



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra
División de Ingeniería Bioquímica

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Teapa, Tabasco a 06 de noviembre del 2020
Oficio N°: ITSS-DIBQ-307/2020
Asunto: El que se indica.

C. KARLA YESENIA VALENCIA NAVARRO.

Pasante de la carrera de Ingeniería Bioquímica.

Presente.

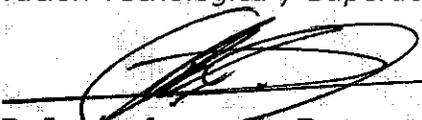
Por este medio le informo que de acuerdo a la modalidad de Titulación que ha seleccionado: Titulación Integral por la opción 09 Tesis Profesional, y en virtud de que la comisión revisora integrada por: M. en C. José Alfredo Jiménez Juárez, M. en C. Leticia Almeida López, M. en C. Fanny Adabel González Alejo, determinan que se cumple satisfactoriamente con las observaciones que en proceso de revisión se hizo a su trabajo recepcional titulado: **"Determinación del contenido mineral y propiedades fisicoquímicas de granos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad verdín biofortificado con hierro."** Esta usted autorizado (a) para reproducirlo y concluir los requisitos formales que establece el Lineamiento de Titulación de esta Institución.

Sin otro asunto que tratar, me despido de Usted con un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Innovación Tecnológica y Superación por Siempre


Q.C.B. Jesús Armando Romero González
Jefe de División de Ingeniería Bioquímica ITSS



c.c.p. Archivo.

Carretera Teapa-Tacotalpa km. 4.5, Pco. Javier Mina, Teapa, Tabasco

Tel. (932) 32 4 06 50, Ext. 131 e-

mail: regionsierra@itss.edu.mx | academia_bioquimica@itss.edu.mx

www.tecnm.mx | www.itss.edu.mx





INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE LA REGIÓN SIERRA

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE LA REGIÓN SIERRA.**



Determinación del contenido mineral y propiedades fisicoquímicas de granos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad verdín biofortificado con hierro.

Titulación Integral

Que para obtener el título de Ingeniero Bioquímico por:

Tesis

PRESENTA

Karla Yesenia Valencia Navarro.

DIRECTOR DE TESIS

M en C. José Alfredo Jiménez Juárez

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro

Teapa, Tabasco

Noviembre 2020.

AGRADECIMIENTOS.

Durante estos años, siempre soñé que un día escribiría los agradecimientos de mi trabajo de tesis profesional, lo que supondría que estaba prácticamente terminada. Ahora ese momento ha llegado.

Hoy una etapa de mi vida está a punto de llegar a su fin. Después de casi 4 años y medios, que durante noches de estudios, apoyo incondicional de mis seres queridos, he conseguido alcanzar una meta más en el largo camino que es la vida.

Por esto debo agradecer, principalmente a dios quien fue el que me acompaño en esta maravillosa etapa de mi vida, del cual fue quien me dio la oportunidad de cumplir este primer sueño y demostrarme tantas veces su existencia, dándome fuerzas para salir adelante de cada tropiezo. Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo.

Así mismo agradezco a mi madre Ofelia Navarro Martínez quien ha sido de igual manera la que me ha dado su apoyo incondicional la cual ha sido padre y madre, la que con esfuerzo y sacrificio me ha dado esta herencia, mami hermosa gracias por ayudarme a cumplir este sueño que sin ti no lo hubiese logrado de verdad no tengo palabras de cómo agradecerte este triunfo te amo mamá.

A mi segunda madre mi abuelita Nelly Martínez Rodríguez sabiendo que jamás existirá de igual manera la forma de agradecerle pues igual fue quien me cuidó desde pequeña y me aconsejó día a día para bien gracias abuela se que desde haya estas orgullosas de esta gran etapa de mi vida.

A Jaime Rodríguez Romero quien ha sido mi consejero dentro de esta larga etapa, que a pesar de no ser su hija biológica me ha tratado como si lo fuera, me ha brindado ese gran apoyo de poder ejercer este gran sueño y meta de mi vida de verdad no hay forma de cómo agradecerte.

A mi hermana Esmeralda porque a pesar de todo ha sido mi inspiración y aliento para llegar hasta aquí, para que así ella algún día siga estos mismos pasos.

A mi esposo David Tirado León amor gracias por siempre brindarme tu cariño, apoyo y aconsejarme en los momentos difíciles.

Al Dr. Efraín de la Cruz Lázaro. Por su confianza, apoyo y consejos para la realización de este trabajo.

Al M en C. José Alfredo Jiménez Juárez por su colaboración y apoyo para la realización de este trabajo y por los consejos que me brindó.

A los alumnos de servicio social y residencias, gracias por su compañerismo para la realización de este trabajo.

RESUMEN.

La biofortificación es el proceso por el cual se incrementa el contenido mineral de los cultivos. Las leguminosas son una fuente importante de alimentos en los países en desarrollo, dentro los cuales sobresale es el frijol como fuente importante de proteínas y minerales. Una de las alternativas planteadas para combatir las deficiencias de micronutrientes es la biofortificación de cultivos, alternativa que sirve para incrementar el contenido de nutrientes en los cultivos mediante técnicas agronómicas, mejoramiento tradicional o biotecnológicas. Uno de los cultivos en proceso de biofortificación es el frijol común, en el que se está trabajando para incrementar el contenido de hierro; debido a que es la leguminosa de mayor consumo directo en el mundo y fuente de minerales y proteínas.

En el presente estudio se determinó el contenido mineral y propiedades fisicoquímicas de granos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad verdín biofortificado con hierro, con diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro. Con dosis $0-25 \mu\text{M L}^{-1}$ y $0.25 \text{ g} -25 \mu\text{M L}^{-1}$ (Sulfato - Quelato de hierro) fueron lo que obtuvieron mayor concentración, seguido de las demás dosificaciones en comparación con la muestra testigo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro sobre el contenido mineral y las propiedades fisicoquímicas de granos de frijol variedad verdín.

Referente a las propiedades fisicoquímicas los tratamientos con sulfato y quelato de hierro en los granos de la variedad verdín su porcentaje de humedad, cenizas, proteínas, grasas y fibra se encuentra por debajo de la muestra testigo, aunque existe diferencia significativa estadísticamente, pero es mínima.

Finalmente no se observó asociación en contenido de mineral en la semilla, ya que las dosis $0-25$ (cero de sulfato y 25 g de quelato de hierro umL L^{-1}) presenta el mayor contenido de minerales referentes al testigos y demás tratamientos.

ÍNDICE

	Páginas
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. OBJETIVOS	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos específicos	6
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
5.1. Importancia del frijol	7
5.2. Origen del frijol	7
5.3. Morfología del frijol	8
5.4. Propiedades alimenticias del frijol	8
5.4.1. Contenido mineral del grano de frijol	8
5.4.2. Contenido de proteínas y de vitaminas	9
5.4.3. Contenido de carbohidratos y de fibras	10
5.4.4. Contenido antinutricional del frijol	10
5.5. El hierro	10
5.5.1. El hierro en el suelo	11
5.5.2. El hierro en la planta	11
5.6. Los quelatos y sulfatos	12
5.5. Biofortificación	12
VI. METODOLOGÍA	13
6.1. Materiales y Métodos	13
6.2. Materia Vegetal	13
6.2.1. Preparación de la muestra	14
6.2.2. Determinación de Fe, Zn, Mg, K y Ca	14
6.2.3. Determinación de fósforo (P)	14

6.2.4. Propiedades fisicoquímicas del frijol	14
6.2.5. Determinación de humedad	15
6.2.6. Determinación de cenizas	15
6.2.7. Determinación de proteína	15
6.2.8. Determinación de grasa	16
6.2.9. Determinación de fibra	16
6.2.10. Diseño experimental	17
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
7.1. Contenido de mineral del grano de frijol variedad verdín biofortificado.....	18
7.2. Calidad fisicoquímica de la semilla biofortificado	19
VIII. CONCLUSIÓN	22
IX. BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXOS	30

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Contenido de minerales en el grano de frijol.....	9
Cuadro 2. Contenido de vitaminas ($\text{mg}100\text{g}^{-1}$).....	9
Cuadro 3. Tratamientos con sulfato y quelato de hierro en los granos de frijol de la variedad verdín.....	13
Cuadro 4. Comparación de medias para las variables del contenido mineral del grano de frijol variedad verdín biofortificado con sulfato y quelato de hierro ($\text{mg}100\text{g}^{-1}$).....	18
Cuadro 5. Comparación de medias para las variables fisicoquímicas.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Recolección del frijol verdín.....	30
Figura 2. Secado del frijol verdín en la estufa a una temperatura de 70°C durante 24 horas	30
Figura 3. Muestra del frijol verdín secado en la estufa durante 24 horas.	30
Figura 4. Molienda de lo gránulos del frijol verdín.	30
Figura 5. Tamizado del frijol verdín	31
Figura 6. Tamizado.....	31
Figura 7. Determinación de humedad del frijol verdín	31
Figura 8. Determinación de humadad.	31
Figura 9. Soluciones para la lectura de la curva de calibración.....	32
Figura 10. Soluciones para la determinación de fósforo.....	32
Figura 11. Determinación de humedad del frijol verdín.	32
Figura 12. Determinación de humedad.	32
Figura 13. Pesado de los crisoles en la balanza analítica.	33
Figura 14. Pesado de los crisoles.....	33
Figura 15. Crisoles puestos a peso constante para la determinación de cenizas. ...	33
Figura 16. Crisoles a peso constante.	33
Figura 17. Determinación de cenizas	34
Figura 18. Reactivos para la determinación de proteína.	34
Figura 19. Determinación de proteína de la muestra de frijol verdín.	34
Figura 20. Destilación de la muestra para determinación de proteína.....	34
Figura 21. Cambio de vire de la destilación de proteína de frijol verdín.	35
Figura 22. Titulación de gastos en proteína.	35
Figura 23. Determinación de grasa de frijol verdín.	35
Figura 24. Determinación de la grasa del frijol verdín.	35
Figura 25. Determinación de fibra cruda de la muestra de frijol verdín.	36
Figura 26. Filtración de la muestra para determinación de fibra cruda.....	36

I. INTRODUCCIÓN.

La mayoría de las leguminosas son plantas locales utilizadas como fuente importante de alimentos y son el segundo cultivo después de los cereales que se utiliza como alimento 7 de la agricultura mundial (Akillioglu y Karakaya, 2010). La inclusión de los granos en la dieta diaria tiene muchos efectos fisiológicos benéficos sobre el control y la prevención de diversas enfermedades metabólicas como diabetes mellitus, cardiopatía coronaria y cáncer de colon (Romano *et al.*, 2015). Particularmente, el frijol común se ha considerado como agente hipolipidémico debido a sus propiedades para reducir el colesterol, la reducción de la ingesta de alimentos y la inhibición de la absorción intestinal de lípidos (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2015).

Las leguminosas son un componente importante de los cultivos alimentarios y agrícolas del mundo (Bellucci *et al.*, 2014). Existen más de 1300 especies de leguminosas, de las cuales solo 20 son consumidas por el hombre. Entre estas se incluyen el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el cual es una fuente importante de proteína, fibra dietética, almidón y minerales para una gran parte de la población mundial, principalmente en países en vías de desarrollo (Ovando-Martínez *et al.*, 2011). Además, el frijol contiene una considerable cantidad de tiamina, riboflavina y niacina, y es considerado como una fuente potencial de calcio (Nyombaire *et al.*, 2011).

El grano de frijol es una fuente de carbohidratos, proteínas, lípidos, vitamina B, fibra, minerales y nutraceuticos con alta actividad antioxidante, como flavonoides, antocianinas, polifenoles, taninos, entre otros. Estos compuestos funcionales se han asociado con la prevención de enfermedades crónico degenerativas como diabetes, obesidad, enfermedades cardiovasculares, cáncer de colon, mama, intestino y ovario, con acciones antimutagénicas, vasos dilatadoras, antiinflamatorias y anticancerígenas (Reynoso-Camacho *et al.*, 2007; Oomah *et al.*, 2010; Ezeagu *et al.*, 2010; Xu y Chang, 2012; García la Fuente *et al.*, 2014; Moreno-Jiménez *et al.*, 2014; Romano *et al.*, 2015; Sancho *et al.*, 2015).

La deficiencia de micronutrientes es un problema de salud pública en los países en desarrollo; siendo la deficiencia de hierro la carencia nutricional más frecuente, que afecta a una población de 2,000 millones de personas (Vasconcelos *et al.*, 2017). La deficiencia de este mineral disminuye el desarrollo cognitivo y físico, además de afectar el rendimiento laboral e incrementar el riesgo de muerte perinatal en las mujeres embarazadas (Quintero *et al.*, 2008; Stevens *et al.*, 2013).

Existe una gran variabilidad en las semillas de frijol, el color y el tamaño de la semilla son las dos características de calidad más importantes para los consumidores. El color de la semilla está determinado por la presencia y concentración de flavonoides incluyendo antocianinas y taninos condensados (proantocianidinas) (Aparicio-Fernández *et al.*, 2005). En las semillas de frijol el grupo de mayor distribución de flavonoides son las antocianinas y sólo se han reportado en las semillas de frijol de color negro y azul-violeta (Aparicio-Fernández *et al.*, 2005).

En México el frijol es la leguminosa tradicional de mayor consumo, con una producción de 2,015, 707 ton en una superficie de 245,933 ha (SIAP 2018). Su importancia también se refleja en un consumo per cápita anual de 18 kg, lo que representan el 36% de la ingesta diaria de proteínas en las comunidades rurales (Lara, 2015).

Una de las alternativas planteadas para combatir las deficiencias de micronutrientes es la biofortificación de cultivos, alternativa que sirve para incrementar el contenido de nutrientes en los cultivos mediante técnicas agronómicas, mejoramiento tradicional o biotecnológicas (Johns y Eyzaguirre, 2007). Uno de los cultivos en proceso de biofortificación es el frijol común, en el que se está trabajando para incrementar el contenido de hierro; debido a que es la leguminosa de mayor consumo directo en el mundo y fuente de minerales y proteínas (Blair y Astudillo, 2009).

En el caso de México una variedad tolerante a la sequía terminal que tiene alto potencial de rendimiento y amplia adaptación a las diferentes áreas productoras

de frijol es la variedad Verdín (Tosquy *et al.*, 2018). La cual es precoz con plantas hábito de crecimiento indeterminado, arbustivas y erectas tipo II, con guías medianas; sus granos son pequeños de color negro opaco con alto potencial de rendimiento (Tosquy *et al.*, 2014, 2016). Debido a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro sobre el contenido mineral y las propiedades fisicoquímicas de granos de frijol variedad verdín.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las alternativas planteadas para combatir las deficiencias de micronutrientes, es la biofortificación de cultivos frijol. Alternativa que sirve para incrementar el contenido de nutrientes en los cultivos mediante técnicas agronómicas, mejoramiento tradicional o biotecnológicas, para incrementar el contenido de hierro; debido a que es la leguminosa de mayor consumo directo en el mundo y fuente de minerales y proteínas (Blair y Astudillo, 2009). Por lo que el objetivo del trabajo de investigación es estudiar las propiedades fisicoquímicas y la calidad nutricional con el propósito de conocer sus beneficios nutricionales para el consumidor el efecto de diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro sobre las variables agronómicas, contenido mineral y la actividad antioxidante del frijol variedad verdín.

III. JUSTIFICACIÓN

La deficiencia de micronutrientes o hambre oculta afecta a millones de personas en todo el mundo. Micronutrientes como las vitaminas y minerales y nutrientes como proteínas, fibra, grasa etc., son requeridos diarios unas en pequeñas y otras en grandes proporciones para los diferentes procesos esenciales para una buena salud y una baja ingesta de estos puede producir retrasos en el crecimiento de los niños y afectar a los adultos. Para México el frijol es uno de los principales alimentos que existe en la dieta básica ya que proporciona una gran cantidad de nutrientes y micronutrientes. Pero estudios previos se ha analizado la calidad nutricional del frijol para conocer sus componentes nutricionales, sin embargo, en la actualidad estos estudios de calidad nutricional del frijol se enfocan a mejorar la calidad nutricional a través del proceso de biofortificación con fines de mejorar la nutrición y salud de los consumidores.

La biofortificación de alimentos es una estrategia útil en la prevención y manejo de las deficiencias de micronutrientes, especialmente cuando se trata de alimentos con alto consumo en la comunidad, como es el caso de las leguminosas entre las que se destaca el frijol común (*Phaseolus vulgaris L*), que constituye la mayor fuente vegetal de hierro, zinc y proteínas en muchos países del mundo, incluyendo los de los continentes de África y Latinoamérica. La biofortificación de cultivos es una estrategia para disminuir la deficiencia por micronutrientes a través de los alimentos, de forma sostenible.

Consiste en aplicar técnicas de fitomejoramiento que aprovechan la variabilidad nutricional existente entre las diferentes variedades de especies cultivadas para incrementar su contenido y biodisponibilidad (Nestel *et al.*, 2006.) Así mismo mejora el estado nutricional de las personas que los consumen y es una estrategia sostenible que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional. Por lo que el objetivo del trabajo de investigación es determinar el efecto de diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro sobre el contenido mineral y las propiedades fisicoquímicas de granos de frijol variedad verdín.

IV. OBJETIVOS.

4.1. Objetivo general.

- Determinar el efecto de diferentes dosis de sulfato y quelato de hierro sobre el contenido mineral y las propiedades fisicoquímicas de granos de frijol variedad verdín.

4.2. Objetivos específicos.

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas en granos de frijol de la variedad verdín biofortificado.
- Determinar los micronutrientes de Fe, Zn, P, Mg, K, Ca, en granos de frijol de la variedad verdín biofortificado.
- Comparar los resultados de los minerales y propiedades fisicoquímicas obtenidos en granos de frijol de acuerdo a la dosis de sulfato y quelato de hierro utilizados.

V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

5.1. Importancia del frijol.

Frijol (*Phaseolus vulgaris*), pertenece a la familia de las leguminosas o Fabáceas, de las que provienen plantas comestibles como garbanzo, chicharos, lentejas, cacahuates y jícamas, entre otras. Es una planta originaria de América que se cultiva en todo el mundo. Existen muchas variedades y de ellas se consumen tanto las vainas (judías verdes o chauchas) como los granos secos.

Dentro de las leguminosas comestibles el frijol común es una de las más importantes, debido a su amplia distribución en los cinco continentes, además es un complemento nutricional indispensable en la dieta (Debouck y Hidalgo, 1985).

Se cultiva en las zonas tropicales y templadas del mundo (Lépiz *et al.*, 2010). Siendo las regiones con mayor superficie cultivada América Latina y África Subsahariana, donde se producen tres cuartas partes de la producción mundial (Bellucci *et al.*, 2014).

5.2. Origen del frijol.

La especie (*Phaseolus vulgaris*) o frijol común es originaria del área México-Guatemala ya que en estos países se encuentra una gran diversidad de variedades tanto en forma silvestre como en forma de cultivo. Dentro del grupo de las leguminosas que poseen semillas comestibles, el frijol común corresponde a una de las más importantes. Actualmente se encuentra distribuido en los cinco continentes y es un componente esencial de la dieta, especialmente en Centroamérica y Sudamérica (Castiñeiras, *et al.*, 1992).

México se ha reconocido como el más probable centro de su origen, o al menos, como el centro primario de diversificación. El cultivo del frijol se considera uno de los más antiguos. Algunos de los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica indican que se conocía hace algunos 5000 años antes de Cristo. Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las

culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao. (Fernández, *et al.*, 2010).

5.3. Morfología del frijol.

El frijol común tiene cotiledones epigeos, foliolos codiformes, y vainas de tamaño mediano con entre 10 y 20 granos (Meza-Vázquez *et al.*, 2015). El ciclo biológico se ha dividido en dos fases principales sucesivas: fase vegetativa y fase reproductiva, la fase vegetativa inicia con la germinación de la semilla y termina con la aparición de los primeros botones florales, se divide en cinco etapas: germinación (V0), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja trifoliada (V3) y tercera hoja trifoliada (V4). La fase reproductiva inicia con la aparición de los botones florales, hasta la madurez fisiológica de la semilla y consta de cinco etapas: prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y madurez fisiológica (R9) (Fernández *et al.*, 1991).

Los cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren durante el ciclo biológico de una planta, sirven de base para definir fases o etapas de desarrollo. El referirse a una etapa de desarrollo para efectuar una práctica agronómica o para aplicar un tratamiento al cultivo, es más adecuado que referirse a los días transcurridos después de la siembra (Fehr *et al.*, 1971; Fernández *et al.*, 1991; Meier *et al.*, 2009).

5.4. Propiedades alimenticias del frijol.

5.4.1. Contenido mineral del grano de frijol.

El frijol contiene minerales, proteína, carbohidratos y compuestos bioactivos. El contenido mineral del frijol se presenta en el Cuadro 1. En lo que respecta al hierro se ha encontrado que su contenido oscila entre 34 y 84.6 ppm, lo que indica la gran variabilidad que hay en las diferentes variedades de frijol en el contenido de este mineral.

Cuadro 1. Contenido de minerales en el grano de frijol.

Contenido mineral	Mínimo	Máximo
P (%)	0.33	0.62
K (%)	1.24	2.07
Mg (%)	0.15	0.25
Ca (%)	0.07	0.33
Fe (ppm)	34.00	84.60
+Zn (ppm)	1.40	45.30
Cu (ppm)	1.14	12.40
Mn (ppm)	1.17	20.00

Fuente: Espinoza-García *et al.*, 2016, Blair (2013).

5.4.2. Contenido de proteínas y de vitaminas.

El frijol es una de las principales fuentes de proteína (García, 2009), su contenido varía entre 14 y 33%, con contenidos de lisina entre 6.4 y 7.6 g por 100 g de proteína, fenilalanina y tirosina se encuentra entre 5.30 y 8.20 g por 100 g de proteína (Ulloa *et al.*, 2011). Del 50% de proteína que contiene el grano del frijol, las albúminas representan entre el 14.8 y 20.8%, las globulinas del 33 al 45%, las glutelinas del 12.8 al 41.2% y las prolaminas representan menos del 1% (Raya-Pérez *et al.*, 2014). También contiene vitaminas como el ácido fólico, tiamina, minerales (Morales-Morales *et al.*, 2016). El contenido de algunas vitaminas del frijol se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de vitaminas (mg100g⁻¹).

Vitaminas	Mínimo	Máximo
Tiamina (B1)	0.86	1.20
Niacina (B3)	1.16	2.68
Ácidos fólicos (B9)	0.17	0.59
Riboflavinas (B2)	0.14	0.27

Fuente: Chávez-Mendoza y Sánchez (2017).

5.4.3. Contenido de carbohidratos y de fibras.

Las leguminosas además de proveer carbohidratos complejos como el almidón (50 a 65%), fibra dietética (10-20%), y lípidos (0.8 a 2%) (Miquilina e Higuera, 2012). En 100 g de frijol, se encuentran entre 52 y 76 gramos de carbohidratos, constituyendo el almidón la parte más importante (Ulloa *et al.*, 2011). En lo referente al contenido de fibras sobresale la fibra dietaria, que está formada por polisacáridos indigeribles (García, 2009). En el frijol el contenido de fibras solubles oscila entre 0.3 y 1.6%, mientras que el contenido de fibras no solubles oscila entre 25.2 y 36.1% (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017).

5.4.4. Contenido antinutricional del frijol.

Los compuestos que reducen la utilización de nutrientes y que impiden la actividad biológica de diversos compuestos químicos, se llaman factores antinutricionales (García, 2009). Se pueden clasificar como termo estables que son factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos y termo lábiles que funcionan como inhibidores de proteasas, lectinas y antivitaminas (Elizalde *et al.*, 2009). El ácido fítico a diferencia de los taninos, disminuye la asimilación de las proteínas y limita la digestibilidad de los minerales (Ulloa *et al.*, 2011). La fracción fenólica responsable de las características de astringencia de los alimentos vegetales está constituido por los taninos condensados (Elizalde *et al.*, 2009).

5.5. El hierro.

El hierro o fierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Es un elemento esencial para los seres vivos debido a que participa en los procesos de oxidación-reducción (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012), además de intervenir en el crecimiento, desarrollo y mantenimiento del organismo humano (Márquez-Quiroz *et al.*, 2015). Es uno de los nutrientes vegetales que más problemas presenta en la nutrición de los cultivos (Juárez *et al.*, 2010), su deficiencia es el trastorno nutricional más común en el mundo (Shahzad *et al.*, 2014).

5.5.1. El hierro en el suelo.

El hierro es el cuarto metal más abundante en los suelos después del silicio (Si), oxígeno (O), y aluminio (Al) (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012); su contenido en el suelo se estima en un 3.8% (Juárez *et al.*, 2010). Es uno de los elementos más frecuentes en las rocas y suelos agrícolas (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2004); que se encuentra poco biodisponible en el suelo, debido a que se une con las partículas del suelo y forma complejos insolubles (Márquez-Quiroz *et al.*, 2015).

El hierro tiene dos estados de oxidación conocidos como Fe (II) y Fe (III), debido a su valencia +2 y +3 con la que se combina con otros elementos químicos (Chantes *et al.*, 2012).

En el suelo, la mayor parte del hierro se encuentra formando silicatos de ferromagnesio, hidróxidos u óxidos de hierro, formas que no son fácilmente asimilables por las plantas (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012).

Los óxidos e hidróxidos de hierro son los responsables del color rojizo o amarillo de los suelos (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012). Debido a la baja solubilidad de los óxidos de Fe³⁺, se precipita de forma como óxido o hidróxido (Juárez *et al.*, 2010).

5.5.2. El hierro en la planta.

El hierro juega un papel importante en la producción de clorofila (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012), en la síntesis de clorofila y forma parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2004). Las raíces lo absorben por la raíz en forma activa como Fe²⁺ y Fe³⁺ o como quelato (Castellanos *et al.*, 2000).

Las plantas enfrentan el problema de la baja disponibilidad de hierro en el suelo a través de dos estrategias: I) es empleada por plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramináceas.

La estrategia I, incrementa la solubilidad del hierro y liberan a la rizosfera protones y agentes reductores y quelantes, como ácidos orgánicos y fenoles (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012).

La estrategia II se utiliza por las gramíneas, por medio de la cual bajo deficiencias de hierro, la planta libera aminoácidos no proteicos o fitosiderofos (Juárez *et al.*, 2010).

5.6. Los quelatos y sulfatos.

El hierro es uno de los elementos más frecuentes en los suelos agrícolas (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2004). Cuando la deficiencia de hierro es muy severa se presenta un amarillamiento en las hojas conocido como clorosis férrica, una de las formas más eficaces de corregir dicha deficiencia es la aplicación del hierro en forma de quelato (Fe-EDDHA, etilendiamino-di-o-hidroxifenilacetato férrico) (Arizmendi-Galicia *et al.*, 2009).

Los quelatos están considerado como los fertilizantes más efectivos comparados con las formas inorgánicas, como los sulfatos (Ortega-Blu y Molina-Roco, 2007; Rivera-Ortiz *et al.*, 2009).

Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico, de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior evitando su hidrólisis y precipitación (Perea *et al.*, 2010).

5.7. Biofortificación.

La biofortificación es un proceso mediante el cual se incrementa la concentración de elementos esenciales en la parte comestible en los productos cosechados mediante la intervención agronómica, mejoramiento genético (fitomejoramiento) o ingeniería genética (White y Broadley, 2005; Hotz, 2013). Pachón (2010) la define como el proceso mediante el cual los cultivos mejoran sus características agronómicas y su nivel nutricional. Por otra parte, indican que es una estrategia biológica, cuyo objetivo es el incremento de los micronutrientes contenidos en las partes comestibles de las plantas, animales o microorganismos a través del cultivo o el uso de la biotecnología, además se considera que es una manera segura y eficaz para aliviar la malnutrición en áreas deficientes (Yin *et al.*, 2012).

VI. METODOLOGÍA.

6.1. Materiales y Métodos.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en dos fases, la primera se realizó en el laboratorio de Físicoquímica de la División Académica de Bioquímica ubicado en el Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra con dirección en carretera Teapa-Tacotalpa Km 4.5, Ej. Francisco Javier Mina, Teapa, Tabasco. La segunda fase se realizó en el Laboratorio de Química de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada en carretera Villahermosa- Teapa km 25 municipio de Centro, Tabasco, México.

6.2. Materia Vegetal.

La variedad de frijol evaluada para este trabajo fue Verdín biofortificado con hierro cosechado de viveros e invernaderos de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, con diferentes tratamientos como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos con sulfato y quelato de hierro en los granos de frijol de la variedad verdín.

Tratamiento	Dosis	Edáfica	Foliar
		Sulfato(g)	Quelato de hierro($\mu\text{M L}^{-1}$)
1	0 – 0	0	0
2	0 – 25	0	25
3	0 – 50	0	50
4	0 – 100	0	100
5	0.25 – 0	0.25	0
6	0.25 – 25	0.25	25
7	0.25 – 50	0.25	50
8	0.25 – 100	0.25	100
9	0.50 – 0	0.50	0
10	0.50 – 25	0.50	25
11	0.50 – 50	0.50	50
12	0.50 – 100	0.50	100

g= gramo, L= Litro, mM= milimol

6.2.1. Preparación de la muestra.

Esta variedad de frijol fue lavada con agua corriente, destilada con el propósito de retirar la tierra que estas podrían tener en ese momento y posteriormente colocadas sobre papel estroza hasta eliminar el resto del agua. A continuación, se secaron las muestras por medio de una estufa de secado a una temperatura de 70°C durante 24 horas, una vez secas las muestras fueron molidas a través de una licuadora hasta quedar homogéneas. Se empacaron en bolsa de nailon hasta sus análisis físicoquímicos correspondientes.

6.2.2. Determinación de Fe, Zn, Mg, K y Ca.

Para el análisis de nutrientes se realizó la digestión de cada una de las muestras con ácido nítrico (HNO_3) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) dentro de un horno microondas (START D). La concentración de Fe, Zn, Mg, K y Ca se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (Thermo SCIENTIFIC) y se expresó en ppm para los micronutrientes y porcentaje para macronutrientes.

6.2.3. Determinación de fósforo (P).

La determinación de la concentración de fósforo P, se llevó a cabo por el método de metavanadato de amonio (NH_4VO_3) y por espectrofotometría de luz visible (JENWAY Spectrophotometer). En un tubo de ensayo se colocaron 500 μl de cada muestra y posteriormente se le añadió 1 ml de molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ y 3.5 ml de agua tridestilada, se agitaron las muestras con un Vortex (VWR) y luego se dejaron reposar una hora. Al finalizar la hora se procedió a la lectura de cada una de las muestras. La concentración de P se expresó en porcentaje.

6.2.4. Propiedades físicoquímicas del frijol.

La composición físicoquímica del frijol se determinó de acuerdo y conforme a lo establecido a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

6.2.5. Determinación de humedad.

La determinación de la humedad se realizó utilizando el método de la Norma Oficial Mexicana NMX-Z-013-1977 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 introdujeron 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.

6.2.6. 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.

6.2.7. Determinación de proteína.

Se determinó el porcentaje de nitrógeno total por método de Kjeldahl, utilizando el factor de 6.25 para obtener el porcentaje de proteína. La Norma Oficial Mexicana (NMX-F-068-S-1980), adaptado al equipo de digestión, destilación y neutralización Kjeldahl modelo K6U-COMB. Su principio fue general, el procedimiento de Kjeldahl determino la materia nitrogenada total, y se basó en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico para producir el nitrógeno orgánico hasta amoníaco, el cual queda en forma de sulfato de amonio. Concluida la digestión se alcalinizo y se destilo directamente o por arrastre con vapor para desprender al amoníaco, el cual es utilizado para realizar una titulación de la cual se tomará como dato el gasto de NaOH (hidróxido de sodio) para la determinación de proteína.

6.2.8. Determinación de grasa.

La determinación de la grasa de las muestras de frijol se realizó mediante el método Soxhlet (NMX-F-089-S-1978). Se prepararon los matraces Soxhlet secándolos en la estufa hasta alcanzar el peso constante. Se montó el equipo LABCONCO y dentro de papeles filtro se colocaron las muestras y se taparon con algodón y se introdujeron 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-089-S-1978.

6.2.9. Determinación de fibra.

La fibra cruda se determinó mediante la Norma Mexicana NMX-F-90-S-1978. A partir de la muestra que fue desengrasada, se realizó esta determinación. Las muestras fueron pesadas y registradas con cada uno de sus pesos, se transfirió cada muestra a los vasos para fibra, a continuación, a cada vaso se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1.25% con 1 ml de alcohol isoamílico como antiespumante. Se dejaron las mezclas durante 30 minutos en ebullición, al finalizar se realizaron enjuagues para eliminar los residuos del ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el alcohol isoamílico y al mismo tiempo se neutralizaron las mezclas, posteriormente se le añadió a la muestra 200 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25% y se dejaron hervir durante otros 30 minutos, a su término se realizaron enjuagues en fibra de vidrio hasta llegar a la neutralidad. Posteriormente, se colocaron las fibras de vidrio con muestras en la cápsula y se introdujeron a la estufa, se dejaron secar durante 12 horas para asegurar que la muestra está perfectamente seca. Concluido el secado se pesaron las cápsulas con la fibra de vidrio y muestra, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de fibra contenida en cada una de las muestras.

6.2.10. Diseño experimental.

Los datos de la fertilización edáfica y foliar se les aplicó un análisis de varianza bajo un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Se determinó diferencias entre tratamientos con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS (SAS, 2009).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. Contenido de mineral del grano de frijol variedad verdín biofortificado.

En el cuadro 4 se presenta los resultados de los análisis del contenido de minerales del grano de frijol de la variedad verdín biofortificado, con diferentes tratamientos con sulfato y quelato de hierro en comparación con un testigo (Tratamiento 1).

En lo que respecta, al fósforo y potasio, no hubo diferencia significativa estadísticamente ($p < 0.05$) en los diferentes tratamientos en relación con la muestra testigo, para fósforo 0.10 a 0.11 mg 100 g⁻¹ y potasio 0.12 a 0.14 mg 100 g⁻¹. Mientras el contenido de magnesio (Mg) oscilo entre 0.21 a 0.43 mg 100 g⁻¹ valores que son menores que lo reportado para variedad caupí (Guillén-Molina *et al.*, 2016).

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables del contenido mineral del grano de frijol variedad verdín biofortificado con sulfato y quelato de hierro (mg 100 g⁻¹).

Tratamiento	Fósforo	Zinc	Hierro	Calcio	Potasio	Magnesio
1	0.11 ^a	28.50 ^{ab}	38.60 ^{ab}	0.21 ^b	0.12 ^a	0.22 ^b
2	0.10 ^a	30.45 ^a	40.67 ^a	0.23 ^{ab}	0.12 ^a	0.21 ^b
3	0.10 ^a	30.00 ^a	37.48 ^{abc}	0.33 ^{ab}	0.14 ^a	0.31 ^{ab}
4	0.10 ^a	28.31 ^{ab}	36.19 ^{abc}	0.46 ^{ab}	0.16 ^a	0.43 ^a
5	0.10 ^a	29.23 ^{ab}	32.32 ^{bc}	0.27 ^{ab}	0.11 ^a	0.21 ^b
6	0.10 ^a	29.80 ^a	39.89 ^a	0.23 ^{ab}	0.12 ^a	0.22 ^b
7	0.10 ^a	28.36 ^{ab}	36.38 ^{abc}	0.33 ^{ab}	0.14 ^a	0.27 ^{ab}
8	0.10 ^a	28.66 ^{ab}	36.16 ^{abc}	0.23 ^{ab}	0.12 ^a	0.21 ^b
9	0.09 ^a	28.06 ^{ab}	38.58 ^{ab}	0.25 ^{ab}	0.12 ^a	0.21 ^b
10	0.10 ^a	29.50 ^{ab}	38.22 ^{abc}	0.50 ^a	0.12 ^a	0.21 ^b
11	0.10 ^a	29.64 ^{ab}	31.45 ^c	0.36 ^{ab}	0.12 ^a	0.23 ^{ab}
12	0.11 ^a	27.29 ^b	37.59 ^{abc}	0.21 ^b	0.12 ^a	0.21 ^b

Medias con la misma letra, en la misma columna, dentro del mismo grupo, no tienen diferencias significativas Tukey Alfa=0.05

El incremento de calcio en los granos de frijol verdín biofortificado incremento hasta $0.46 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en el tratamiento 4, en comparación con el testigo que obtuvo $0.21 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en el tratamiento 1.

Existiendo diferencias significativas en los diversos tratamientos en comparación con el testigo. Referente al zinc se observa en el Cuadro 6, que existe diferencias significativas en los tratamientos en comparación con el testigo, los tratamientos 2,3 y 6 fueron lo que presentaron mayor concentración de 29.80 a $30.45 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en comparación con el testigo $28.50 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, lo cual se puede deber al efecto que tiene el Zn en el incremento de la biomasa de los cultivos.

El contenido de hierro se observa que los tratamientos 2 y 6 obtuvieron los valores de 39.89 a $40.67 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, tratamientos 1 y 9 valores de 38.58 a $38.60 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ y los otros tratamientos estuvieron por debajo de $37.48 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, teniendo diferencias significativas estadísticamente en comparación con el testigo (Tratamiento 1).

7.2. Calidad fisicoquímica de la semilla de frijol biofortificado.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de los granos de frijol de la variedad verdín biofortificado con diferentes tratamientos de dosis de sulfato y quelato de hierro se presenta en el Cuadro 5.

Humedad: No se detectaron diferencias significativas con respecto a los diferentes tratamientos de sulfatos y quelato de hierro con relación con la muestra testigo. La muestra testigo obtuvo 9.59% (Tratamiento 1).

Posteriormente del tratamiento 2 al 12 estuvieron en un porcentaje de 9.21 a 9.66%). El contenido de humedad se relaciona con la edad de la semilla y el manejo poscosecha, así como con los métodos y condiciones de procesamiento según Rosas (2003). Vargas *et al.*, (2004), reportan contenidos de humedad en cuatro variedades de frijol negro de 8.87 a 9.19% .

Este trabajo arroja valores que resultan ser cercano a los que muestran en la Cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables fisicoquímicas.

Tratamiento	Fibra					
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cruda (%)	ST (%)
1	9.59 ^a	6.87 ^a	23.58 ^{ab}	3.76 ^a	1.76 ^d	87.06 ^a
2	9.53 ^a	6.36 ^a	21.00 ^b	2.00 ^{bcd}	1.89 ^c	86.60 ^a
3	9.50 ^a	6.49 ^a	24.81 ^a	1.42 ^{bcd}	1.99 ^{ab}	87.79 ^a
4	9.38 ^a	3.91 ^{cd}	23.41 ^{ab}	1.33 ^{bcd}	1.96 ^{abc}	85.94 ^a
5	9.31 ^a	4.01 ^c	24.81 ^a	2.08 ^{bc}	2.03 ^a	90.51 ^a
6	9.31 ^a	4.10 ^c	24.12 ^{ab}	1.30 ^{bcd}	2.01 ^a	86.01 ^a
7	9.21 ^a	5.17 ^b	22.44 ^{ab}	1.12 ^{cd}	1.92 ^{bc}	89.11 ^a
8	9.66 ^a	6.24 ^a	23.40 ^{ab}	1.66 ^{bcd}	1.97 ^{abc}	87.02 ^a
9	9.29 ^a	5.41 ^b	23.45 ^{ab}	2.15 ^b	2.00 ^{ab}	88.89 ^a
10	9.25 ^a	6.37 ^a	21.79 ^{ab}	1.45 ^{bcd}	2.01 ^a	85.84 ^a
11	9.37 ^a	5.08 ^b	22.35 ^{ab}	1.18 ^{bcd}	2.00 ^{ab}	87.93 ^a
12	9.30 ^a	3.20 ^d	21.22 ^b	1.08 ^d	2.03 ^a	88.69 ^a

Medias con la misma letra, en la misma columna, dentro del mismo grupo, no tienen diferencias significativas Tukey Alfa=0.05.

Cenizas: El contenido de cenizas puede variar dependiendo de las características del suelo de cultivo, así como la genética del cultivar (Carmona *et al.*, 2007). El resultado obtenido en los diferentes tratamientos se observó que existe diferencias estadísticas en relación con la muestra testigo como los tratamientos 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12 obteniendo valores menores del 6 %.

Proteína: Los contenidos de proteínas de los diferentes tratamientos de dosis de sulfato y quelato de hierro si hubo diferencia significativa estadísticamente ($p < 0.05$), los tratamientos 3 y 5 obtuvieron 24.81 %, seguidamente los tratamientos 2 y 12 entre 21.00 a 21.22 %, y los tratamientos 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, entre un rango de 21.79 a 24.41 %, se hace mención que la muestra testigo estuvo en este grupo.

Grasa: Lo contenido de grasas de los diferentes tratamiento, se presentaron diferencia significativas estadísticamente en relación con la muestra testigo (Tratamiento 1) donde obtuvo 3.76 %. Con los tratamientos de dosis de sulfato y quelato de hierro el porcentaje de grasa estuvo en un rango de 1.08 a 2.15 %, se encuentra relativamente relacionado con lo reportado con Vargas et al., 2004, que para frijol negro entre 1.3 y 2.8 % sin tratamiento.

Fibra: Los valores de fibra cruda, se encontraron desde un 1.76 hasta un 2.03 % existiendo diferencia significativa estadísticamente con el testigo, en relación con los diferentes tratamientos realizados.

VIII. CONCLUSIÓN.

La calidad nutritiva de los granos es un parámetro importante en la alimentación, aunque en los parámetros fisicoquímicos como son: proteínas, grasas, fibras etc., los granos de frijol de la variedad verdín biofortificado las diferencias estadísticas fue mínima entre los tratamientos y testigos. Referentes a calidad micronutrientes que también son importantes en la alimentación, debidos a que estos proporcionan vitaminas, minerales y compuestos esenciales para la nutrición.

El presente estudio encontró diferencias significativas entre las diferentes dosis de tratamiento de frijol variedad verdín biofortificado con sulfato y quelato de hierro en el contenido de minerales como zinc y hierro, por arriba de la muestra testigo. No se observó asociación en contenido de mineral en la semilla, ya que las dosis 0-25 (cero de sulfato y 25 g de quelato de hierro uml L⁻¹ presente el mayor contenido de minerales referentes al testigos y demás tratamientos.

En resumen, la biofortificación con hierro y zinc mejoró ayuda a la calidad nutricional del frijol, considerados los principales atributos de calidad del frijol y para la salud del consumidor. Se concluye que es viable implementar un programa de biofortificación con Fe y Zn en frijol, ya que estos nutrientes se concentran más en la semilla (parte comestible de la planta), permitiendo mejorar su calidad nutricional y capacidad antioxidante.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

- Acevedo-Sandoval, O.; Ortiz-Hernández, E.; Cruz-Sánchez, M.; Cruz-Chávez, E. (2004) El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latino americana* 22(4): 485-497.
- Akillioglu H. G. and Karakaya S. 2010. Changes in total phenols, total flavonoides, and antioxidantactivities of commonbeans and pinto beansaftersoaking, cooking, and in vitro digestionprocess. *Food Science and Biotechnology* 19: 633-639.
- Aguado-Santacruz, G.A.; Moreno-Gómez, B.; Jiménez-Francisco, B.; García-Moya, B., Preciado-Ortiz, R.E. (2012) Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: Una síntesis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(1):9–21.
- Association of Official Analytical Chemist. (2000). *Oficial Methods of Analysis (17th)*. Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE. UU
- Aparicio-Fernández X., Yousef G. G., Loarca-Piña G., De Mejia E. and Lila M. A. 2005. Characterization of polyphenolics in theseedcoat of black Jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4615-4622.
- Arizmendi-Galicia, N., Rivera-Ortiz, P., De la Cruz-Salazar, F., Castro-Meza, B.I., Garza-Requena, F. (2009) Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcaeros. *Terra Latino Americana* 29(3):231-237.
- Bellucci, E.; Bitocchi, E.; Rau, D.; Rodriguez, M.; Biagetti, E.; Giardini, A.; Attene, G.; Nanni, L.; Papa, R. (2014) Genomics of origin, domestication and evolution of *Phaseolus vulgaris*. In: Tuberosa R., Graner A., Frison E. (eds). *Genomics of plant genetic resources*. Springer. Dordrecht. pp: 483-508.

- Blair, M.W. (2013) Mineral biofortification strategies for food staples: The example of common bean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:8287-8294.
- Blair, M.W.; Astudillo, C. (2009) Biofortification breeding of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *BioZoom* 2009(1).
<http://www.biokemi.org/biozoom/issues/525/articles/2397>. Consultado el 22 de abril de 2018.
- Chávez-Mendoza, C.; Sánchez, E. (2017) Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*): Implications for health. *Molecules* 22(1360):1-32
- Carmona, G.R.; Osorio, D.P., Agama, A.E., Tovar, J., Bello, O.L.A. 2007. Composition and effect of soaking on starch digestibility of *Phaseolus Vulgaris L.* cv Mayocoba. *Internacional Journal of Food Sciecie and Technology*. Pp. 296-302
- Castellanos, J.Z., Uvalle-Bueno, J.X.; Aguilar-Santelises, A. (2000) Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a ed. Instituto de Capacitación para la productividad agrícola. Celaya, Guanajuato, México. 10p.
- Debouck, D.G.; Hidalgo, R. (1985) Morfología de la planta de frijol común. In: López, M.; Fernández, F.; Schoonhoven, A.V. (eds.). *Frijol: investigación y producción*. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp: 7-41.
- Elizalde, A.D.; Porrilla, Y.P.; Chaparro, D.C.C. (2009) Factores antinutricionales en semillas. *Facultad de Ciencia Agropecuaria* 7(1):45-54.
- Espinoza-García, N.; Martínez-Martínez, R.; Chávez-Servia, J.L.; Vera-Guzmán, A.M.; Carrillo-Rodríguez, J.C.; Heredia-García, E.; Velasco-Velasco, V.A. (2016) Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista fitotecnia mexicana* 39(3): 215-223.

- Elías, L.G.; García-Soto, A.; Bressani, R. (1986). Métodos para establecer la calidad tecnológica y nutricional del frijol. Inst. De Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Guatemala, C.A. 41 p.
- Fernández, A.C., Nishida, W., Da Costa Proenca, R.P. 2010. Influence of soaking on the nutrition quality of common bean (*Phaseolus vulgaris*) cooked with or without the soaking water: a review. International Journal of Food Science and Technology 45:2209-2218.
- Fernández, F.; Gepts, P.; López, M. (1991) Etapas de desarrollo en la planta de frijol. In: Frijol: López, M.; Fernández F.; Schoonhoven A.V. (eds.). Investigación y Producción. CIAT, Colombia. pp: 61-78.
- García, M.L. (2009) Contenido total de taninos condensados en las variedades Pinto Zapata, Azufrado Higuera, Negro 8025 y Bayo Madero de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocidas por calentamiento óhmico. Tesis Maestro en Ciencias. Centro de Investigación en Ciencias y Tecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Querétaro. 56p.
- Juárez, M.; Cerdan, M.; Sanchez-Sanchez, A. (2010) Hierro en el sistema suelo-planta. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Argentina. 32p.
- Johns, T., Eyzaguirre P. (2007) Biofortification, biodiversity and diet: a search for complementary applications against poverty and malnutrition. Food Policy 32:1-24.
- Lara, F.M. (2015) El cultivo del frijol en México. Revista Digital Universitaria 16(2): 1-11.
- Lépiz, I.R.; López, A.J.J.; Sánchez, G.J.J.; Santacruz-Ruvalcaba, F.; Nuño, R.,R.; Rodríguez, G.E. (2010) Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. Revista Fitotecnia Mexicana 33(1):21–28.
- Márquez-Quiroz, C.; Guillén-Molina, M.; De la Cruz-Lázaro, E.; Castañón-Nájera, G.; Sánchez-Chávez, E.; Moreno-Reséndez, A.; Latournerie-Moreno, A.;

- López-Espinosa, S.T. (2015) La Biofortificación de cultivos : Una alternativa que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional. En: Moreno, R.A.; Reyes, C.J.L.; Márquez, H.C. (Eds.). Tópicos selectos de sustentabilidad: Un reto permanente. Volumen III. UJED Editorial. Durango, México. pp: 14–22.
- Meza-Vázquez, K.E.; Lépiz-Ildefonso, R.; López-Alcocer, J.J; Morales-Rivera, M.M. (2015) Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (*Phaseolus*). *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(1):17-28.
- Miquilena, E.; Higuera, A. (2012) Evaluación del contenido de proteína, minerales y perfil de aminoácidos em harinas de *Cajanus cajan*, *Vigna unguiculata* y *Vigna radiata* para su uso en la alimentación humana. *Revista Científica UDO Agrícola*: 12 (3):730-740.
- Morales-Morales, A.E.; De la Cruz-Lázaro, E.; Osorio-Osorio, R.; Sánchez-Chávez, E.; Trejo, A.M.; Márquez-Quiroz, C. (2016) Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:3415-3425.
- Nestel P., Bouis, H.E., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, W. (2005). Biofortification on of staplefoodcrops. *J Nutr.* 2006; 136:1064-7.
- 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>
- NMX-F-089-S-1978. (1978). Alimentos. Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida). Normas mexicanas. Dirección General de Normas.
<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-089-S-1978.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=27031979

- Ortega-Blu, R., y Molina-Roco, M.(2007) Comparación entre sulfatos y compuestos quelados como fuente de zinc y hierro en suelos calcáreos. *Agrociencia* 41(5):491-502.
- Perera, E., Ojeda, D., Hernández, A., Ruiz, T., Martínez, J. (2010) Utilización de quelatos en la agricultura. *Aventuras del Pensamiento* 53:1-5.
- Quintero, F.E.; García H.J.C.; Gil D.V.D.; Chaveco P.O. (2008) Colección de germoplasma de frijol fortificado con hierro y zinc: respuesta agronómica y preferencia por los productores. *Centro Agrícola* 35(4):43-46.
- Raya-Pérez JC, Gutiérrez-Benicio GM, Ramírez JG, Covarrubias-Prieto J, Aguirre-Mancilla CL. (2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *AgronMesoam.* 25(1):01-11.
- Ramírez-Jiménez A.K., Reynoso-Camacho R., Elizabeth Tejero M., León- Galván F. and Loarca-Piña G. 2015. Potential role of bioactive compounds of *Phaseolus vulgaris* L. on lipid-lowering mechanisms. *Food Research International* 76: 92-104.
- Reynoso-Camacho R., Ríos Ugalde M. D C., Torres Pacheco I., Acosta Gallegos J. A., Palomino Salinas A. C., Ramos Gómez, M., González J. E. and Guzmán Maldonado S. H. 2007. El consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto sobre el cáncer de colon en ratas Sprague-Dawley. *Agricultura técnica en México* 33: 43-52.
- Romano A., Giosafatto C. V. L., Masi P. and Mariniello L. 2015. Impact of dehulling on the physico-chemical properties and in vitro protein digestion of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Food & Function* 6: 1345.
- Rosas JC. (2003). El cultivo del frijol en América tropical. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 57 p

- Shahzad, Z.; Rouached, H.; Rakha, A. (2014) Combating mineral malnutrition through iron and zinc biofortification of cereals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13(3): 329-346.
- SAS (2009) SAS/STAT 9.2 User's Guide. Second Edition. Cary, NC, USA. SAS Institute Inc. 7869p.
- SIAP (2018) Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
[http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/Avance Nacional Sin Programa.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/Avance_Nacional_Sin_Programa.do). Consultado el 18 de abril de 2018.
- Tosquy, V.O.H., López-Salinas, E., Francisco-Nicolás, N., Acota-Gallegos, J.A., Villar-Sánchez, B. (2014) Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 5(7):1205-1217.
- Tosquy, V.O.H., López-Salinas, E., Villar-Sánchez, B., Zetina, L.R., Acota-Gallegos, J.A., Rodríguez-Rodríguez, J.R., Ibarra-Pérez, F.J. (2018) Rendimiento y adaptación de genotipos de frijol opaco en ambientes con y sin sequía terminal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9(4):827-839.
- Tosquy, V.O.H.; López, S.E.; Villar, S.B.; Acosta G.J.A.; Rodríguez-Rodríguez, J.R. (2016) Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7(7):1775-1780.
- Ulloa, J.A.; Ulloa, P.R.; Ramírez, R.J.C.; Ulloa, R.B.E. (2011) El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente* 3(8):5-9.
- Vargas, T.A., Osoio, D.P., Tovar, J., Paredes, L.O., Ruales, J., Bello, P.L.A. 2004. Chemical composition, Starch bioavailability and indigestible fraction of common beans (*Phaseolus Vulgaris L.*) *Starch/Stärke*. Pp. 74-78

Vasconcelos, MW. ; W Gruissem; Bhullar, N.K. (2017) Iron biofortification in the 21st century: setting realistic targets, overcoming obstacles, and new strategies for healthy nutrition. *Current Opinion in Biotechnology* 44:8–15.

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

Yin X, YUAN L, LIU Y, LIN Z. 2012. Phytoremediation and Biofortification: TwoSides of One Coin. P 1-6. In: Yin X, Yuan L. (eds.) *Phytoremediation and Biofortification*. Springer.

ANEXOS.



Figura 1. Recolección del frijol verdín.



Figura 2. Secado del frijol verdín en la estufa a una temperatura de 70°C durante 24 horas.



Figura 3. Muestras del frijol verdín secado en la estufa durante las 24 horas.



Figura 4. Molienda de los gránulos del frijol verdín.

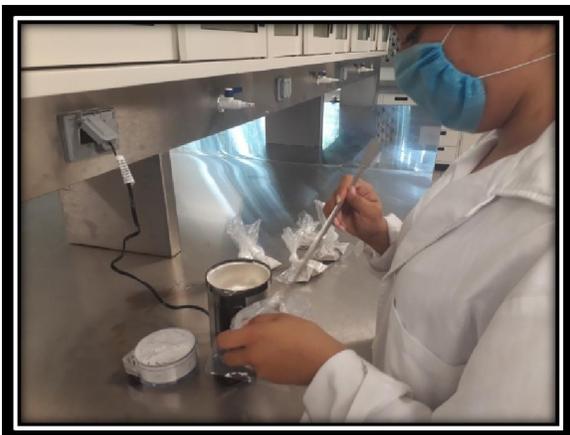


Figura 5. Empacado de la molienda de los gránulos de frijol verdín en bolsas nailon.



Figura 6. Frijol verdín empacado en bolsas nailon.



Figura 7. Digestión para la determinación de Fósforo, Hierro, Zinc, Calcio, Potasio y Magnesio.



Figura 8. Cuantificación de nitrógeno para la determinación de Fósforo, Hierro, Zinc, Calcio, Potasio y Magnesio.



Figura 9. Soluciones para la lectura de la curva de calibración.

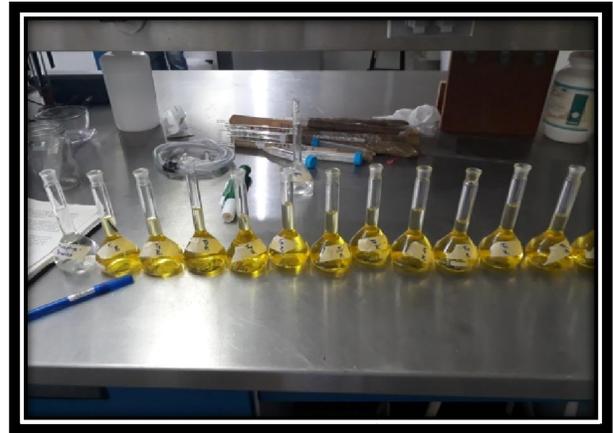


Figura 10. Soluciones para la determinación de fósforo.



Figura 11. Determinación de humedad del frijol verdín.

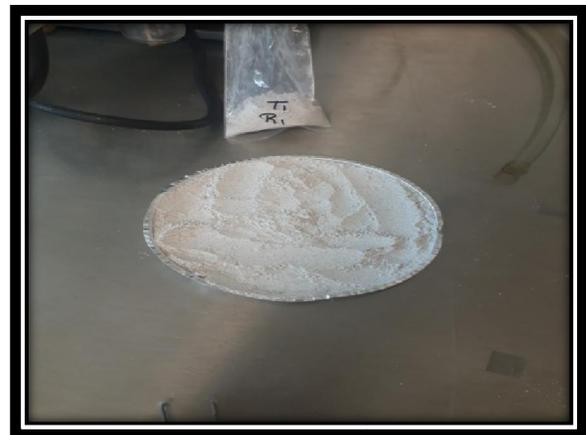


Figura 12. Determinación de humedad.



Figura 13. Pesado de los crisoles en la balanza analítica.



Figura 14. Pasado de los crisoles.



Figura 15. Crisoles puestos a peso constante para la determinación de cenizas.



Figura 16. Crisoles a peso constante.



Figura 17. Determinación de cenizas.

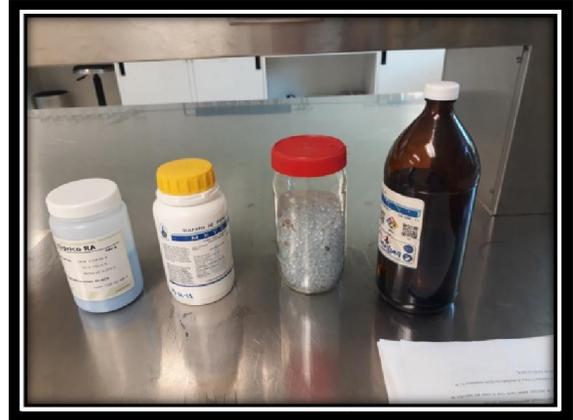


Figura 18. Reactivos para la determinación proteínica.



Figura 19. Determinación de proteína de la muestra de frijol verdín.

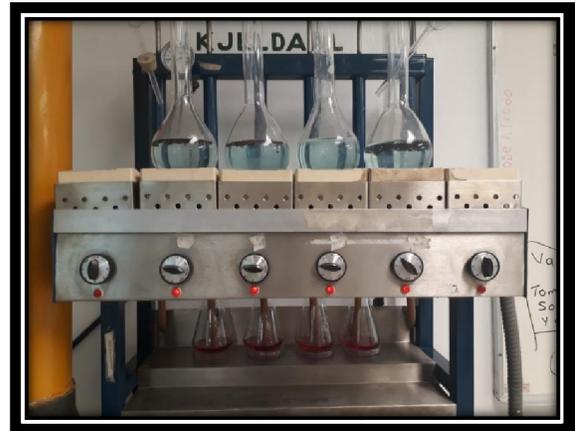


Figura 20. Destilación de la muestra para determinación de proteína.



Figura 21. Cambio de vire de la destilación de proteína de frijol verdín.



Figura 22. Titulación de gastos en proteína.



Figura 23. Determinación de grasa de frijol verdín.



Figura 24. Determinación de la grasa del frijol verdín.



Figura 25. Determinación de fibra cruda de la muestra de frijol verdín.



Figura 26. Filtración de la muestra para determinación de fibra cruda.