtenidos de ancho para nuestros datos son de 0.84. Por otro lado para el parámetro de grosor y largo, son menores al que presenta Urias-López et al., (2017), posiblemente no se vieron beneficiados a las aplicaciones de los tratamientos y a las diferencias de variedades.

**Cuadro 2 •** Concentración de dimensiones de semilla de los granos de frijol pinto en respuesta a los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamientos de Fertilización	Dimensiones de semilla		
	Ancho	Grosor	Largo
Productor	0.84 a	0.47 a	1.28 a
Productor-Mosaic	0.82 a	0.49 a	1.30 a
Mejorado	0.81 a	0.49 a	1.28 a
Completo	0.81 a	0.47 a	1.28 a

\* Medias con la misma letra no son significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey con  $P \leq 0.05$

### 1.6.3 Análisis de Macronutrientes

De acuerdo a los datos que se vieron en el contenido de macronutrientes, se encontraron diferencias significativas en los tratamientos aplicados en frijol pinto (**Cuadro 3**). En Magnesio el tratamiento productor Mosaic

obtuvo un incremento del 5.82 % por lo que la aplicación de la fertilización mineral favorecido el contenido de Potasio, Magnesio y Calcio. Al mg se le está prestando mayor atención en relación a la salud de los consumidores (Serrano y Goñi, 2004).

**Cuadro 3 •** Concentración de macronutrientes de los granos de frijol pinto en respuesta a los diferentes tratamientos de fertilización

Tratamientos de Fertilización	Macronutrientes (ppm)				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
Productor	2.5916 a	0.118 a	1.7387 a	0.1734 b	0.2742 a
Productor-Mosaic	2.2936 a	0.177 a	1.5545 b	0.1838 a	0.2999 a
Mejorado	2.5273 a	0.074 a	1.5746 b	0.1731 ab	0.2111 a
Completo	2.5553 a	0.289 a	1.6748 ab	0.1732 ab	0.2750 a

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey con  $P \leq 0.05$ .

El contenido de calcio, magnesio y potasio, presentan relaciones reciprocas, por ejemplo, la deficiencia de Fe eleva las concentraciones de Mn, Co, Zn (Pérez-Raya et al., 2014). Así mismo, el N es uno de los principales macroelementos que actúan directamente en la síntesis de aminoácidos, proteínas y otros constituyentes para el desarrollo del frijol (Sánchez-Chávez et al. 2006). Comparando los resultados con Fernández-Valenciano et al., (2007) en N, P, Ni y Mg fueron mayores a los obtenidos en este estudio.

### 1.6.4 Análisis de Micronutrientes

De acuerdo a los datos obtenidos en el contenido de micronutrientes, se encontraron diferencias significativas en los tratamientos aplicados en frijol pinto (**Cuadro 4**).

En hierro, el tratamiento Productor Mosaic obtuvo un incremento del 16.30 % siendo este favorecido en comparación a los demás tratamientos.

**Cuadro 4 •** Concentración de micronutrientes de los granos de frijol pinto en respuesta a los diferentes tratamientos de fertilización

Tratamientos de Fertilización	Micronutrientes (ppm)				
	Cobre	Níquel	Manganeso	Hierro	Zinc
Productor	4.61 a	2.3133 a	21.7783 a	81.64 ab	28.9783 a
Productor-Mosaic	4.41 a	2.5867 a	22.1083 a	86.96 a	26.7967 a
Mejorado	4.77 a	2.7083 a	20.2467 a	78.32 ab	26.4733 a
Completo	3.96 a	2.7483 a	21.9317 a	72.78 b	30.9667 a

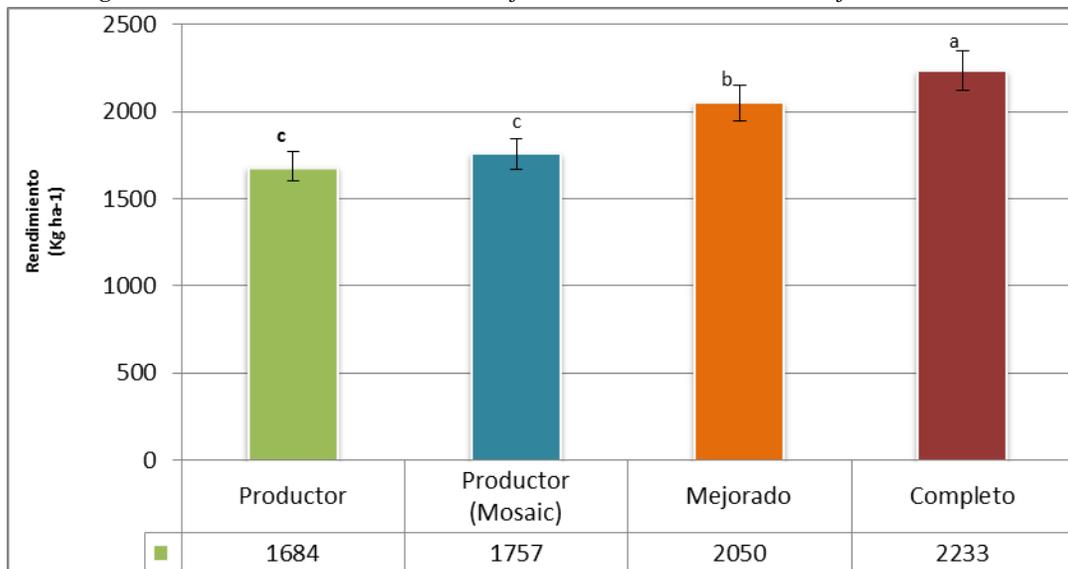
\* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey con  $P \leq 0.05$ .

Los valores obtenidos en Zn, Co, Fe y Cu son mayores a los obtenidos por Fernández-Valenciano et al. (2007), siendo sus concentraciones de 9.41 ppm de Mn, 77.90 ppm de Fe, 25.11 ppm de Zn respectivamente.

### 1.4.5 Rendimiento

En la **Figura 5**, se observan diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento completo el de mayor rendimiento, presentando un incremento de 25 % en comparación con el productor. Estos incrementos son muy significativos bajo condiciones de temporal.

**Figura 5** • Rendimiento en función del manejo de la fertilización mineral en frijol Pinto Centauro



El rendimiento del frijol bajo condiciones de temporal en México es de 1500 kg/ha. En nuestro estudio, se obtuvo un rendimiento de 1684 a 2233 kg/ha bajo condiciones de temporal, con un incremento del 25 %.

## 1.7 CONCLUSIONES

**E**l tratamiento Productor Mosaic obtuvo un incremento del 2.88 % en croma, 59 % en P, 6.0 % en Mg, 16 % en Ní, y 2 % en S, y el tratamiento completo incrementó un 25 % en el rendimiento. Finalmente, resaltar que el manejo de la fertilización mineral, mejoró de manera significativa la productividad y la calidad del frijol bajo condiciones de temporal.

## 1.8 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Santos, E.A., Gómez-Aldapa, C.A.** 2010. Evaluación de las características fisicoquímicas en la especie de frijol *Phaseolus vulgaris* de las variedades; Pinto Saltillo, Bayo Victoria y Negro San Luis. XII Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. 1101-1108.
- Fernández-Valenciano, A.F., Sánchez-Chávez, E.** 2017. Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. Revista Electrónica Nova Scientia. 9(1): 133-148.
- García-Bañuelos, M.L., Sida-Arreola, J.P., Sánchez-Chavez, E.** 2014. Biofortification-promising approach to increasing the content of Iron and Zinc in staple food crops. Research Center for food and Development, A.C. (CIAD) Coordination of Technology of Horticultural and Dairy Products, Mexico. 1(1): 865-888.
- Guillén-Molina, M., Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lázaro, E., Velázquez-Martínez, J.R., Soto-Parra, J.M., García-Carillo, M., Orozco-Vidal, J.A.** 2016. Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 17(1): 3427- 3438
- Monserate Rojas, F.A.** 2008. Análisis del proceso de biofortificación de variedades de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) andino de tipo comercial “calima” en Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1(1): 1-104
- Raya-Pérez, J.C., Gutiérrez-Benicio, G.M., Ramírez Pimentel, J.G., Covarrubias-Prieto, J., Aguirre-Mancilla, C.L.** 2014. Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. Agronomía Mesoamericana 25 (01):01-11.
- Reyes-Rivas, E., Padilla-Bernal, L.E., Pérez-Veyna, O., López-Jáquez, P.** 2008. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del fríjol. Revista Investigación Científica. 4(3): 1-21.
- Sánchez-Chávez, E., Soto-Parra, J.M., Ruiz-Sáez, J.M., Romero-Monreal, L.** 2006. Biomasa, actividad enzimática y compuestos nitrogenados en plantas de frijol ejotero bajo diferentes dosis de potasio. Agricultura técnica en México. 32(1): 27-37.
- 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.
- Uriás-López, M.A., Álvarez-Bravo, A., Hernández-Fuentes, L.M., Pérez-Barraza, M.H.** 2017. Aportaciones científicas para la horticultura mexicana. Libro Científico. 3(1); 85-90.



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



---

Benítez Silva, Araceli Elizabeth; Preciado Rangel, Pablo; Álvarez Reyna, Vicente de Paul; Sánchez Chávez, Esteban.

---

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

# 8

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

Benítez Silva, Araceli Elizabeth; Preciado Rangel, Pablo; Álvarez Reyna, Vicente de Paul; Sánchez Chávez, Esteban.

## 8.1 INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica la asociación simultánea de cultivos como maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouché, *C. moschata* Duchesne ex Poir o *C. pepo* L.) y diversas leguminosas (*Phaseolus vulgaris* L., *P. lunatus* L., *Vicia faba* L. o *Vigna unguiculata* L.) es una práctica común (Ebel et al., 2017). El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), es importante para la alimentación y un representante en la cultura gastronómica de México, la conservación y producción de sus diferentes variedades asegura la ingesta primaria de proteínas en gran parte de la población (Lara-Flores 2015). El frijol es definido como un producto básico y estratégico para el desarrollo rural (Márquez-Berber et al., 2006; Delgadillo-Ruiz et al., 2016). EL maíz y el frijol son de los principales cultivos en México y es una producción principalmente para el autoconsumo (Maribel y Jesús 2017). De acuerdo con datos que reporta SAGARPA (2016) en México, el frijol ocupa la cuarta posición en importancia por la superficie de siembra después del maíz, pastos y sorgo. En regiones de estado de Oaxaca los principales cultivos son el maíz con el 58.17 % y en segundo lugar de importancia el frijol 26.05 % de la superficie destinada a la agricultura, el 15.78 % está destinado a otros cultivos (Aparicio-del-Moral et al., 2013). El frijol representa para las poblaciones rurales y urbanas, una de las principales fuentes de alimento proteico ( Navarro-Meza et al., 2014)), así como por el bajo costo en comparación con la proteína de origen animal, y otros cereales (Porbén, 2018) .

El consumo de frijol básicamente en forma de grano, está asociado a la alta disponibilidad, valor nutricional y digestibilidad (Hernández y Escudero 1993) lo sitúan como un alimento estratégico en combate a la desnutrición (Espino-Sevilla et al., 2017), es una fuente de

proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Ulloa et al., 2011; Fernández Valenciano, A. F., y Sánchez Chávez, E. 2017). Dependiendo de la variedad de frijol, el contenido de proteína varía del 14 al 33 %, en relación a la aportación de carbohidratos 100 g de frijol crudo aportan de 52 a 76 g, lípidos de 1.5 a 6.2 g/100 g, El frijol también es buena fuente de fibra cuyo valor varía de 14-19 g/100 g, este alimento también es una fuente de calcio, hierro, fósforo, magnesio y zinc y de las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico (Ulloa et al., 2011). El objetivo del estudio fue analizar la composición bromatológica de seis variedades de frijol (*P. vulgaris*) cultivadas en la región Mixteca del estado de Oaxaca.

## 8.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La región conocida como La Mixteca, al noreste de la Ciudad de Oaxaca en las coordenadas 96° 06' O y 17° 39' N , con altitud que oscila entre 1,200 y 2,300 msnm, el clima es frío y en partes seco, excepto durante las lluvias de verano donde la precipitación media anual oscila desde los 455 a 771 mm. Por ello, la región, registra una variedad de climas que oscilan de semicálido seco, con temperaturas de 20° a 25° C, en la zona baja, al templado subhúmedo, con temperatura media anual de 12° y 18° en los valles altos. Las temperaturas extremas varían desde los 5° en los Distritos de Coixtlahuaca, Juxtlahuaca, Nochixtlán, Teposcolula y Tlaxiaco, hasta los 37° C en los distritos de Silacayoapan y Huajuapán. Seis variedades de frijol (*P. vulgaris*) fueron recolectadas para este estudio; Sangre de toro, frijol amarillo, frijol blanco, Negro Grueso, Frijol Negro, Chivato Enredador. Dichas variedades son producidas y consumidas por pequeños agricultores de la región , posteriormente se realizó el proceso de limpieza de las variedades de frijol con el propósito de retirar toda la tierra que estas podrían tener en ese momento.

Los análisis se realizaron en laboratorios del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo de Delicias Chihuahua. El **análisis bromatológico** del frijol se determinó de acuerdo a la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000) y conforme a lo establecido a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. **Así como la determinación de : humedad: y análisis de grasa:.** El **análisis de fibra:** se determinó bajo la Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978. **Análisis de Carbohidratos;** se realizó por diferencia de los otros parámetros y se reportó en porcentaje  $C = (\text{ceniza} + \text{grasa} + \text{fibra} + \text{proteína}) - 100$  (Rodríguez y Gallego 1999). El **análisis de Energía:** fue medida por la suma de las calorías contenida en carbohidratos, grasa y proteína. La energía se expresó en Kcal. Análisis estadístico: los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizaron comparación de medias mediante el test de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Statistical Analysis System, 2004).

### 8.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**C**omo resultado de este estudio (**Cuadro 1**) muestran que el porcentaje de grasa del a variedad Negro contiene un 1.50 % y el Frijol Blanco, Chivato Enredador con un 1.15 % respectivamente correspondiendo a los de menor valor. Sánchez Chávez (2017) presenta valores de 1.64 % como máximo y un mínimo de 0.48 %, así mismo Santiago-Ramos *et al.*, (2018) que reportan niveles de grasa de 2.17 a 2.81 % en variedad de frijol negro. Resultados del análisis bromatológico obtenidos muestran diferencias ( $P < 0.05$ ) en variedades de frijol (**Cuadro 1**), la variedad Negro Grueso presenta humedad del 10.86 % y la variedad Chivato Enredador 12.21 %, Santos-Aguirre y Gómez-Aldapa (2010) reportan valores similares de humedad en variedades Bayo Victoria 10.16 %, Pinto Saltillo 11.58 % y Negro San Luis 11.95 %. Así mismo en contenido de fibra la variedad negro grueso

sobresale con 5.30 % por el contrario la variedad sangre de toro fue el de menor valor con 1.68 % estos resultados difieren con lo reportado por Becerra *et al.*, (2004) que muestran valores de 5.77 % para la variedad pinto rojo como máximo y el pinto negro con un 4.9 % como mínimo. En el contenido de carbohidratos para este estudio se obtuvo un valor máximo de 71.73 % para la variedad frijol amarillo y un mínimo de 65.13 % para la variedad negro ambos fueron superiores a lo reportado por Becerra *et al.*, (2004) de 65.90% como máximo para el frijol blanco y 63.76 el mínimo para la variedad pinto café. En relación a la aportación de carbohidratos, cada 100 g de frijol crudo aportan de 52 a 76 g, (Ulloa *et al.*, 2011). El contenido de proteína muestra diferencia ( $P < 0.05$ ) en las seis variedades (**Cuadro 1**), el de mayor porcentaje fue la variedad de chivato enredador con 27.04 % y el de menor la variedad frijol amarillo con 19.52 %; Raya -Pérez *et al.*, (2014) reportan menor contenido de proteína soluble total de 16,47%, en el caso del Bayo Berrendo, y 14,53% para el Patzcuareño. Dichos resultados se encuentran dentro de los parámetros indicados por Ulloa *et al.*, (2011) mencionan que, dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteínas varía del 14 al 33%. Santiago-Ramos *et al.*, (2018) reportan niveles de proteína entre 22 y 23 % en variedades de frijol negro nixtamalizado. Guzmán- Maldonado *et al.* (2000) reportaron un contenido de 33% a 22% de proteína total, por su parte, Serrano y Goñi (2004) dan un valor de 21,8 % de proteína en frijol negro común. Energía los resultados obtenidos en este estudio nos muestran un valor 379.71kcal/100 g en la variedad sangre de toro por lo contrario el valor mínimo lo obtuvo la variedad negro grueso con 368.34 kcal. Superiores a lo reportado por Reyes-Rivas *et al.*, (2008) que reportan un rango de 347 a 358 kcal.

**Cuadro 1 •** Propiedades fisicoquímicas de seis variedades de frijol (*P. vulgaris* L.) de la región Mixteca del estado de Oaxaca, México (% / 100 g de muestra).

Región	Variedad de frijol	Grasa	Humedad	Fibra	Carbohidratos	Proteína cruda	Energía (kcal)
Mixteca	Sangre de toro	1.19 <sup>d</sup>	11.71 <sup>b</sup>	1.68 <sup>c</sup>	67.04 <sup>b</sup>	25.21 <sup>c</sup>	379.71 <sup>a</sup>
	Frijol Amarillo	1.41 <sup>b</sup>	11.00 <sup>e</sup>	2.77 <sup>b</sup>	71.73 <sup>a</sup>	19.52 <sup>f</sup>	377.71 <sup>ba</sup>
	Frijol Blanco	1.15 <sup>d</sup>	11.52 <sup>c</sup>	2.67 <sup>b</sup>	66.79 <sup>b</sup>	24.91 <sup>d</sup>	377.16 <sup>b</sup>
	Negro Grueso	1.32 <sup>c</sup>	10.86 <sup>f</sup>	5.30 <sup>a</sup>	65.91 <sup>c</sup>	23.20 <sup>e</sup>	368.34 <sup>c</sup>
	Negro	1.50 <sup>a</sup>	11.09 <sup>d</sup>	2.64 <sup>b</sup>	65.13 <sup>d</sup>	26.40 <sup>b</sup>	379.66 <sup>a</sup>
	Chivato Enredador	1.15 <sup>d</sup>	12.21 <sup>a</sup>	2.77 <sup>b</sup>	64.36 <sup>e</sup>	27.04 <sup>a</sup>	375.96 <sup>b</sup>

a, b, c, d, e, f Literales distintas en columna muestran diferencias (P<0.05)

**Cuadro 2** • Contenido de macronutrientes (%) de seis variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la región Mixteca del estado de Oaxaca.

Macronutrientes (%)						
Región	Variedad	Na	Ca	K	Mg	P
Mixteca	Sangre de toro	0.006 <sup>a</sup>	0.283 <sup>a</sup>	0.533 <sup>a</sup>	0.096 <sup>ba</sup>	0.206 <sup>a</sup>
	Frijol Amarillo	0.016 <sup>a</sup>	0.663 <sup>a</sup>	0.496 <sup>a</sup>	0.133 <sup>a</sup>	0.223 <sup>a</sup>
	Frijol Blanco	0.020 <sup>a</sup>	3.170 <sup>a</sup>	0.550 <sup>a</sup>	0.080 <sup>ba</sup>	0.216 <sup>a</sup>
	Negro Grueso	0.010 <sup>a</sup>	0.166 <sup>a</sup>	1.110 <sup>a</sup>	0.026 <sup>b</sup>	0.086 <sup>b</sup>
	Negro	0.010 <sup>a</sup>	0.286 <sup>a</sup>	1.070 <sup>a</sup>	0.076 <sup>ba</sup>	0.076 <sup>cb</sup>
	Chivato Enredador	0.003 <sup>a</sup>	0.360 <sup>a</sup>	0.380 <sup>a</sup>	0.130 <sup>a</sup>	0.063 <sup>c</sup>

A, b, c, d, e, f Literales distintas en columna muestran diferencias ( $P < 0.05$ )

Como resultado de este estudio análisis de macronutrientes se encontraron diferencias significativas en las diferentes variedades de frijol estudiadas en las regiones de Oaxaca (**Cuadro 2**) En Sodio (Na) los valores obtenidos en el análisis de macronutrientes en la región **Mixteca** (frijol blanco 0.020 % como máximo y el chivato enredador con 0.003 % siendo este el de valor mínimo). Los niveles de concentración de Calcio (Ca) para la región Mixteca sobre sale la variedad blanca con 3.170 % inferior a negro grueso con 0.166%. Potasio (K) con referencia a este macronutriente para la región la **Mixteca** el negro grueso con 1.110 % como máximo y chivato enredador con 0.380 % siendo este el

mínimo. Con respecto a Magnesio la región **Mixteca** muestran que la variedad con la máxima concentración es frijolon amarillo 0.133 % y que la mínima concentración se presentó en la variedad negro grueso con 0.026 %. Fosforo (P) los valores que se obtuvieron se pueden observar en el **Cuadro 1**, los cuales indican que la concentración de fosforo para la región **Mixteca** se obtuvo que la variedad amarilla es la que cuenta con la máxima concentración de fosforo con 0.223 % y mientras que la variedad chivato enredador contiene la mínima concentración 0.063 %.

**Cuadro 3** • Contenido de micronutrientes (ppm) de seis variedades de frijol (*P. vulgaris* L.) de la región Mixteca del estado de Oaxaca.

Micronutrientes (ppm)						
Región	Variedad	Ni	Fe	Zn	Cu	Mn
Mixteca	Sangre de toro	4.95 <sup>c</sup>	37.06 <sup>ba</sup>	20.33 <sup>b</sup>	6.96 <sup>b</sup>	14.11 <sup>a</sup>
	Frijol Amarillo	8.46 <sup>bc</sup>	38.27 <sup>ba</sup>	23.02 <sup>b</sup>	5.90 <sup>b</sup>	15.09 <sup>a</sup>
	Frijol Blanco	10.67 <sup>ba</sup>	26.93 <sup>b</sup>	34.71 <sup>a</sup>	14.25 <sup>a</sup>	17.40 <sup>a</sup>
	Negro Grueso	12.28 <sup>a</sup>	38.32 <sup>ba</sup>	21.04 <sup>b</sup>	7.16 <sup>b</sup>	17.80 <sup>a</sup>
	Negro	11.77 <sup>ba</sup>	32.02 <sup>b</sup>	24.71 <sup>b</sup>	12.37 <sup>a</sup>	17.93 <sup>a</sup>
	Chivato Enredador	11.52 <sup>ba</sup>	47.01 <sup>a</sup>	27.43 <sup>ba</sup>	5.68 <sup>b</sup>	17.28 <sup>a</sup>

A, b, c, d, e, f Literales distintas en columna muestran diferencias ( $P < 0.05$ )

Dentro de los resultados obtenidos de micronutrientes, se encontraron diferencias significativas en las diferentes variedades de frijol estudiadas (**Cuadro 3**). El contenido de níquel en la región **mixteca** como máximo se tiene 12.28 ppm con la variedad negro grueso, mínimo 4.95 ppm sangre de toro; los niveles de Hierro encontrados en las variedades chivato enredador sobresale con 47.01 pmm y la variedad blanco con 26.93 pmm como la mínima; Por otra parte, las concentraciones de zinc muestran que el frijolon blanco tiene el valor máximo con 34.71 pmm y sangre de toro el mínimo con 20.33 pmm White y Broadley (2005) mencionan que ha habido un aumento en la anemia por deficiencia de Zn ya que los cereales han sustituido a los tradicionales cultivos ricos en minerales como legumbres, verduras y frutas.; en los niveles de cobre destaca la variedad blanco con 14.25 pmm y chivato enredador con 5.68 pmm obteniendo esta ultima la mínima concentración. Con respecto al manganeso, la variedad negro obtuvo

el 17.93 pmm siendo ésta la máxima concentración de manganeso mientras que sangre de toro obtuvo el mínimo valor con 14.11pmm Sánchez-Arteaga (2015); Barampama, Z., y Simard, RE (1993).

## 8.4 CONCLUSIONES

Con estos resultados se concluye que para la variable grasa la variedad sobresaliente fue Negro, para Humedad la de mayor porcentaje fue el Chivato Enredador, el mayor porcentaje de Fibra lo obtuvo la variedad Negro Grueso, con respecto a carbohidratos la variedad Frijol Amarillo fue la de mayor resalte, en proteína la variedad Chivato Enredador, y para energía resaltando la variedad Sangre de Toro. Estos resultados permiten tener las bases para futuros trabajos de investigación, sin embargo, las variedades son distinguibles entre sí morfológicamente, pero es importante realizar trabajo a nivel bioquímico y molecular para una mejor caracterización. Por otra parte, se espera que, a pesar de la

introducción de nuevas variedades mejoradas sean conservadas por su valor genético y cultural.

## 8.5 BIBLIOGRAFÍA

**Aparicio-del-Moral, J. O., Tornero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E., Villarreal-Manzo, L. A., & Rodríguez-Mendoza, M. D. L. Á.** (2013). Factores Sociales y Económicos del Cultivo de Chile de Agua (*Capsicum annum* L.) en tres municipios de los Valles Centrales de Oaxaca *Ra Ximhai*, 9(1).

**Association of Official Analytical Chemist.** (2000). *Official Methods of Analysis* (17th). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU.

**Becerra, L. M., Pino, J., Duch, J., & Sauri, E.** (2004). Variabilidad y caracterización bromatologica de colectas de frijol de lima de la península de Yucatan, Mexico. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 14(2), 57-62.

**Cardador-Martínez, A., Espino-Sevilla, M. T., del Campo, S. T. M., & Alonzo-Macías, M.** (2017). Dietary fiber as food additive: present and future. *Dietary Fiber Functionality in Food and Nutraceuticals: From Plant to Gut*, 77-94.

**Fernández Valenciano, A. F., & Sánchez Chávez, E.** (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9(18), 133-148.

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

- Hernández, C. J., & Escudero, A. C.** (1993). Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana*, 4(1), 42-47.
- Lara Flores, N., Saldaña Balmori, Y., Fernández Vera, N., & Delgadillo Gutiérrez, H. J.** (2015). Salud, calidad de vida y entorno universitario en estudiantes mexicanos de una universidad pública. *Revista hacia la promoción de la salud*, 20(2).
- Márquez Berber, S. R., Schwentesius Rindermann, R., Almaguer Vargas, G., Ayala Garay, A. V., & Kalil Gardezi, A.** (2006). La globalización y su efecto en la producción agrícola de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, (2).
- NMX-F-066-S-1978.** (1978). Determinación de cenizas en alimentos. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>
- NMX-F-427-1982.** (1982). Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-427-1982.PDF>
- NOM-F-90-S-1978.** (1978). Determinación de fibra cruda en Alimentos. Norma Oficial Mexicana. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=479984&fecha=27/03/1979](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=479984&fecha=27/03/1979)
- 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. C., Gutiérrez-Benicio, G. M., Pimentel, J. G. R., Prieto, J. C., & Aguirre-Mancilla, C. L.** (2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 1-11.
- Rodríguez, M. H., & Gallego, A. S.** (1999). *Tratado de nutrición*. Ediciones Díaz de Santos.
- SAS/STAT**® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2004
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.** 2017. Planeación agrícola nacional.
- 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.
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E.** (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*. Año 3 No. 8 <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/582>
- Porbén, S. S.** (2018). Mezclas nutricionalmente balanceadas y de bajo costo de alimentos andinos para aplicaciones infantiles Resultados de la presente investigación. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 28(2), 12. *Revista Cubana de Alimentación y*

- Nutrición Vol. 28 No. 1 Enero – Junio del 2018 Suplemento 2 del número 1
- Navarro-Meza, M., Martínez Moreno, A. G., López-Espinoza, A., López-Uriarte, P., & Benavides Gómez, M. D. R.** (2014). Comparación en la ingesta de alimentos de adultos que residen en una zona rural y urbana de Jalisco, México. *Revista mexicana de trastornos alimentarios*, 5(1), 11-19.
- Maribel, L., & Jesús, L.** (2017). Valoración económica de un plan para evitar la pérdida de cultivos básicos e industriales en Oaxaca, México. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(SPE), 411-418.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J.** (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160.
- Delgadillo-Ruiz, O., Ramírez-Moreno, P. P., Leos-Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., & Valdez-Cepeda, R. D.** (2016). Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México. *Acta universitaria*, 26(3), 23-32.

# Biofortificación con micronutrientes en frijol: Aprovechamiento de la agrobiodiversidad

# 9

---

Sánchez Chávez, Esteban; Gutiérrez Ruelas, Nayely Jazmín; Muñoz Márquez, Ezequiel; Soto Parra, Juan Manuel; Flores Córdova, María Antonia; Ojeda Barrios, Damaris Leopoldina; Preciado Rangel, Pablo; Romero Monreal, Luis.

---

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

# 9

## **Biofortificación con micronutrientes en frijol: Aprovechamiento de la agrobiodiversidad**

---

Sánchez Chávez, Esteban; Gutiérrez Ruelas, Nayely Jazmín; Muñoz Márquez, Ezequiel; Soto Parra, Juan Manuel; Flores Córdova, María Antonia; Ojeda Barrios, Damaris Leopoldina; Preciado Rangel, Pablo; Romero Monreal, Luis.

## 9.1 RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar nutricionalmente la agrobiodiversidad de frijol en México con potencial a ser biofortificado con micronutrientes para combatir la deficiencia y mejorar la salud humana. Se recolectaron 155 variedades de frijol representativo de México, y se evaluó las características físicas, calidad nutricional y nivel de proteína. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de conglomerados de K medias mediante el software SPSS Statistics 20. Los resultados obtenidos indicaron que se encontraron diferencias significativas en la calidad nutricional de las 155 variedades de frijol recolectados en México. El análisis de conglomerados arrojó 23 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 136.42 ppm y Pelón Rojo (#63) para Zn 52.12 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína 29.79% fue el frijol silvestre (#82). Finalmente, resaltar que las 23 variedades de frijol sobresalientes son importantes incluirlas en un programa de biofortificación de Hierro y Zinc 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., biofortificación, micronutrientes, mal nutrición.

## 9.2 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, químicas y nutricionales de las diferentes variedades de frijol existentes en México. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue caracterizar nutricionalmente la agrobiodiversidad del frijol en México con potencial a ser biofortificadas con hierro y zinc.

## 9.3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 10.3.1 Material vegetal

Se recolectaron 155 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 (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1** • Variedades recolectadas procedentes de las principales regiones productoras de México.

No.	Variedad	Localidad	Localización geográfica	Fotografía
1	<i>Pinto Saltillo mejorado</i>	<i>Charco, Chihuahua</i>	28°25'20.3"N, 106°09'52.7"W	
2	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Charco, Chihuahua</i>	28°25'20.3"N, 106°09'52.7"W	
3	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Guerrero, Chihuahua</i>	28°33'08.5"N, 107°28'25.9"W	
4	<i>Negro 8025</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W	
5	<i>Pinto Bravo</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W	
6	<i>Flor de Mayo media oreja</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W	

7	<i>Pinto Libertad</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
8	<i>Pinto Centauro</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
9	<i>Negro San Luis</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
10	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
11	<i>Pinto Centenario</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
12	<i>Pinto Coloso</i>	<i>INIFAP, Durango</i>	<i>23°59'25.7"N, 104°37'27.6"W</i>	
13	<i>Higuera Azufrado 097/16</i>	<i>Guasave, Sinaloa</i>	<i>25°34'40.5"N, 108°29'38.6"W</i>	
14	<i>Moyocoa 151/16</i>	<i>Guasave, Sinaloa</i>	<i>25°34'40.5"N, 108°29'38.6"W</i>	
15	<i>Flor de Mayo</i>	<i>Tulancingo, Oaxaca</i>	<i>17°45'17.4"N 97°26'42.2"W</i>	
16	<i>Rojo Enredador</i>	<i>Tulancingo, Oaxaca</i>	<i>17°45'17.4"N 97°26'42.2"W</i>	

17	<i>Cuarenteno "Bayo"</i>	<i>Tulancingo, Oaxaca</i>	<i>17°45'17.4"N 97°26'42.2"W</i>	
18	<i>Negro Criollo</i>	<i>Tulancingo, Oaxaca</i>	<i>17°45'17.4"N 97°26'42.2"W</i>	
19	<i>Negro Bola</i>	<i>Canatlán, Durango</i>	<i>24°37'27.6"N, 104°57'52.1"W</i>	
20	<i>Pinto Americano</i>	<i>S.F. Conchos, Chihuahua</i>	<i>27°32'14.1"N, 105°19'13.1"W</i>	
21	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Canatlán, Durango</i>	<i>24°37'27.6"N, 104°57'52.1"W</i>	
22	<i>Ojo de Cabra</i>	<i>S.F. Conchos, Chihuahua</i>	<i>27°32'14.1"N, 105°19'13.1"W</i>	
23	<i>Ojo de Cabra</i>	<i>S.F. Conchos, Chihuahua</i>	<i>27°32'14.1"N, 105°19'13.1"W</i>	
24	<i>Ojo de Cabra</i>	<i>Bocoyna, Chihuahua</i>	<i>27°40'33.8"N, 107°41'31.8"W</i>	
25	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Namiquipa, Chihuahua</i>	<i>29°14'13.1"N, 107°24'36.9"W</i>	
26	<i>Pinto Bravo</i>	<i>Canatlán, Durango</i>	<i>24°37'27.6"N, 104°57'52.1"W</i>	

27	<i>Pinto Canario</i>	<i>Canatlán, Durango</i>	24°37'27.6"N, 104°57'52.1"W	
28	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Guerrero, Chihuahua</i>	28°33'08.5"N, 107°28'25.9"W	
29	<i>Ojo de Cabra</i>	<i>Guerrero, Chihuahua</i>	28°33'08.5"N, 107°28'25.9"W	
30	<i>Negro V-6</i>	<i>San José Las Lajas, Cuba</i>	22°58'03.8"N, 82°09'12.3"W	
31	<i>Negro V-7</i>	<i>San José Las Lajas, Cuba</i>	22°58'03.8"N, 82°09'12.3"W	
32	<i>Frijol Strike</i>	<i>Texcoco, Edo. de México</i>	19°29'03.3"N, 98°54'01.0"W	
33	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Namiquipa, Chihuahua</i>	29°14'13.1"N, 107°24'36.9"W	
34	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Batopilas, Chihuahua</i>	27°01'52.6"N, 107°44'11.6"W	
35	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	
36	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	

37	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	
38	<i>Negro Bola</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	
39	<i>Negro Bola</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	
40	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Sombrerete, Zacatecas</i>	23°38'01.8"N, 103°38'58.8"W	
41	<i>Negro orgánico</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W	
42	<i>Negro Jamapa</i>	<i>Teapa, Tabasco</i>	17°34'03.8"N, 92°57'01.8"W	
43	<i>Bayo</i>	<i>Teapa, Tabasco</i>	17°34'03.8"N, 92°57'01.8"W	
44	<i>Pelón oscuro</i>	<i>Teapa, Tabasco</i>	17°34'03.8"N, 92°57'01.8"W	
45	<i>Pashate</i>	<i>Teapa, Tabasco</i>	17°34'03.8"N, 92°57'01.8"W	
46	<i>Blanco Pelón</i>	<i>Conkal, Yucatán</i>	21°04'31.6"N, 89°31'09.2"W	
47	<i>Negro</i>	<i>Conkal, Yucatán</i>	21°04'31.6"N, 89°31'09.2"W	

48	<i>Frijol Rosa "Bayo"</i>	<i>Conkal, Yucatán</i>	<i>21°04'31.6"N, 89°31'09.2"W</i>	
49	<i>Frijol Rojo</i>	<i>Conkal, Yucatán</i>	<i>21°04'31.6"N, 89°31'09.2"W</i>	
50	<i>Blanco Pelón</i>	<i>Motul, Yucatán</i>	<i>21°05'41.8"N, 89°17'04.0"W</i>	
51	<i>Frijol Rosa "Bayo"</i>	<i>Conkal, Yucatán</i>	<i>21°04'31.6"N, 89°31'09.2"W</i>	
52	<i>Negro Jamapa</i>	<i>Hidalgotitlan, Veracruz</i>	<i>17°46'16.6"N 94°38'28.6"W</i>	
53	<i>Frijol Bayo</i>	<i>Hidalgotitlan, Veracruz</i>	<i>17°46'16.6"N 94°38'28.6"W</i>	
54	<i>Negro Ix Pelón</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
55	<i>Frijol Mejenives</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
56	<i>Rojo Pentulillo</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
57	<i>Hibes Pinto</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
58	<i>X-Pelón</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	

59	<i>Ojo Jabalí</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
60	<i>Jamapa</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
61	<i>Tzamá</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
62	<i>Petulillo lenteja</i>	<i>Dzutoh, Yucatán</i>	<i>20°15'41.6"N, 89°03'44.7"W</i>	
63	<i>Pelón Rojo</i>	<i>Teapa, Tabasco</i>	<i>17°34'03.8"N, 92°57'01.8"W</i>	
64	<i>Pinto Saltillo</i>	<i>Cauhtémoc, Chihuahua</i>	<i>28°25'52.3"N, 106°52'06.0"W</i>	
65	<i>Pinto</i>	<i>Hidalgotitlan, Veracruz</i>	<i>17°46'16.6"N 94°38'28.6"W</i>	
66	<i>Pinto</i>	<i>Uruapán, Michoacán</i>	<i>19°25'04.9"N, 102°03'45.1"W</i>	
67	<i>Higuera Azufrado</i>	<i>Culiacán, Sinaloa</i>	<i>24°42'48.1"N, 107°25'54.2"W</i>	
68	<i>Flor de Mayo</i>	<i>Celaya, Guanajuato</i>	<i>20°32'20.3"N, 100°47'03.2"W</i>	
69	<i>Pinto oscuro</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	<i>23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W</i>	

70	<i>Negro</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	<i>23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W</i>	
71	<i>Bayo</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	<i>23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W</i>	
72	<i>Texano</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
73	<i>Azufrado</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
74	<i>Alubia</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
75	<i>Peruano bola</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
76	<i>Flor de Junio</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
77	<i>Peruano Higuera</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
78	<i>Negro</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
79	<i>Chicharo</i>	<i>Guadalajara, Jalisco</i>	<i>20°39'10.7"N, 103°22'58.6"W</i>	
80	<i>Escumite ó Tepari</i>	<i>Mapastepec, Chiapas</i>	<i>15°25'43.1"N, 92°53'47.2"W</i>	

81	<i>Negro</i>	<i>Mapastepec, Chiapas</i>	<i>15°25'43.1"N, 92°53'47.2"W</i>	
82	<i>Ejotero silvestre</i>	<i>San Juanito, Chihuahua</i>	<i>27°57'59.3"N, 107°35'44.8"W</i>	
83	<i>Amarillo</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	<i>18°04'25.5"N 96°09'10.8"W</i>	
84	<i>Negro Guaca</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	<i>18°04'25.5"N 96°09'10.8"W</i>	
85	<i>Rojo Mayo</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	<i>18°04'25.5"N 96°09'10.8"W</i>	
86	<i>Blanco Bola</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	<i>18°04'25.5"N 96°09'10.8"W</i>	
87	<i>Negro</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	<i>18°04'25.5"N 96°09'10.8"W</i>	
88	<i>Mantequilla</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	<i>18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W</i>	
89	<i>Negro Michigan</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	<i>18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W</i>	
90	<i>Ayocote Amarillo</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	<i>18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W</i>	
91	<i>Amarillo Abolado</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	<i>18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W</i>	
92	<i>Alubia</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	<i>18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W</i>	

93	<i>Frijol cacahuete</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W	
94	<i>Ayocote oscuro</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W	
95	<i>Jaracho</i>	<i>Atlixco, Puebla</i>	18°55'25.6"N, 98°25'53.0"W	
96	<i>Bordales</i>	<i>Guachochi, Chihuahua</i>	26°49'10.6"N 107°03'53.1"W	
97	<i>Pinto</i>	<i>Namiquipa, Chihuahua</i>	29°15'01.4"N 107°15'13.6"W	
98	<i>Sangre de toro</i>	<i>Tlayacapan, Morelos</i>	18°57'21.3"N 98°58'23.7"W	
99	<i>Negro</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	
100	<i>Peruano</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	
101	<i>Flor de Mayo</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	
102	<i>Negro</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	
103	<i>Pinto</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	
104	<i>Negro</i>	<i>Cuautla, Morelos</i>	18°50'17.0"N 98°57'20.2"W	

105	<i>Patol</i>	<i>Canatlán, Durango</i>	24°37'27.6"N, 104°57'52.1"W	
106	<i>Flor de mayo</i>	<i>Cuitlacán, Oaxaca</i>	17°47'42.2"N 96°57'38.5"W	
107	<i>Michigan</i>	<i>Teotitlán, Oaxaca</i>	18°08'16.0"N 97°04'38.5"W	
108	<i>Bayo blanco</i>	<i>Cuitlacán, Oaxaca</i>	17°47'42.2"N 96°57'38.5"W	
109	<i>Negro grueso</i>	<i>Juchitlán, Oaxaca</i>	16°26'26.6"N 95°01'36.7"W	
110	<i>Pinto</i>	<i>Juchitlán, Oaxaca</i>	16°26'26.6"N 95°01'36.7"W	
111	<i>Negro delgado</i>	<i>Tehuantepec, Oaxaca</i>	16°18'26.2"N 95°14'46.8"W	
112	<i>Bayo</i>	<i>Tehuantepec, Oaxaca</i>	16°18'26.2"N 95°14'46.8"W	
113	<i>Sangre de toro</i>	<i>Tlaxiaco, Oaxaca</i>	17°16'39.4"N 97°40'42.5"W	
114	<i>Frijolón amarillo</i>	<i>Nochistlán, Oaxaca</i>	17°27'16.4"N 97°14'11.6"W	
115	<i>Blanco</i>	<i>Juxtlahuaca, Oaxaca</i>	17°47'25.4"N 97°47'31.5"W	
116	<i>Negro grueso</i>	<i>Coixtlahuaca, Oaxaca</i>	17°43'27.0"N 97°19'42.3"W	

117	<i>Negro</i>	<i>Huajuapán, Oaxaca</i>	<i>7°49'12.0"N 97°47'16.2"W</i>	
118	<i>Chivato enredador</i>	<i>Teposcolula, Oaxaca</i>	<i>17°30'29.1"N 97°29'19.0"W</i>	
119	<i>Blanco alubia</i>	<i>Yautepec, Oaxaca</i>	<i>16°29'52.1"N 96°06'28.0"W</i>	
120	<i>Negro delgado</i>	<i>Sola de Vega, Oaxaca</i>	<i>16°30'42.4"N 96°59'08.5"W</i>	
121	<i>Peruano</i>	<i>Miahuatlán, Oaxaca</i>	<i>16°19'07.7"N 96°36'24.0"W</i>	
122	<i>Santanero</i>	<i>Juquila, Oaxaca</i>	<i>16°14'04.7"N 97°17'43.6"W</i>	
123	<i>Biche (Costeño)</i>	<i>Juquila, Oaxaca</i>	<i>16°14'04.7"N 97°17'43.6"W</i>	
124	<i>Blanco Michigan</i>	<i>Pochutla, Oaxaca</i>	<i>15°44'09.7"N 96°27'30.4"W</i>	
125	<i>Negro grueso</i>	<i>Ixtlan, Oaxaca</i>	<i>17°19'41.1"N 96°29'03.5"W</i>	
126	<i>Peruano amarillo</i>	<i>Villa Alta, Oaxaca</i>	<i>17°20'10.1"N 96°09'15.8"W</i>	
127	<i>Sangre de toro</i>	<i>Villa Alta, Oaxaca</i>	<i>17°20'10.1"N 96°09'15.8"W</i>	
128	<i>Bayo</i>	<i>Mixe, Oaxaca</i>	<i>17°07'15.8"N 95°57'21.2"W</i>	

129	<i>Negro bola</i>	<i>Choapam, Oaxaca</i>	17°20'00.4"N 95°57'09.9"W	
130	<i>Sangre de toro</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	18°04'25.5"N 96°09'10.8"W	
131	<i>Bayo blanco</i>	<i>Choapam, Oaxaca</i>	17°20'00.4"N 95°57'09.9"W	
132	<i>Flor de mayo</i>	<i>Tuxtepec, Oaxaca</i>	18°04'25.5"N 96°09'10.8"W	
133	<i>Frijolón Negro</i>	<i>Ocotlán, Oaxaca</i>	16°46'42.7"N 96°41'00.3"W	
134	<i>Negro Michigan</i>	<i>Zaachila, Oaxaca</i>	16°55'43.0"N 96°44'38.1"W	
135	<i>Bayo bola</i>	<i>Tlacolula, Oaxaca</i>	16°57'21.4"N 96°29'12.6"W	
136	<i>Blanco</i>	<i>Centro, Oaxaca</i>	17°03'40.9"N 96°43'19.1"W	
137	<i>Flor de mayo</i>	<i>Etla, Oaxaca</i>	17°11'34.0"N 96°48'15.2"W	
138	<i>Frijolón 1</i>	<i>Centro, Oaxaca</i>	17°03'40.9"N 96°43'19.1"W	
139	<i>Frijolón rojo</i>	<i>Centro, Oaxaca</i>	17°03'40.9"N 96°43'19.1"W	
140	<i>Pinto americano</i>	<i>Zimatlán, Oaxaca</i>	16°51'41.9"N 96°46'40.0"W	

141	<i>Pinto centauro</i>	<i>Cusihuiachi, Chihuahua</i>	28°14'21.9"N 106°49'53.4"W	
142	<i>Pinto centauro</i>	<i>Cusihuiachi, Chihuahua</i>	28°14'21.9"N 106°49'53.4"W	
143	<i>Pinto centauro</i>	<i>Cusihuiachi, Chihuahua</i>	28°14'21.9"N 106°49'53.4"W	
144	<i>Pinto centauro</i>	<i>Cusihuiachi, Chihuahua</i>	28°14'21.9"N 106°49'53.4"W	
145	<i>Flor de mayo</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
146	<i>Bayo</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
147	<i>Frijola</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
148	<i>Patola</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
149	<i>Alubia</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
150	<i>Flor de junio</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
151	<i>Reata</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
152	<i>Japonés</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	

153	<i>Negro</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
154	<i>Peruano</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	
155	<i>Saltillo</i>	<i>Calera, Zacatecas</i>	23°00'47.6"N, 102°39'16.3"W	

### 10.3.2 Variables evaluadas

#### *Características físicas del frijol*

Para cada variedad de frijol se determinó el peso, longitud, ancho y grosor de la semilla (Aguirre-Santos y Gómez-Aldapa, 2010). Así como, el color de la semilla en función de luminosidad, cromaticidad y tonalidad mediante un equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta) (Rettig y Ah-Hen, 2014).

#### *Análisis nutricional del frijol*

Se determinó el contenido de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu y Ni), el contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y Proteínas (Calvo et al., 2008).

#### *Análisis estadístico*

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, prueba de separación de medias por Tukey, y análisis de correlación de Pearson. Así mismo, por la cantidad de información de las 155 variedades de frijol, se

procedió a realizar un análisis de conglomerados de K medias y un análisis de componentes principales mediante el paquete estadístico SPSS (SPSS, 2001) con el propósito de seleccionar las variedades más sobresalientes en cuanto al contenido de Hierro, Zinc y proteínas para utilizarlas en un programa de biofortificación con micronutrientes en frijol.

## 9.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el **Cuadro 2** se observa la gran biodiversidad de las variedades mexicanas de frijol, presentando diferencias significativas en las propiedades físicas del frijol (ancho, largo, grosor y peso), así como, en el color del grano (luminosidad, cromaticidad y tonalidad), y concentración de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu y Ni), macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y Proteína.

**Cuadro 2** • Resumen de las características físicas y contenido mineral de la agrobiodiversidad de las variedades mexicanas de frijol.

Parámetro	Media	Valor Mínimo	Valor Máximo
Ancho (cm)	0.77	0.47	1.56
Grosor (cm)	0.54	0.35	1.10
Largo (cm)	1.22	0.58	2.68

Luminosidad	50.40	22.03	90.76
Cromaticidad	15.39	0.86	44.15
Tonalidad	0.52	-1.56	1.56
<b>Hierro (ppm)</b>	<b>53.28</b>	<b>21.62</b>	<b>136.41</b>
<b>Zinc (ppm)</b>	<b>25.36</b>	<b>6.74</b>	<b>52.57</b>
Calcio (%)	0.27	0.08	3.16
Magnesio (%)	0.13	0.01	0.28
Potasio (%)	1.18	0.33	2.23
Níquel (ppm)	7.91	1.25	29.12
Sodio (%)	0.011	0.001	0.043
Cobre (ppm)	8.77	3.13	20.28
Manganeso (ppm)	15.46	5.41	38.54
Fósforo (%)	0.14	0.01	0.46
Nitrógeno (%)	3.68	2.81	4.77
Carbono (%)	36.04	17.12	46.33
Azufre (%)	10.85	0.038	28.90
<b>Proteína (%)</b>	<b>21.59</b>	<b>17.48</b>	<b>29.79</b>
<b>Significancia</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>

Se observa una gran variabilidad en la concentración de Fe (21.62 a 136.41 ppm, **Cuadro 2**), destacando las variedades de frijol: Pinto (103) de Cuautla, Morelos [136.42 ppm], Negro (104) de Cuautla, Morelos [113.44 ppm], Peruano (154) de Calera, Zacatecas [105.29 ppm], Pinto Saltillo (97) de Namiquipa, Chihuahua [103.75], Peruano (100) de Cuautla, Morelos [101.41 ppm]; Negro (102) de Cuautla, Morelos [99.77], Frijola (147) de Calera, Zacatecas [97.76], Flor de Mayo (101) de

Cuautla, Morelos [91.06 ppm], Flor de Junio (150) de Calera, Zacatecas [90.97 ppm] y Sangre de Toro (98) de Cuautla, Morelos [89.23 ppm]. Acosta-Gallegos et al. (2016) reportan valores de concentración de Hierro de 24.8 – 57.5 ppm. Por lo tanto, se consideran superiores los valores encontrados en nuestro estudio (21.62 a 136.41 ppm), lo cual nos permite un mayor aporte de Fe en la ingesta diaria recomendada a los consumidores. Por otro lado, la USDA (2018) reporta valores de 5.07 mg/100

g para la variedad de Frijol Pinto y valores de 4.5 mg/100 g para el Frijol Negro. En nuestro caso, la variedad Pinto (103) de Cuautla, Morelos la más sobresaliente en Fe aporta 13.6 mg/100 g, por lo que aporta un 63 y 63% respectivamente más de Fe en comparación a las variedades Frijol Pinto y Negro de Estados Unidos. Según Bernal et al. (2015), el suelo que tiene un pH entre 6 y 7 es ideal para cultivos porque en este rango de pH la asimilación de casi todos los nutrientes ocurre. Las plantas en este pH presentan la mayor actividad biológica. Esto podría explicar los resultados obtenidos, es decir, las variedades que presentaron una mayor acumulación de Fe es porque los suelos donde se establecieron tenían un pH cercano a lo ideal, mientras que las variedades de frijol que presentaron los niveles más bajos de nutrientes, es porque se cultivaron en una región con suelos con niveles de pH por encima de ese rango que no permitió la asimilación de micronutrientes de forma adecuada por el cultivo.

Para Zn, las concentraciones variaron de 6.74 a 52.57 ppm (**Cuadro 2**), las variedades sobresalientes en Zn fueron: Pelón Rojo (63) de Teapa, Tabasco [52.58 ppm], Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua [52.12 ppm], Bayo (146) de Calera, Zacatecas [48.19 ppm], Tzamá (61) de Dzutoh, Yucatán [43.15 ppm], X-Pelón (57) de Dzutoh, Yucatán [41.34 ppm], Frijol silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua [40.47 ppm], Negro Ix Pelón (53) de Dzutoh, Yucatán [39.52 ppm], Negro (81) de Mapastepec, Chiapas [36.44 ppm], Frijol Mejenives (54) de Dzutoh, Yucatán [36.17 ppm] y Bordales (96) de Guachochi, Chihuahua [36.03 ppm]. Acosta-Gallegos et al. (2016) reportan valores de concentración de Zinc de 27.1 – 41.3 ppm. Por lo tanto, se consideran superiores los valores encontrados en nuestro estudio (6.74 a 52.57 ppm), lo cual nos permite un mayor aporte de Zn en la ingesta diaria recomendada a los consumidores. Por otro lado,

la USDA (2018) reporta valores de 2.28 mg/100 g para la variedad de Frijol Pinto. En nuestro caso, la variedad Pelón Rojo (63) de Cuautla, Morelos la más sobresaliente en Zn aporta 5.25 mg/100 g, por lo que aporta un 57% respectivamente más de Zn en comparación a las variedades Frijol Pinto de Estados Unidos.

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 (136.42 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 encontrados por nuestro grupo de investigación.

En relación al contenido de N y Proteína (**Cuadro 2**), indicar que en el caso del N, varió de 2.81 a 4.77%, en cuanto a la proteína osciló de 17.48 a 29.79% destacando las variedades de frijol: Frijol silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua [29.79%], X-Pelón (57) de Dzutoh, Yucatán [29.37%], Frijol Mejenives (54) de Dzutoh, Yucatán [29.08%], Higuera azufrado (67) de Culiacán, Sinaloa [28.86%], Pelón Rojo (63) de Teapa, Tabasco [28.72%], Negro Guaca (84) de Tuxtepec, Oaxaca [28.13%], Escumite o Tepari (80) de Mapastepec, Chiapas [27.97%], Pinto Saltillo (10) de INIFAP Durango [27.52%], Negro (27) de Tuxtepec, Oaxaca [27.44%], y Peruano (100) de Cuautla, Morelos [27.19%].

Estos resultados fueron similares a los resultados de Guzmán-Maldonado et al. (2000) que reportaron un contenido de 22 a 33% de proteína total. Por otro lado, Pérez-Herrera et al. (2002) reportaron 23.5% de proteína total en promedio para frijol mexicano. Acosta-Gallegos

et al. (2016) reportan valores de concentración de Proteína de 15.0 – 26.35%. Por lo tanto, se consideran superiores los valores encontrados en nuestro estudio (17.48 a 29.79%), lo cual nos permite un mayor aporte de Proteína en la ingesta diaria recomendada a los consumidores. Por otro lado, la USDA (2018) reporta valores de 21.42 g/100 g para la variedad de Frijol Pinto y valores de 22.0 g/100 g para el Frijol Negro. En nuestro caso, la variedad Frijol silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua la más sobresaliente en Proteína aporta 29.79 g/100 g, por lo que aporta un 28% y 26.1% respectivamente más de Proteína en comparación a las variedades Frijol Pinto y Negro de Estados Unidos. La variación en el contenido mineral entre las diferentes variedades analizadas en la presente investigación se puede atribuir al genotipo y al entorno en el que se produjeron, ya que estos factores tienen una gran influencia en el

contenido nutricional del frijol común (Silva et al., 2012).

#### *Análisis de Conglomerados*

En análisis de conglomerados (**Cuadro 3**), se realizó en base al análisis nutricional y contenido de proteína, obteniendo como resultado cuatro agrupaciones en base a sus similitudes, de los cuales se seleccionaron los conglomerados 2 y 3 debido a que las variedades que los conformaban presentaron los valores más altos para Proteína, Hierro y Zinc. Se obtuvieron un total de 23 variedades sobresalientes (**Cuadro 4**). Se puede observar una gran diversidad del grupo sobresaliente, donde se encuentran variedades de diferentes regiones del país y diferentes formas, tamaños y colores del grano de frijol.

**Cuadro 3 • Análisis de Conglomerados en las 155 variedades de frijol recolectadas en México**

#### **Centros de los conglomerados finales**

	Conglomerado			
	1	2	3	4
Proteína	23.12	21.57	22.70	23.44
Fe	40.1836	80.6575	108.2624	55.9607
Zn	23.3073	30.4477	28.2371	26.0943
P	.1501	.1623	.2040	.1384
K	1.2201	1.4897	1.2998	1.0256
N	3.6984	3.4517	3.6322	3.7501
Mg	.1416	.1447	.1520	.1234
Ca	.2526	.2313	.2235	.3064
Cu	9.0582	7.3441	6.9426	9.0195
Mn	13.6224	16.0889	15.8479	17.6223
Ni	6.0016	3.8342	4.1155	11.8168
Na	.0103	.0055	.0049	.0140

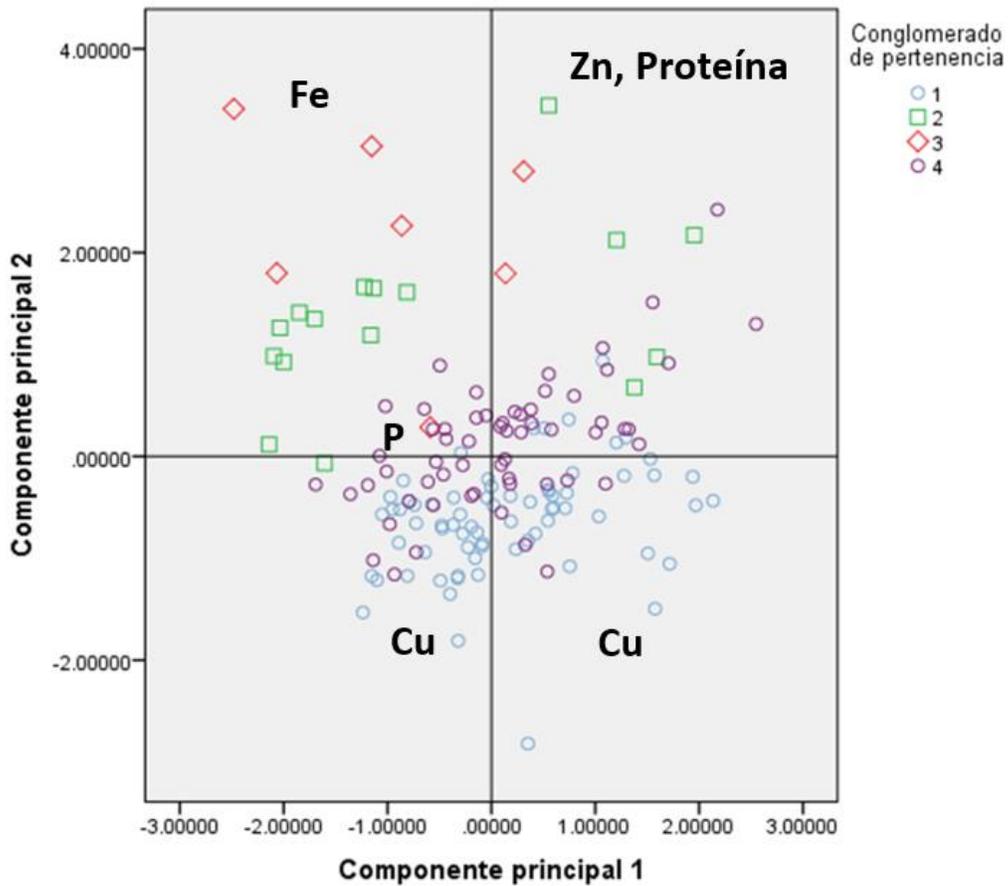
**Cuadro 4 •** Número de casos en cada conglomerado

Número de casos en cada conglomerado		
	1	71.000
Conglomerado	2	16.000
	3	7.000
	4	60.000
Válidos		154.000
Perdidos		3.000

las 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 Proteína y Zinc, a su vez el Cuadrante IV (superior-izquierda) se agruparon variedades con altas concentraciones de Hierro. Por último, en los Cuadrantes II y III (inferior-derecha e inferior-izquierda) se encontraron aquellas variedades con un alto contenido de Fósforo y Cobre. En el **Cuadro 6** se presentan las variedades más sobresalientes en Proteínas, Hierro y Zinc.

Por otro lado, el análisis de componentes principales tuvo información de 5 parámetros que influyeron: proteína, hierro, zinc, fósforo y cobre (**Cuadro 5**). La distribución espacial de

**Cuadro 5 •** Análisis de componentes principales en 155 variedades de frijol en México



**Cuadro 6 • Variedades de frijol seleccionadas por medio de análisis de conglomerados**

<b>No. Variedad</b>	<b>Nombre de la Variedad</b>	<b>Localidad</b>	<b>Hierro</b>	<b>Zinc</b>	<b>Proteína</b>
97	Pinto Saltillo	Namiquipa, Chihuahua	103.75	28.09	17.77
100	Peruano	Cuautla, Morelos	101.40	35.78	27.19
104	Negro	Cuautla, Morelos	113.44	34.39	18.82
154	Peruano	Calera, Zacatecas	105.29	27.20	25.01
98	Sangre de Toro	Cuautla, Morelos	89.22	32.97	18.65
99	Negro	Dzutoh, Yucatán	87.72	30.85	21.37
101	Flor de Mayo	Cuautla, Morelos	91.06	24.82	24.07
82	Frijol Silvestre	Cuauhtémoc, Chihuahua	75.15	40.47	29.79
150	Flor de Junio	Calera, Zacatecas	90.96	27.23	19.2
142	Pinto Centauro	Cusihuirachi, Chihuahua	86.96	26.78	19.5
105	Patol	Canatlán, Durango	79.94	22.85	19.72
147	Frijola	Calera, Zacatecas	97.76	28.52	24.29
103	Pinto	Cuautla, Morelos	136.42	31.81	18.82
153	Negro	Calera, Zacatecas	84.58	23.11	20.14
23	Ojo de Cabra	S.F. Conchos, Chihuahua	80.56	52.12	24.86

155	Pinto Saltillo	Calera, Zacatecas	62.48	25.96	25.78
81	Negro	Mapastepec, Chiapas	66.87	36.44	24.61
146	Bayo	Calera, Zacatecas	76.48	48.18	22.1
134	Negro Michigan	Zoachila, Oaxaca	67.43	25.85	22.46
84	Negro Guaca	Tuxtepec, Oaxaca	66.55	27.53	28.13
46	Negro	Conkal, Yucatán	64.20	29.20	22.36
49	Blanco Pelón	Moul, Yucatán	60.38	28.66	22.08
127	Sangre de Toro	Villa Alta, Oaxaca	62.50	30.90	24.82

**Figura 1** • 23 variedades de frijol sobresalientes en Proteína, Hierro y Zinc para incluirlas en un programa de biofortificación con micronutrientes en México

### 23 Variedades Sobresalientes para incluirlas en un programa de Biofortificación



## 23 Variedades Sobresalientes (Continuación.....)

**Flor de Junio (150)**



Calera, Zacatecas

**Pinto Centauro (142)**



Cusihuirachi, Chihuahua

**Negro (153)**



Calera, Zacatecas

**Patol (105)**



Canatlán, Durango

**Frijola (147)**



Calera, Zacatecas

**Pinto (103)**



Cuatla, Morelos

**Ojo de Cabra (23)**



S.F. Conchos, Chihuahua

**Negro (81)**



Mapastepec, Chiapas

**Bayo (146)**



Calera, Zacatecas

**Negro Michigan (134)**



Zoachila, Oaxaca

**Negro Guaca (84)**



Tuxtepec, Oaxaca

**Negro (46)**



Conkal, Yucatán

**Blanco Pelón (49)**



Motul, Yucatán

**Sangre de Toro (127)**



Villa Alta, Oaxaca

**Pinto Saltillo (155)**



Calera, Zacatecas

## 9.5 CONCLUSIONES

**S**e encontró una gran variabilidad genética en las variedades de frijol estudiadas. El análisis de conglomerados arrojó 23 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc y proteína. El frijol es una excelente fuente de proteínas, Hierro y Zinc para la población Mexicana. El frijol es un buen vehículo para la biofortificación de Hierro, Zinc y Proteínas y pueden ayudar a combatir la desnutrición de micronutrientes en México. Estas 23 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. La biodiversidad en frijol, es un recurso nacional que se tiene que cuidar ya que es clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México.

## 9.6 AGRADECIMIENTOS

**A**l Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT – México) por el apoyo otorgado a través de la Convocatoria de Atención a Problemas Nacionales: Proyecto 1529 “Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México”.

## 9.7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Santos EA, Gómez-Aldapa CA. 2010.** Evaluación de las características fisicoquímicas en las especies de frijol *Phaseolus vulgaris* de las variedades: Pinto Saltillo, Bayo Victoria y Negro San Luis. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Ed. Especial, 9-2010.
- Bernal, A.; Hernández, A.; Mesa, M.; Rodríguez, O.; González, P.J.; Reyes, R.** Characteristics of soil and its limiting factors of regional Murgas, Havana province. *Cult. Trop.* 2015, 36, 30–40.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015.** FAOSTAT Agriculture Data. <http://www.fao.org>.
- Statistics (FAOSTAT).** <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>  
Fecha de consulta: Junio 26, 2017.
- Guzman-Maldonado SH, Acosta Gallegos JA, Álvarez-Muñoz MA, García-Delgado S, Loarca-Piña G. (2002).** Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México* 28(2): 159-173.
- 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. *CyTA–Journal of Food* , 8, 7-14.
- Suárez-Martínez SE, Ferriz-Martínez RA, Campos-Vega R, Elton-Puente JE, de la Torre Carbot K, García-Gasca T. 2016.** Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA–Journal of Food* 14(1): 131-137.
- Sánchez E, Muñoz E, Sida-Arreola JP, 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.

**Rettig M, Ah-Hen K. 2014.** El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agrosur 42 (2): 39-48.

**USDA. 2018.** 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=&qq=&qn=&q=&ing=> (Consulta septiembre 25, 2018).

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



## **Variedades sobresalientes del proyecto**

**“Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México”**

# 10

10.1	23 Variedades de frijol sobresalientes desde el punto de vista mineral	181
10.2	21 Variedades de frijol sobresalientes en base a sus propiedades fisicoquímicas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	185

**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.

**A** continuación se presentan las 23 variedades de frijol sobresalientes desde el punto de vista mineral (Hierro, Zinc y Proteína) para implementarlas en un programa de Biofortificación con Micronutrientes en frijol.

Pinto Saltillo (97)  
Namiquipa, Chihuahua



Peruano (100)  
Cuautla, Morelos



Negro (104)  
Cuautla, Morelos



Peruano (154)  
Calera, Zacatecas



Sangre de Toro (98)  
Cuautla, Morelos



Negro (99)  
Dzutoh, Yucatán



Flor de Junio (150)  
Calera, Zacatecas



Flor de Mayo (101)  
Cuautla, Morelos



Pinto Centauro (142)  
Cusihiuriachi, Chihuahua



Frijol Silvestres (82)  
Cuauhtémoc, Chihuahua



Negro (153)  
Calera, Zacatecas



Patol (105)  
Canatlán, Durango



Ojo de Cabra (23)  
S.F. Conchos, Chihuahua



Frijola (147)  
Calera, Zacatecas



Negro (81)  
Mapastepec, Chiapas



Pinto (103)  
Cauatla, Morelos



Bayo (146)  
Calera, Zacatecas



Negro Michigan (134)  
Zoachila, Oaxaca



Blanco Pelón (49)  
Motul, Yucatán



Negro Guaca (84)  
Tuxtepec, Oaxaca



Sangre de Toro (127)  
Villa Alta, Oaxaca



Negro (46)  
Conkal, Yucatán



Pinto Saltillo (155)  
Calera, Zacatecas



## 10.2 21 VARIEDADES DE FRIJOL SOBRESALIENTES EN BASE A SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, COMPUESTOS BIACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

**A** continuación se presentan las 21 variedades de frijol sobresalientes en base a sus propiedades fisicoquímicas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante para implementarlas en un programa de Biofortificación en frijol.

Flor de Mayo media oreja (6)  
INIFAP, Durango



Pinto Saltillo (10)  
INIFAP, Durango



Negro criollo (18)  
Tulancingo, Oaxaca



Pinto americano (20)  
S.F. Conchos, Chihuahua



Pelón oscuro (43)  
Teapa, Tabasco



Frijol Mejenives (54)  
Dzutoh, Yucatán



Higura Azufrado (67)  
Culiacán, Sinaloa



X- Pelón (57)  
Dzutoh, Yucatán



Azufrado (73)  
Guadalajara, Jalisco



Pelón Rojo (63)  
Teapa, Tabasco



Alubia (74)  
Guadalajara, Jalisco



Frijol Silvestre (82)  
Cuahtémoc, Chihuahua



Ayocote Amarillo (90)  
Atlixco, Puebla



Negro Guaca (84)  
Tuxtepec, Oaxaca



Alubia (92)  
Atlixco, Puebla



Negro (87)  
Tuxtepec, Oaxaca



Peruano (100)  
Cuautla, Morelos



Flor de Mayo (101)  
Cuautla, Morelos



Frijolón Negro (133)  
Ocotlán, Oaxaca



Frijolón amarillo (114)  
Nochixtlán, Oaxaca



Frijolon 1 (138)  
Centro, Oaxaca



# 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 las diferentes variedades de frijol recolectadas en México.	190
Resumen de perfiles de aminoácidos y polifenoles	196
Perfil de aminoácidos	203
Perfil de polifenoles	286

# Anexos

10 Cuadro 1 • Concentración de micronutrientes en las diferentes variedades de frijol recolectadas en México.

Variedad/ Número	Nutrientes									
	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)			
	N	P	K	Mg	Ca	Prot	Cu	Mn	Fe	Zn
Pinto Saltillo/1	3.52	0.15	1.27	0.15	0.13	22.04	6.38	16.56	50.65	18.19
Pinto Saltillo/2	3.61	0.15	1.18	0.14	0.09	22.58	4.96	18.51	47.64	21.20
Pinto Saltillo/3	3.03	0.40	1.36	0.20	0.14	18.99	16.83	26.14	53.11	19.47
Negro 8025/4	4.17	0.46	1.49	0.18	0.13	26.10	4.02	18.06	50.44	21.56
Pinto Bravo/5	4.01	0.34	1.38	0.17	0.10	25.09	5.76	15.94	38.01	19.25
Flor de Mayo/6	4.19	0.43	1.50	0.20	0.15	26.23	14.75	13.61	43.94	17.19
Pinto Libertad/7	4.14	0.22	1.38	0.15	0.12	25.89	4.95	14.85	38.68	19.86
Pinto Centauro/8	3.45	0.34	1.49	0.16	0.15	21.58	4.75	22.93	44.08	18.99
Negro San Luis/9	3.90	0.14	1.31	0.16	0.12	24.38	5.45	12.17	41.87	17.39
Pinto Saltillo/10	4.40	0.17	1.25	0.14	0.13	27.52	6.46	16.63	39.87	21.19
Pinto Centenario/11	4.03	0.17	1.36	0.16	0.14	25.24	6.79	14.82	36.99	13.89
Pinto Coloso/12	4.13	0.16	1.39	0.15	0.11	25.86	10.35	14.89	38.25	17.80
Higuera Azufrado/13	4.11	0.18	1.42	0.16	0.13	25.69	11.30	16.37	58.49	28.07
Moyocoa/14	4.31	0.19	1.34	0.15	0.11	26.99	11.70	11.61	47.58	27.63
Flor de Mayo/15	3.15	0.21	1.27	0.13	0.13	19.69	7.81	13.02	40.42	22.99
Rojo Enredador/16	3.30	0.16	1.38	0.15	0.13	20.67	7.84	12.99	23.83	23.24
Cuarenteno Bayo/17	3.15	0.06	1.35	0.16	0.13	19.71	10.25	15.39	43.47	26.88
Negro Criollo/18	4.21	0.15	1.31	0.15	0.15	26.37	13.26	12.90	38.04	31.83
Negro Bola/19	3.30	0.09	1.18	0.15	0.14	20.64	8.13	15.76	49.92	25.21
Pinto Americano/20	4.11	0.13	1.14	0.13	0.17	25.72	7.19	14.26	32.19	26.20
Pinto Saltillo/21	3.29	0.13	1.28	0.14	0.13	20.57	20.28	23.57	42.92	24.58
Ojo de Cabra/22	4.20	0.09	1.23	0.16	0.21	26.26	9.02	13.22	34.42	34.47
Ojo de Cabra/23	3.97	0.21	1.72	0.19	0.25	24.86	5.14	13.36	80.56	52.12
Ojo de Cabra/24	3.42	0.17	1.40	0.14	0.12	21.39	5.18	14.91	41.12	21.02
Pinto Saltillo/25	2.96	0.01	1.28	0.15	0.19	18.53	8.84	14.42	41.07	19.55
Pinto Bravo/26	3.34	0.08	1.27	0.14	0.16	20.89	10.66	14.84	41.47	21.78
Pinto Canario/27	3.40	0.08	1.42	0.14	0.17	21.26	8.06	14.98	37.77	24.60
Pinto Saltillo/28	3.40	0.14	1.42	0.16	0.18	21.26	9.27	13.89	36.67	18.99
Ojo de Cabra/29	3.18	0.05	1.28	0.12	0.14	19.91	10.65	13.92	37.03	20.17
Negro V-6/30A	3.50	0.08	1.37	0.14	0.20	21.89	8.58	17.63	56.63	23.09
Negro V-7/30B	3.44	0.14	1.31	0.16	0.19	21.56	9.53	20.26	67.29	23.64
Frijol Strike/31	3.72	0.10	1.39	0.19	0.20	23.26	10.23	14.15	38.86	22.93
Pinto Saltillo/32	3.12	0.13	1.35	0.16	0.16	19.52	11.45	16.15	46.66	29.71
Pinto Saltillo/33	3.12	0.03	1.24	0.18	0.15	19.55	7.38	16.80	55.77	22.93
Pinto Saltillo/34	3.62	0.01	1.25	0.14	0.18	22.65	9.47	11.99	33.87	13.08
Pinto Saltillo/35	3.52	0.11	1.22	0.17	0.15	22.04	9.42	13.15	51.05	23.45
Pinto Saltillo/36	4.11	0.10	1.29	0.16	0.21	25.72	11.83	10.05	45.31	28.36
Negro Bola/37	3.42	0.17	1.30	0.17	0.17	21.38	9.16	13.13	50.19	19.07

Variedad/ Número	Nutrientes									
	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)			
	N	P	K	Mg	Ca	Prot	Cu	Mn	Fe	Zn
Negro Bola/38	3.14	0.12	1.19	0.17	0.22	19.66	8.87	18.26	52.47	22.78
Pinto Saltillo/39	3.71	0.09	1.17	0.15	0.18	23.23	8.36	10.14	38.90	20.39
Negro Orgánico/40	2.96	0.05	1.24	0.16	0.17	18.54	9.39	13.68	44.46	14.31
Negro Jamapa/41	3.52	0.19	1.34	0.17	0.21	22.05	9.17	14.93	39.26	21.12
Bayo/42	4.04	0.18	1.21	0.16	0.18	25.25	11.16	12.76	39.98	24.24
Pelón Oscuro/43	4.28	0.15	1.12	0.17	0.18	26.75	8.28	9.03	34.98	31.87
Pashate/44	3.84	0.07	1.21	0.15	0.16	24.00	9.23	16.62	38.18	20.90
Blanco Pelón/45	3.55	0.17	1.28	0.20	0.20	22.24	11.02	10.49	52.36	21.53
Negro/46	3.57	0.15	1.15	0.15	0.22	22.36	8.64	12.21	64.20	29.20
Rosa Bayo/47	3.72	0.15	1.21	0.17	0.17	23.29	9.34	11.90	53.84	28.63
Rojo/48	4.16	0.18	1.18	0.12	0.20	26.01	7.88	10.21	38.23	18.98
Blanco Pelón/49	3.53	0.11	1.04	0.20	0.23	22.08	10.66	10.09	60.37	28.66
Rosa Bayo/50	3.49	0.12	1.21	0.17	0.17	21.83	9.67	12.06	44.17	21.83
Negro Jamapa/51	3.73	0.15	1.24	0.19	0.25	23.37	10.11	13.61	41.54	27.38
Bayo/52	3.44	0.12	1.18	0.20	0.19	21.56	11.51	9.87	44.07	27.73
Negro Ix Pelón/53	3.89	0.19	1.25	0.17	0.18	24.34	9.23	13.98	46.20	39.52
Mejenives/54	4.65	0.07	1.10	0.16	0.19	29.08	8.84	16.96	48.42	36.17
Rojo Pentulillo/55	3.99	0.03	1.08	0.16	0.16	24.94	7.63	9.96	43.37	31.98
Hibes Pinto/56	4.11	0.10	1.27	0.14	0.19	25.71	7.68	12.90	42.86	32.03
X-Pelón/57	4.69	0.14	1.03	0.20	0.19	29.37	12.19	16.37	53.76	41.33
Ojo Jabalí/58	3.97	0.05	1.05	0.15	0.16	24.82	7.84	12.05	47.55	30.33
Negro Jamapa/59	3.73	0.05	1.16	0.16	0.27	23.33	9.15	11.69	52.27	32.98
Oxo/60	1.98	0.12	0.79	0.17	0.22	12.40	7.25	14.28	33.75	26.50
Tzamá/61	4.15	0.13	1.13	0.16	0.24	25.96	10.32	11.79	56.67	43.14
Petulillo lenteja/62	3.45	0.05	1.26	0.12	0.23	21.58	10.54	10.78	27.76	31.93
Pelón Rojo/63	4.59	0.10	0.89	0.15	0.17	28.72	8.25	14.78	53.09	52.57
Pinto/64	3.23	0.15	1.29	0.17	0.14	20.19	8.37	16.08	48.62	18.11
Pinto/65	3.22	0.13	1.30	0.17	0.16	20.17	8.28	11.78	49.21	22.61
Pinto/66	4.26	0.19	1.32	0.16	0.14	26.64	12.75	10.64	48.91	26.32
Higuera Azufrado/67	4.61	0.19	1.37	0.16	0.12	28.86	10.17	14.42	59.39	23.62
Flor de Mayo/68	3.70	0.03	1.32	0.18	0.23	23.14	11.40	9.89	43.36	27.01
Pinto Oscuro/69	3.16	0.02	1.31	0.17	0.15	19.76	9.72	11.07	45.77	18.17
Negro/70	2.96	0.03	1.34	0.19	0.19	18.55	6.09	14.15	78.67	17.73
Bayo/71	2.96	0.12	1.26	0.15	0.18	18.52	7.74	13.05	37.09	19.45
Texano/72	3.19	0.07	1.23	0.17	0.17	19.95	8.26	18.09	51.47	20.06
Azufrado/73	3.98	0.09	1.48	0.17	0.14	24.91	8.44	9.96	61.60	26.63
Alubia/74	4.15	0.10	1.36	0.15	0.16	25.98	9.17	12.79	58.57	25.68
Peruano Bola/75	3.36	0.10	1.34	0.14	0.15	21.04	11.19	11.49	57.91	22.96
Flor de Junio/76	3.19	0.18	1.79	0.09	0.15	19.97	9.89	12.23	39.08	18.69
Peruano Higuera/77	4.02	0.17	1.45	0.09	0.12	25.13	13.60	11.85	55.76	29.44

Variedad/ Número	Nutrientes									
	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)			
	N	P	K	Mg	Ca	Prot	Cu	Mn	Fe	Zn
Negro/78	3.50	0.11	1.37	0.12	0.16	21.92	9.58	14.23	59.75	23.69
Chicharo/79	2.79	0.09	1.28	0.08	0.16	17.48	7.80	10.40	63.88	20.74
Escumite o Tepari/80	4.47	0.15	1.30	0.09	0.17	27.97	11.67	14.00	69.55	27.15
Negro/81	3.93	0.19	1.48	0.11	0.13	24.61	14.28	11.70	66.87	36.44
Ejotero Silvestre/82	4.76	0.18	1.52	0.09	0.20	29.79	9.92	10.19	75.15	40.47
Amarillo/83	4.92	0.19	1.41	0.13	0.16	30.80	12.09	11.98	45.41	28.36
Negro Guaca/84	4.50	0.20	1.32	0.13	0.16	28.13	9.38	12.12	66.54	27.53
Rojo Mayo/85	3.93	0.15	1.40	0.13	0.13	24.60	10.80	9.76	47.28	24.50
Blanco Bola/86	3.76	0.15	1.22	0.16	0.15	23.55	10.58	12.85	41.20	25.67
Negro/87	4.39	0.14	1.27	0.13	0.16	27.44	12.51	13.67	33.24	28.87
Mantequilla/88	3.98	0.14	1.44	0.12	0.12	24.91	10.56	7.07	48.77	26.01
Negro Michigan/89	3.60	0.15	1.19	0.15	0.15	22.56	10.88	10.31	33.79	29.60
Ayocote Amarillo/90	3.90	0.14	1.44	0.14	0.12	24.41	10.92	13.30	60.88	31.32
Amarillo Abolado/91	3.64	0.15	1.39	0.09	0.10	22.75	9.90	8.02	55.40	24.88
Alubia/92	3.93	0.15	0.99	0.11	0.09	24.6	7.94	6.95	44.18	22.54
Frijol cacahuete/93	3.62	0.19	1.45	0.08	0.11	22.68	9.46	10.04	59.04	27.28
Ayocote Oscuro/94	4.04	0.20	1.66	0.09	0.11	25.28	7.83	14.68	54.90	30.00
Jaracho/95	4.07	0.17	1.28	0.10	0.15	25.46	12.48	11.57	56.96	29.41
Bordales/96	3.25	0.20	1.53	0.11	0.12	20.37	6.09	14.75	51.21	36.03
Pinto/97	2.84	0.15	1.52	0.18	0.28	17.77	6.32	16.88	103.75	28.09
Sangre de Toro/98	2.98	0.18	1.81	0.19	0.22	18.65	7.71	13.27	89.22	32.97
Negro/99	3.41	0.17	1.73	0.22	0.33	21.37	7.28	10.65	87.72	30.85
Peruano/100	4.35	0.18	1.65	0.18	0.15	27.19	6.69	11.05	101.40	35.78
Flor de Mayo/101	3.85	0.17	1.66	0.17	0.21	24.07	3.95	10.54	91.06	24.82
Negro/102	3.61	0.19	1.60	0.20	0.27	22.62	6.09	9.03	99.76	31.85
Pinto/103	3.01	0.17	1.46	0.17	0.24	18.82	4.21	18.82	136.41	31.81
Negro/104	3.71	0.14	1.68	0.16	0.23	23.21	4.39	14.19	113.43	34.38
Patol/105	3.15	0.17	1.64	0.20	0.25	19.72	3.13	11.98	79.94	22.85
Flor de Mayo/106	3.48	0.16	0.58	0.07	0.31	21.77	5.90	10.85	44.69	21.18
Frijol Michigan/107	3.62	0.17	1.14	0.02	1.30	22.68	7.54	6.54	47.94	21.36
Bayo Blanco/108	3.55	0.22	1.86	0.07	0.13	22.21	6.77	12.94	46.16	20.19
Negro grueso/109	3.63	0.22	0.49	0.11	0.21	22.74	5.39	15.81	39.13	27.75
Pinto/110	3.53	0.19	0.53	0.12	0.36	22.07	8.00	12.75	37.48	22.66
Negro delgado/111	3.81	0.20	0.82	0.01	1.09	23.84	5.63	17.74	33.92	26.42
Bayo/112	3.59	0.19	1.51	0.04	0.15	22.46	5.01	15.90	29.01	19.69