

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Comportamiento de Ácidos Fúlvicos de Dos Orígenes Mezclados con Fierro en la
Producción de Frijol

Por:

SALVADOR ALBA VEGA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Comportamiento de Ácidos Fúlvicos de Dos Orígenes Mezclados con Hierro en la
Producción de Frijol

POR:

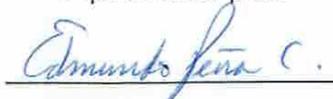
SALVADOR ALBA VEGA

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por:



Dr. Edmundo Peña Cervantes
Presidente



Dr. Rubén López Salazar

Vocal



M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos

Vocal




M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para seguir adelante.

A MI ALMA TERRA MATER, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Por brindarme un lugar para poder realizar mis estudios como profesionista y agradecido por albergarme por estos años.

A MIS ASESORES

- Dr. Edmundo Peña Cervantes
- Dr. Rubén López Salazar
- M.C Fidel Maximiano Peña Ramos

Por su tiempo, dedicación y apoyo en la realización de este proyecto, por compartir sus amplios conocimientos y apoyarme con parte de la herramienta necesaria en los respectivos análisis de este trabajo.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Sr. Fausto Alba Adán

Sra. Lorenza Vega Anselmo

Quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida, quienes me dieron la oportunidad de crecer y forjar un horizonte, sin su apoyo nunca lo hubiera logrado.

Gracias papa, gracias mama, porque todo lo que soy ahora se los debo a ustedes con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo por el sacrificio que hicieron para que concluyera mis estudios.

A MIS HERMANOS

Que de una u otra manera son la razón por la cual me vi en este punto de mi vida, gracias por todo el apoyo incondicional que me brindaron, por estar siempre conmigo en los momentos difíciles y por motivarme siempre a seguir adelante.

MI ESPOSA

Por darme todo su amor y comprensión en cada paso y momento de mi vida, gracias por todos los buenos momentos que pasamos juntos y por darme el mejor regalo de mi vida mi hija Meybel Abigail Alba Montalvo lo mejor que la vida me ha dado.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE DE CONTENIDOS	iii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
General.....	3
Específico	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISION DE LITERATURA	4
Los Ácidos Fúlvicos.....	5
Los Ácidos Fúlvicos como Agente Quelatantes.....	6
Efectos específicos de los Ácidos Fúlvicos en las plantas	6
Observaciones finales para Sustancias Húmicas.....	7
El Fierro (Fe)	8
V. MATERIALES Y MÉTODOS	9
Localización del Experimento	9
Obtención de los Compuestos Orgánicos.....	9
Manejo del Cultivo.....	10
VI. RESULTADOS.....	12
Área Foliar Hoja (AFH).....	14
Densidad de Raíz (DR)	15
Peso Fresco de Raíz (PFR).....	16
Peso Seco Raíz (PSR).....	17
Volumen de Raíz (VR)	18
Fierro en Hoja (FH)	19
Fierro en Raíz (FR)	20
Peso de Grano en Frijol (PGF)	21
VII. DISCUSIÓN	22
VIII. CONCLUSIÓN	23
IX. LITERATURA CITADA	24

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Acidez total, grupos carboxilos y fenólicos (meq/100g) y composición elemental (%) de ácidos húmicos y fulvicos.....	5
Cuadro 2. Solución nutritiva empleado como control en el frijol, variedad “Pinto Saltillo”.....	10
Cuadro 3. Distribución de los tratamientos adicionados en Semillas de frijol, variedad “Pinto saltillo”.....	11
Cuadro 4. Valores promedio de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).....	13
Cuadro 5. Análisis de varianza para área foliar de hoja (AFH), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).....	14
Cuadro 6. Análisis de varianza para densidad de raíz (DR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	15
Cuadro 7. Análisis de varianza para peso fresco de raíz (PFR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).....	16
Cuadro 8. Análisis de varianza para peso seco de raíz (PSR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).....	17
Cuadro 9. Análisis de varianza para volumen de raíz (VR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	18
Cuadro 10. Análisis de varianza para fierro en hoja (FH) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	19
Cuadro 11. Análisis de varianza para fierro en raíz (FR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe)	20
Cuadro 12. Análisis de varianza para peso de grano en frijol (PGF), variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	21

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área foliar de la hoja (AFH) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	14
Figura 2. Densidad de raíz (DR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”. Con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y de fúlvato de leonardita (FLFe).	15
Figura 3. Peso fresco de raíz (PFR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	16
Figura 4. Peso seco de raíz (PSR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”. Con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	17
Figura 5. Volumen de raíz (VR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	18
Figura 6. Hierro en hoja (FH) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	19
Figura 7. Hierro en raíz (FR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	20
Figura 8. Peso de grano en frijol (PGF) variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).	21

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de Ácidos Fúlvicos de Dos Orígenes Mezclados con Fierro en la Producción de Frijol variedad "Pinto Saltillo", fueron sembradas semillas en macetas de plástico que contenían 10 kg del horizonte Ap de un Calcisol, a los tres días después de la siembra, fueron fertilizadas de acuerdo con los índices de Steiner, ambos compuestos orgánicos (gallinaza y leonardita) empleados como tratamientos fueron preparados con 2, 4, 6, 8, 10 ml y aforados a un litro con agua y una solución nutritiva (SN- testigo), las variables medidas a la planta: área foliar hoja (AFH), densidad de raíz (DR), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR), volumen de raíz (VR), fierro en raíz (FR) y peso de granos en frijol (PGF). Se encontró efecto significativo entre tratamientos, indicando que los tratamientos FLFe6, FGFe6, FGFe2, FGFe8, FGFe2, FGFe8, FGFe8 y FGFe4 fueron los que presentaron mayores valores en las variables mencionadas, para la variable fierro en hoja (FH), no mostro diferencia significativa, aunque numéricamente se observó que los tratamientos FGFe8 y FLFe4 fueron los mejores en esta variable. En este caso en la planta de frijol se presentó efecto positivo en Área foliar de la hoja (AFH); Densidad de raíz (DR); Peso fresco de raíz (PFR); Peso seco de raíz (PSR); Volumen de raíz (VR); Fierro en raíz (FR) de acuerdo a la hipótesis de que al menos una dosis de ácidos fúlvicos de dos orígenes tiene efecto positivo al aumentar la producción de granos en frijol, en este caso si se cumple ya que fue la dosis de 4 ml (FGFe) que presento la mejor efectividad en las variables medidas y con una mayor producción de frijol.

Palabras clave: Frijol, Orgánicos, Ácidos Fúlvicos.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol es uno de los granos básicos de gran importancia en la dieta de la población mexicana debido a sus cualidades nutritivas, diversidad de variedades, distinguiéndose de otros por el contenido de proteína. Además, que ha sido históricamente un cultivo asociado al desarrollo de las culturas prehispánicas y aún en la actualidad juega un papel primordial en la alimentación de gran parte de la población en el mundo, pero de manera muy especial de aquella que se encuentra en países poco industrializados.

El primer eslabón de la cadena de valor es la producción de frijol, mediante el procedimiento de siembra, cultivo y cosecha de esta leguminosa. Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia dentro de la superficie sembrada total a nivel nacional (FIRA, 2016).

El consumo de frijol en el país, se encuentra dividido en la zona norte de México, donde se consume las variedades claras y azufradas, que se cultivan principalmente en Sinaloa; mientras que una gran parte de frijol negro se cultiva en Nayarit y Zacatecas, con una demanda mayormente concentrada en las zonas centro y sur del país (SAGARPA, 2012).

Se considera que en el país se cultivan alrededor de 150 variedades mejoradas y 50 criollas. La clasificación es básicamente por colores: blancos, amarillos, claros, rosados, morados, negros y pintos (SAGARPA, 2012).

Este cultivo es producido en sistemas, regiones y ambientes tan diversos como América Latina, África, el Medio Oriente, China, Europa, los Estados Unidos, y Canadá. En América Latina, es un alimento tradicional e importante, especialmente en Brasil, México, América Central y el Caribe.

Considerando los principales países productores durante el año 2016 son: Brasil con 16% seguido de la India con 15.9%, Myanmar con 10.5%, China con 8.9%, ocupando el quinto lugar se encuentra México con 5.8%, y en sexto lugar los Estados Unidos con 5.6% (FIRA, 2016).

La producción regional del cultivo de frijol se puede realizar bajo casi todas las condiciones de suelo y clima. Por lo anterior, tienen presencia en las 32 entidades federativas, sin embargo, son siete las entidades que producen tres cuartas partes de la producción nacional que se caracterizan por sus climas secos y propicios para el cultivo de esta leguminosa, estas son: Zacatecas 35.9%, Sinaloa 13.6%, Durango 11.6%, Chiapas 6.5%, Chihuahua 6.1%, Nayarit 5.8%, y San Luis Potosí 44.2% (FIRA, 2016).

México mantiene una posición muy lejana de los países, con tan solo 0.5% de exportaciones y ocupa el séptimo lugar con 3.7% en importación.

Por modalidad la superficie sembrada de frijol es predominante de temporal con poco más de 86%. En cuanto a los rendimientos oscila entre 1.4 a 1.7 toneladas por hectárea, mientras que el rendimiento por temporal oscila entre 0.4 y 0.7 toneladas por hectárea.

Los limitantes principales para la expansión de producción e incremento de rendimiento de frijol han sido la gran susceptibilidad a enfermedades y plagas, sequías periódicas, baja fertilidad de los suelos, desconocimiento de la tecnología apropiada y falta de variedades rendidoras.

Para contrarrestar el efecto negativo de los anteriores factores, existen prácticas que pueden contribuir a aumentar el rendimiento por unidad de superficie, entre estas podemos mencionar el uso de ácidos fúlvicos, estos materiales se utilizan cuando se quiere ayudar a la planta en momentos críticos durante su desarrollo, además como una alternativa para la agricultura orgánica.

II. OBJETIVOS

General

Determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos de dos orígenes, mezclados con fierro en la producción de frijol.

Específico

Establecer la dosis optima de ácidos fúlvicos de dos orígenes con fierro en la producción de frijol.

III. HIPÓTESIS

Al menos una dosis de ácidos fúlvicos de dos orígenes tiene efecto positivo al aumentar la producción de frijol.

IV. REVISION DE LITERATURA

El cultivo de frijol se originó y domesticó en América Latina con dos orígenes geográficos (Mesoamérica y los Andes) genéticamente diferenciables que derivan de un ancestro común de 100,000 años de antigüedad. En México y América del Sur, el frijol se domesticó de manera independiente hace aproximadamente 8,000 años. (Bitochi, 2013). Se tienen registros de semillas cultivadas de *Phaseolus vulgaris* de 3,000 años de antigüedad (Brown, 2006).

El frijol pertenece a la familia Fabácea, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseolus, y especie *Phaseolus vulgaris* L. entre las leguminosas es el tercer cultivo más importante en el mundo, después de la soya y el cacahuate (Singh *et al.*, 1999). Particularmente en México, el frijol es la leguminosa de mayor consumo humano y representa el 36% de la ingesta diaria de proteínas.

Por otra parte, los granos presentan alto contenido de proteínas (20-25%) del tipo Tiamina y Riboflavina y un adecuado contenido de vitaminas. El contenido proteico de las semillas, así como el de aminoácidos esenciales es de gran interés; en el *Phaseolus vulgaris* L. podemos encontrar isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, triptófano, etc. Y además el valor energético de dichas semillas es elevado. En los países desarrollados se consumen principalmente el frijol verde, como hortaliza, que presenta un elevado contenido en vitaminas, minerales y fibras y menor contenido calórico, y por el contrario, en países en vías de desarrollo se consume de forma mayoritaria el grano seco, que es la base diaria del aporte proteico de la dieta de la población (Rodiño *et al.*, 2000).

Como todas las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de asociarse a bacterias del suelo llamadas *rhizobia* (singular *rhizobium*). Dicha asociación entre leguminosas y *rhizobium*, comprende a la mayoría de las 18,000 especies de leguminosas y resulta en una simbiosis fijadora de nitrógeno de importancia ecológica que aporta, anualmente, una cuarta parte del nitrógeno fijado en la biósfera (Catherine *et al.*, 2009). En las raíces de la planta, la bacteria induce la formación de un órgano denominado nódulo, dentro del cual ésta se establece de forma intracelular.

En estas condiciones, la bacteria es capaz de convertir el N₂ atmosférico en amonio NH₄⁺, el cual constituye la fuente de nitrógeno que permite el crecimiento de la planta. Tradicionalmente y desde hace cientos de años, el agricultor mexicano ha sembrado en sus chinampas y milpas, de forma combinada, frijol y maíz. El tallo del maíz sirve de sostén a la enredadera del frijol y éste, a su vez, fertiliza el suelo favoreciendo una mayor producción del cereal. Este ecosistema (la milpa), en donde tradicionalmente se siembra maíz, frijol y calabaza, además de chile y tomate, constituye un modelo de agricultura ecológica el cual favorece un control biológico de insectos además de la ya referida fijación biológica de nitrógeno.

Los Ácidos Fúlvicos

El ácido fúlvico es la fracción orgánica soluble tanto en álcali como en ácido (Stevenson 1994). Los ácidos fúlvicos, (Cuadro 1), tienen mayor acidez total, mayor número de grupos carboxilo y mayor capacidad de adsorción e intercambio de cationes que el ácido húmico (Bocanegra *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Acidez total, grupos carboxilos y fenólicos (meq/100g) y composición elemental (%) de ácidos húmicos y fúlvicos.

	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos
Acidez total	400 – 870	900 – 1400
Grupos carboxílicos	150 – 570	520 – 1120
Grupos fenólicos	210 – 570	30 – 570
Carbono	50 – 60	40 – 50
Oxígeno	30 – 35	44 – 50
Hidrógeno	4 – 6	4 – 6
Nitrógeno + azufre + fosforo	2 – 6	2 – 5

Los ácidos fúlvicos son responsables de la quelación y la movilización de iones metálicos, incluidos Fe y Al (Esteves da Silva *et al.*, 1998). Dado su pequeño tamaño molecular, los ácidos fúlvicos pueden pasar a través de microporos de sistemas de membranas biológicas o artificiales, mientras que los ácidos húmicos no pueden. La capacidad combinada de los ácidos fúlvicos para quelar nutrientes como el Fe y moverse a través de las membranas ha sugerido que los ácidos fúlvicos pueden desempeñar papeles similares a los quelantes naturales en la movilización y transporte de Fe y otros micronutrientes (Bocanegra *et al.*, 2006).

También se ha sugerido que, dado que tienen pesos moleculares más pequeños, los AF pueden permanecer en la solución del suelo incluso a altas concentraciones de sal y en un amplio rango de pH (Zimmerli *et al.*, 2008). Por lo tanto, tienen un potencial de larga duración para interactuar con las raíces de las plantas (Varanini y Pintón 2001).

Los Ácidos Fúlvicos como Agente Quelatantes

Las SH forman quelatos con cationes de metales alcalinos, alcalinotérreos y con otros metales, algunos de ellos son de alto valor nutrimental para las plantas, ya que vuelven solubles y asimilables a los metales, así, por ejemplo, los AF reducen y movilizan a hierro transformándolo de Fe^{3+} a Fe^{2+} (Santiago *et al.*, 2008). Los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinotérreos, ya que se compleja fierro. Por lo que al adicionar AF y Fe es más abundante en tejido vegetal.

Efectos Específicos de los Ácidos Fúlvicos en las Plantas

Se ha informado que los ácidos fúlvicos mejoran algún aspecto del crecimiento de la planta, rendimiento y absorción de nutrientes de una gama similar de cultivos agronómicas. Un ejemplo sería los números de iniciales de raíz en las secciones de hipocótilo del frijol común se mejoraron 6 días después del tratamiento con ácido fúlvico (Poapst y Schnitzer 1971).

En un estudio se determinó el efecto de un fúlvato de fierro, en la producción y calidad del chile serrano, ya que aumento la producción en el peso, longitud, diámetro del fruto, peso seco del fruto (Bañuelos, 2017).

Campos (2017) Determinó el comportamiento de tres fúlvatos en la calidad de fresa en donde llegó a la conclusión que se presentó un efecto positivo en la producción y firmeza del fruto al momento de la cosecha.

Gómez (2012) observó que los ácidos fúlvicos de leonardita ejercieron efecto positivo en el peso fresco de vástago, raíz y hoja en tomate.

Un estudio posterior sobre girasol (*Helianthus annuus*) en solución de Hoagland con Fe confirmó que el ácido fúlvico quelató Fe^{3+} y aumentó la disponibilidad de hierro para la planta (Bocanegra *et al.*, 2006). El tratamiento del arroz con ácido fúlvico en suelos calcáreos aumentó la absorción de hierro, y la eficacia del ácido Fe-Fúlvico como fertilizante fue mayor que la del $FeCl_3$ (Pandeya *et al.*, 1998).

Observaciones finales para Sustancias Húmicas

Los ejemplos citados anteriormente indican que hay mucha evidencia de que los ácidos húmicos y fúlvicos pueden interactuar con los nutrientes y provocar respuestas fisiológicas en las plantas que conducen a un mayor crecimiento, rendimiento, calidad y en algunos casos, a la mejora del estrés abiótico.

Barbara y García (2014), afirmaron que la aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos se está convirtiendo en rutina en la agricultura. La importancia del estudio y manejo de ácidos húmicos y fúlvicos, radica en la gran influencia que tienen sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos; en el suelo, contribuyen a mejorar la actividad microbiana del mismo, lo cual resulta en mejores condiciones físicas para el establecimiento de las raíces y consecuentemente de la planta, tienen la capacidad de absorción y desorción iónica liberación de nutrimentos a mediano o largo plazo y funcionan como agentes quelatantes de cationes metálicos (Nardi *et al.*, 2002).

El Hierro (Fe)

El hierro (Fe) es un micronutriente esencial para las plantas, ya que desempeña funciones claves en la síntesis de clorofila, el suelo generalmente contiene entre 1 a 5 % de hierro total, la mayor parte del hierro en el suelo se encuentra en minerales de silicatos u óxidos e hidróxidos de hierro, formas que no están disponibles para las plantas, lo que puede causar deficiencias en los cultivos y mermar los rendimientos.

El hierro en el suelo es el cuarto elemento abundante en la tierra, pero su cantidad es baja o no estaba disponible para las necesidades de plantas y microorganismos, debido a la baja solubilidad de minerales que contienen hierro en muchos lugares del mundo, especialmente en regiones áridas con suelos alcalinos. El hierro es un elemento importante en los cultivos, porque es esencial, forma parte de enzimas importantes, incluido el citocromo que participa en la cadena de transporte de electrones, sintetizan clorofila, mantienen la estructura de los cloroplastos y la actividad enzimática (Mamatha, 2007; Ziaeiian y Malakouti, 2006; Zaharieva y Abadia, 2003; Welch, 2002).

La deficiencia de hierro tiene un poderoso efecto sobre la proteína cloroplasto, por lo que esta se reduce significativamente por deficiencia de hierro. En condiciones de deficiencia severa de hierro, la división celular se detiene y, por lo tanto, el crecimiento de la hoja disminuye (Mohamed y Aly, 2004; Manthey y Crowley, 1997).

Se necesita hierro para producir clorofila; por lo tanto, su deficiencia causa clorosis. Por ejemplo, el hierro se usa en el sitio activo de glutamil-tRNA reductasa, una enzima necesaria para la formación del ácido 5-aminolevulínico que es un precursor de la clorofila (Kumar y Soll, 2000). Si una cantidad adecuada de hierro no está disponible para las plantas, se producirá deficiencia de hierro (clorosis de hierro).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

Este trabajo, se realizó en un invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, México, ubicada geográficamente a los 25° 21' de Latitud Norte y 101° 02' de Longitud Oeste, con la altitud de 1742 m.s.n.m.

Obtención de los Compuestos Orgánicos

Los compuestos orgánicos empleados en este trabajo, fueron obtenidos de la siguiente manera, se tomaron 100 g del mineral fósil del carbón denominado Leonardita y estiércol de gallinaza, fueron molidos y tamizados a una malla de un milímetro de diámetro, se secaron a la estufa (Lab Oven, Quincy Laboratory Inc. Modelo 30GC, Serie G3-5572) a 70 °C durante 24 horas y se dejaron enfriar durante 60 minutos, en un secador de vidrio. Posterior a esto, a 5 g de cada material se le adicionaron 100 ml de hidróxido de potasio 1 N (KOH, 1N) (CTR Scientific, Monterrey, Nuevo León, México) y se colocaron a "Baño María" (Water Bath, Marca YAMATO, Modelo BM 100, Japan) a 60°C durante 120 minutos. La solución se dejó enfriar durante 60 minutos a temperatura ambiente del Laboratorio (25 °C), se decantó y con ácido cítrico anhidro, 1 N grado reactivo al 99.7 por ciento de pureza (Control Técnico y Representaciones-CTR Scientific, Monterrey, Nuevo León, México), se llevó la solución a pH 4 con el fin de separar los AH de los AF. Los primeros compuestos fueron desechados y los segundos, mezclados con el dos por ciento de fierro (Fe); para lo que, se empleó como fuente el Sulfato ferroso (FeSO₄). Posterior a esto, con Hidróxido de potasio uno normal (KOH, 1N) se llevó el pH a 6.

Manejo del Cultivo

Semillas de frijol, variedad "Pinto Saltillo", fueron sembradas en macetas de plástico que contenían 10 kg del horizonte Ap de un Calcisol (World Reference Base-FAO/UNESCO, 1990). A los tres días después de la siembra, fueron fertilizadas de acuerdo con los Índices de Steiner y a la Conductividad Eléctrica de la solución nutritiva de 2.1 dS m^{-1} (Cuadro 2).

Ambos compuestos orgánicos empleados como tratamientos se prepararon de la siguiente manera: se midieron 2, 4, 6, 8 y 10 ml de cada fúlvato y se aforaron con agua a un litro, de estos se agregaron al día siguiente después de la siembra, cinco días después cuando la planta presentó tres pares de hojas verdaderas y en la primera floración, 200 mililitros de cada tratamiento, es decir, fueron aplicados en tres ocasiones durante el ciclo de vida del cultivo. El control fue una solución nutritiva (SN), con base en los Índices de Steiner a la Conductividad eléctrica similar ya mencionada y con ella se fertilizó el cultivo cada 21 días solo en tres ocasiones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Solución nutritiva empleado como control en el frijol, variedad "Pinto Saltillo".

Elemento	NO ₃ meq L ⁻¹	H ₂ PO ₄ meq L ⁻¹	SO ₄ meq L ⁻¹	K meq L ⁻¹	Ca meq L ⁻¹	Mg meq L ⁻¹	Cu (%)	Zn (%)	B (%)
	12.6	1.1	7.2	7.1	8.3	4.0	2	2	0.3

Las variables medidas fueron: Área Foliar Hoja (AFH), Densidad de Raíz (DR), Peso Fresco de Raíz (PFR), Peso Seco de Raíz (PSR), Volumen de Raíz (VR), Hierro en Hoja (FH), Hierro en Raíz (FR) y Peso de Granos en Frijol (PGF).

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos adicionados en Semillas de frijol, variedad "Pinto Saltillo".

Tratamientos	Soluciones	Dosis (ml L ⁻¹)
1	FGFe	2
2	FGFe	4
3	FGFe	6
4	FGFe	8
5	FGFe	10
6	FLFe	2
7	FLFe	4
8	FLFe	6
9	FLFe	8
10	FLFe	10
11	SN	100%

FGFe; Fúlvato de Gallinaza con Hierro, FLFe; Fúlvato de Leonardita con Hierro y SN; Solución Nutritiva.

Los tratamientos se distribuyeron de acuerdo al Diseño Experimental Completamente al Azar y genero 11 tratamientos, con cinco repeticiones. A los datos generados, se les efectuó un análisis estadístico, el que consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias, mediante el método de Tuckey ($p \leq 0.05$); para este se empleó el paquete estadístico MINITAB, versión 7.1 en español para Windows.

VI. RESULTADOS

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) para las variables, Área foliar de la hoja (AFH); Densidad de raíz (DR); Peso fresco de raíz (PFR); Peso seco de raíz (PSR); Volumen de raíz (VR); Hierro en raíz (FR) y Peso de granos en frijol (PGF). Indicando que los tratamientos; FLFe6, FGFe6, FGFe2, FGFe8, FGFe2, FGFe8, FGFe8 y FGFe4 fueron los que presentaron mayores valores respectivamente en las variables mencionadas (Cuadro 4).

El análisis de varianza no mostro diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para el variable hierro en hoja (FH) a los demás tratamientos, aunque numéricamente se observó que los tratamientos FGFe8 y FLFe4 fueron los que aventajaron a esta variable (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores promedio de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

TRATAMIENTOS	AFH (cm ²)	DR (ml)	PFR (g)	PSR (g)	VR (ml)	FH (mg kg ⁻¹)	FR (mg kg ⁻¹)	PGF (g)
FGFe2	47.51	0.3	113	15.2	46.2	72	2832	16.32
FGFe4	59.02	0.5	119	16.7	34.6	82	2492	63.72
FGFe6	51.01	0.8	86.1	13.1	17.2	80	2957	30.22
FGFe8	45.75	0.6	108	17.2	30.6	90	3055	27.58
FGFe10	53.75	0.7	60.7	8.03	12.2	80	2002	23.6
FLFe2	49.44	0.7	65.1	9	13.2	78	2440	52.1
FLFe4	45.23	0.5	78.4	11.3	21.2	92	2062	40.78
FLFe6	59.53	0.5	109	15.8	30.4	74	2300	22.7
FLFe8	53.22	0.5	61.5	8.33	16.6	64	2085	33.88
FLFe10	43.45	0.4	45	6.35	17.2	78	2382	31.28
SN100	53.01	0.5	91.8	12.9	27.2	84	2825	48.8

Área Foliar Hoja (AFH)

En esta variable se observa que los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 5). También, de manera gráfica, se puede apreciar que al adicionar los tratamientos 6 ml y 4 ml el área foliar supero los 59 cm², si bien no hay diferencia significativa con respecto a la solución nutritiva, los tratamientos anteriores de fúlvato superaron en aproximadamente 11 por ciento más de área foliar a la solución nutritiva (Figura 1).

Cuadro 5. Análisis de varianza para área foliar de hoja (AFH), de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	1430.0	142.9	2.29	0.02*
Error	44	2739.7	62.2		
Total	54	4169.7			

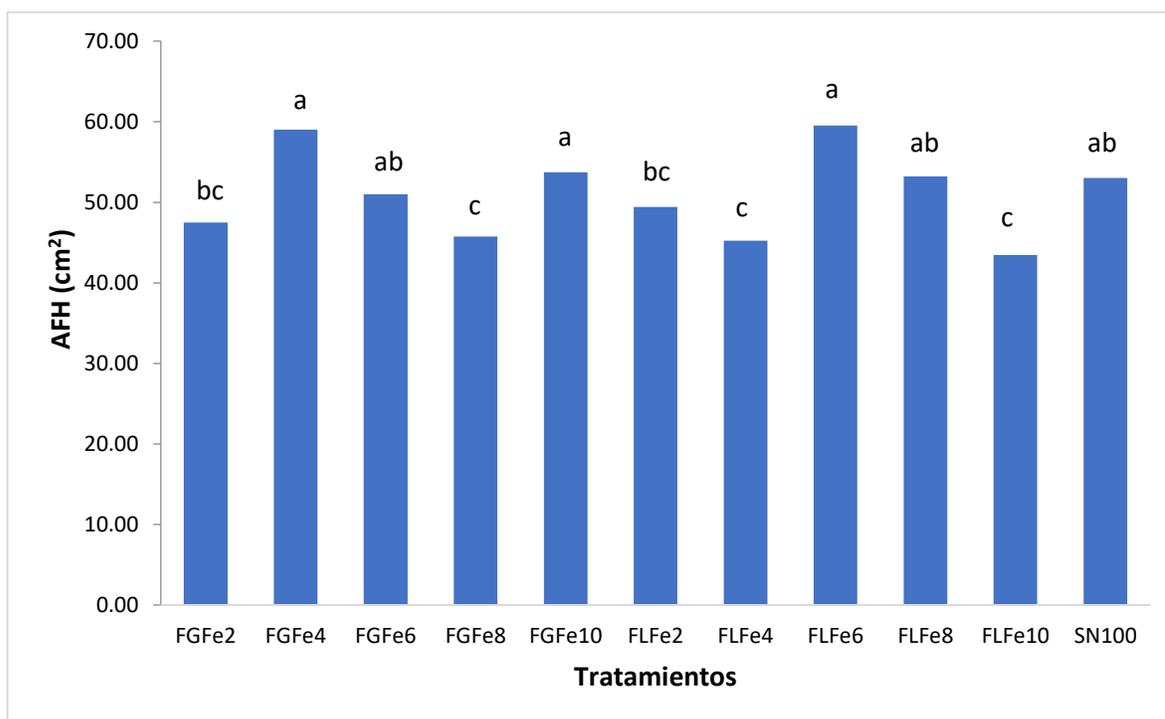


Figura 1. Área foliar de la hoja (AFH) de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Densidad de Raíz (DR)

En esta variable se observa que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 6). También de manera gráfica, se puede apreciar que al adicionar 6 ml de fúlvato de gallinaza (FGFe6), se presentó mayor densidad de raíz, lo que indica que con este tratamiento sobrepasó un 60 por ciento a la solución nutritiva, si bien no hay diferencia significativa entre ellos (Figura 2).

Cuadro 6. Análisis de varianza para densidad de raíz (DR), de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	1.1498	0.114979	3.5736	0.001 **
Error	44	1.4157	0.032175		
Total	54	2.5655			

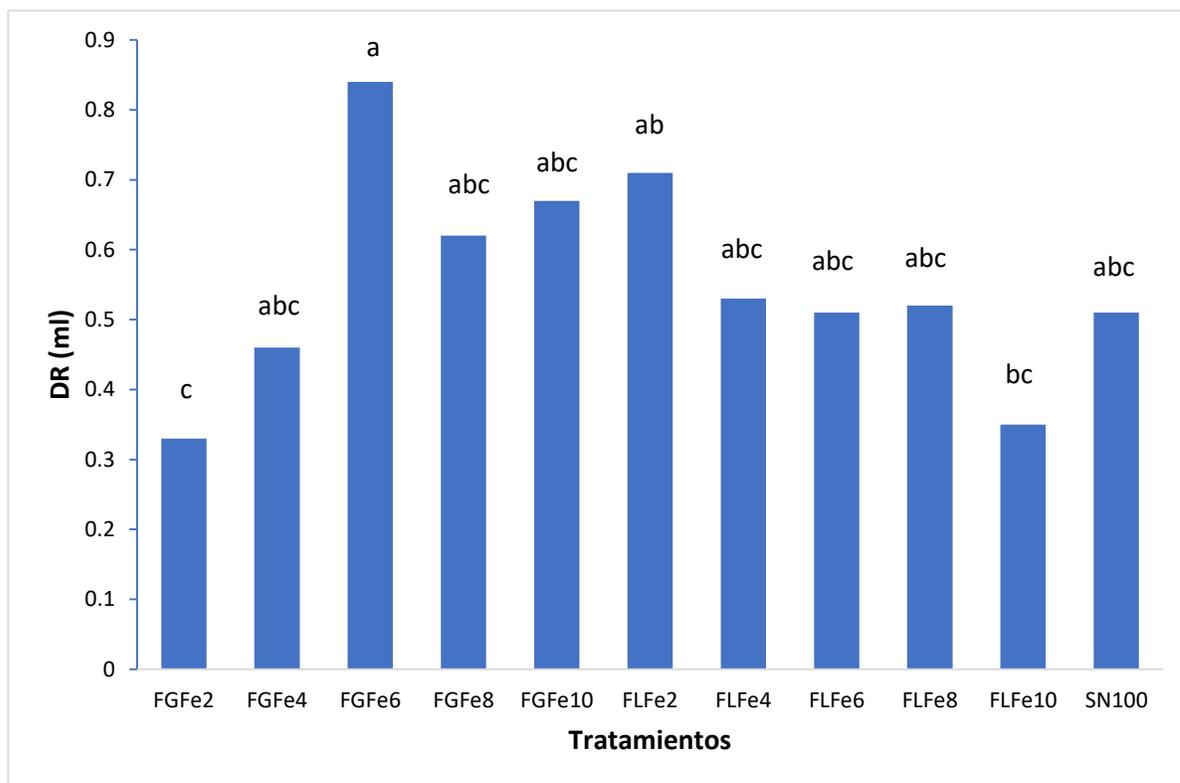


Figura 2. Densidad de raíz (DR) de frijol variedad "Pinto Saltillo". Con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y de fúlvato de leonardita (FLFe).

Peso Fresco de Raíz (PFR)

Para esta variable, de acuerdo al análisis de varianza (ANVA) realizado se puede observar que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 7). También de manera gráfica, se puede apreciar que los tratamientos FGFe2, 4, y 8 y el FLFe6 presentaron un valor por arriba de 90 g de PFR, siendo el mejor FGFe4 y fue 29 por ciento superior sobre la solución nutritiva (Figura 3).

Cuadro 7. Análisis de varianza para peso fresco de raíz (PFR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	31499	3149.93	4.0696	0.000 ***
Error	44	34056	774.01		
Total	54	65555			

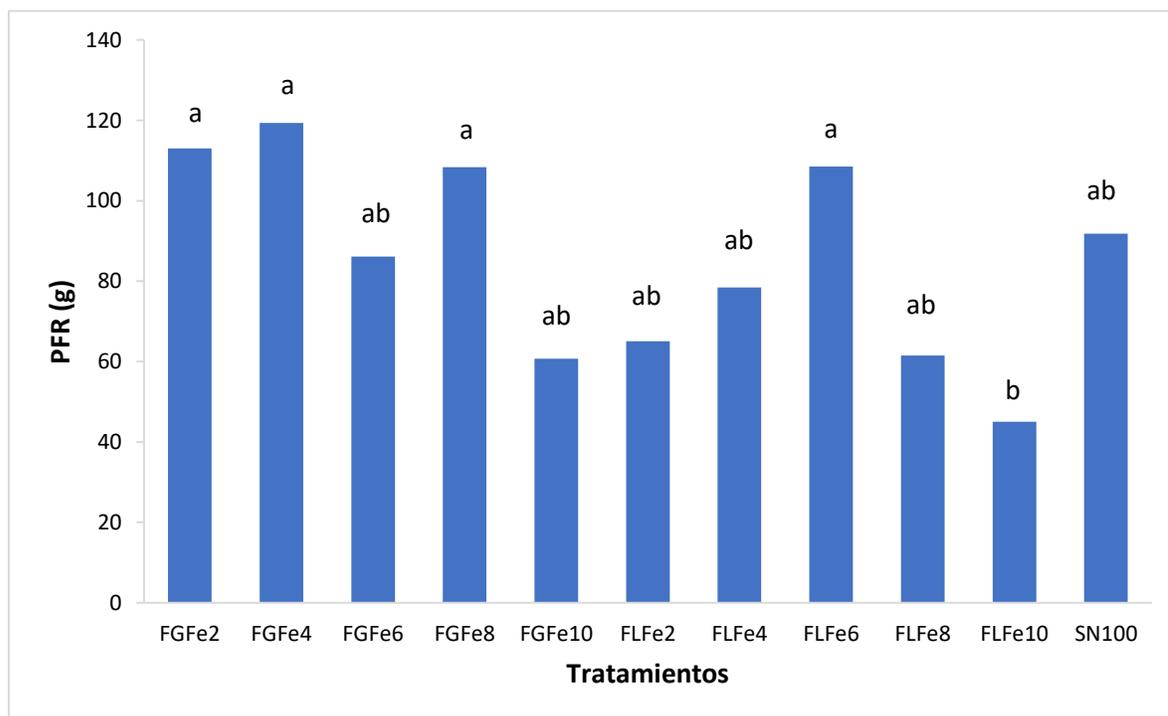


Figura 3. Peso fresco de raíz (PFR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Peso Seco Raíz (PSR)

Para esta variable se observa que los tratamientos tuvieron efecto altamente significativo (Cuadro 8). También de manera gráfica, se puede apreciar que los tratamientos FGFe2, 4, y 8 y el FLFe6 presentaron un valor por arriba de 15 g de PSR, siendo el mejor FGFe8 y fue 33 por ciento superior sobre la solución nutritiva, sin embargo no hay diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4).

Cuadro 8. Análisis de varianza para peso seco de raíz (PSR), de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	729.53	72.953	3.7585	0.001 **
Error	44	854.06	19.410		
Total	54	1583.59			

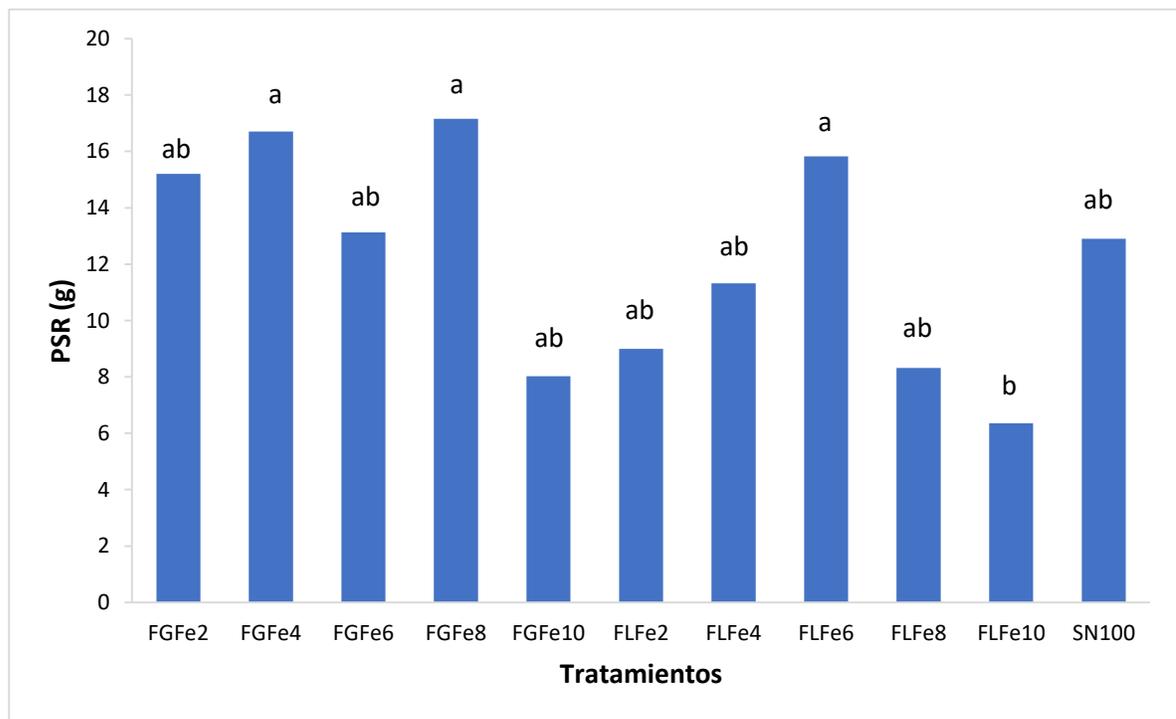


Figura 4. Peso seco de raíz (PSR) de frijol variedad "Pinto Saltillo". Con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Volumen de Raíz (VR)

Se observa, que en esta variable existe efecto altamente significativo (Cuadro 9). También de manera gráfica se observa que al adicionar 2 ml de fúlvato de gallinaza (FGFe2), presenta un mayor volumen de raíz con un valor de 46.2 ml, que sobrepasa 69 por ciento a la solución nutritiva, mientras que con el FLFe se aprecia que con la dosis baja y la dosis máxima son superadas por la dosis mediana, se puede decir que al aumentar la dosis el volumen disminuye (Figura 5).

Cuadro 9. Análisis de varianza para volumen de raíz (VR), de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	5551.5	555.15	6.3275	0.000 ***
Error	44	3860.4	87.74		
Total	54	9411.9			

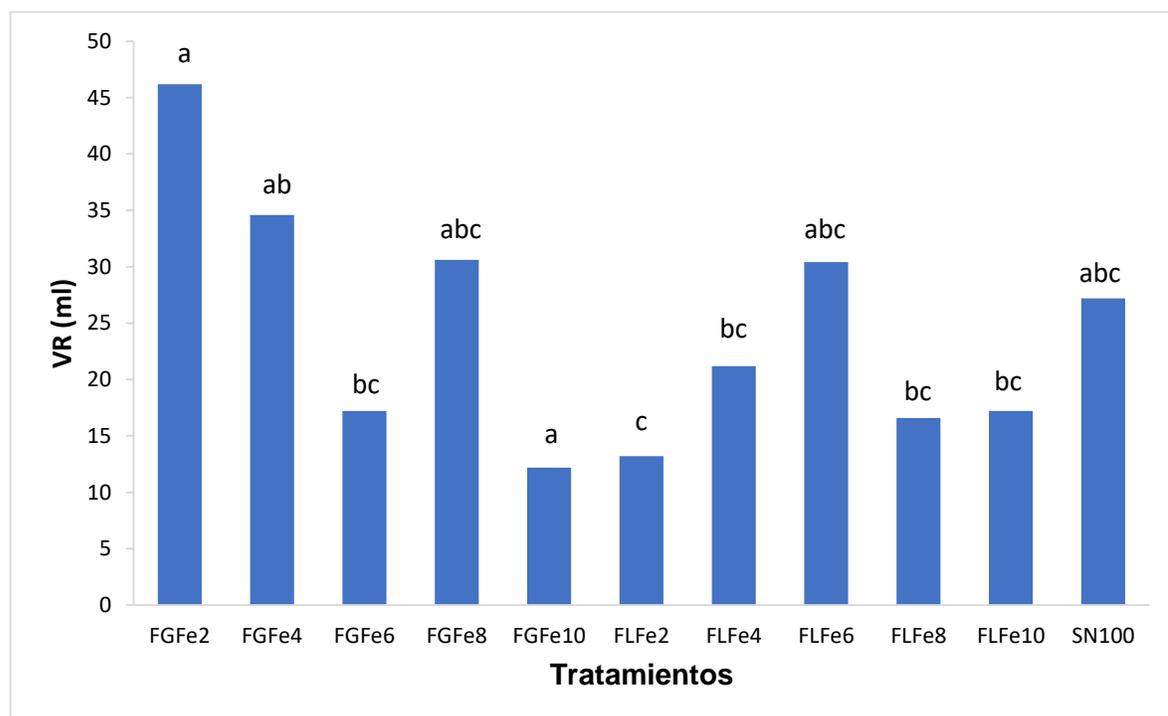


Figura 5. Volumen de raíz (VR) de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fierro en Hoja (FH)

En esta variable se observa que no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 10); sin embargo, de manera gráfica se observa que los tratamientos FGFe8 ml y FLFe4 ml, presentaron un valor por arriba de 90 mg kg⁻¹ de fierro, si bien no hay diferencia significativa con respecto a la solución nutritiva, los tratamientos mencionados superaron en aproximadamente 10 por ciento más de fierro en hoja a la solución nutritiva (Figura 6).

Cuadro 10. Análisis de varianza para fierro en hoja (FH) de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	3123.6	312.36	1.818	0.085 ^{NS}
Error	44	7560.0	171.82		
Total	54	10683.6			

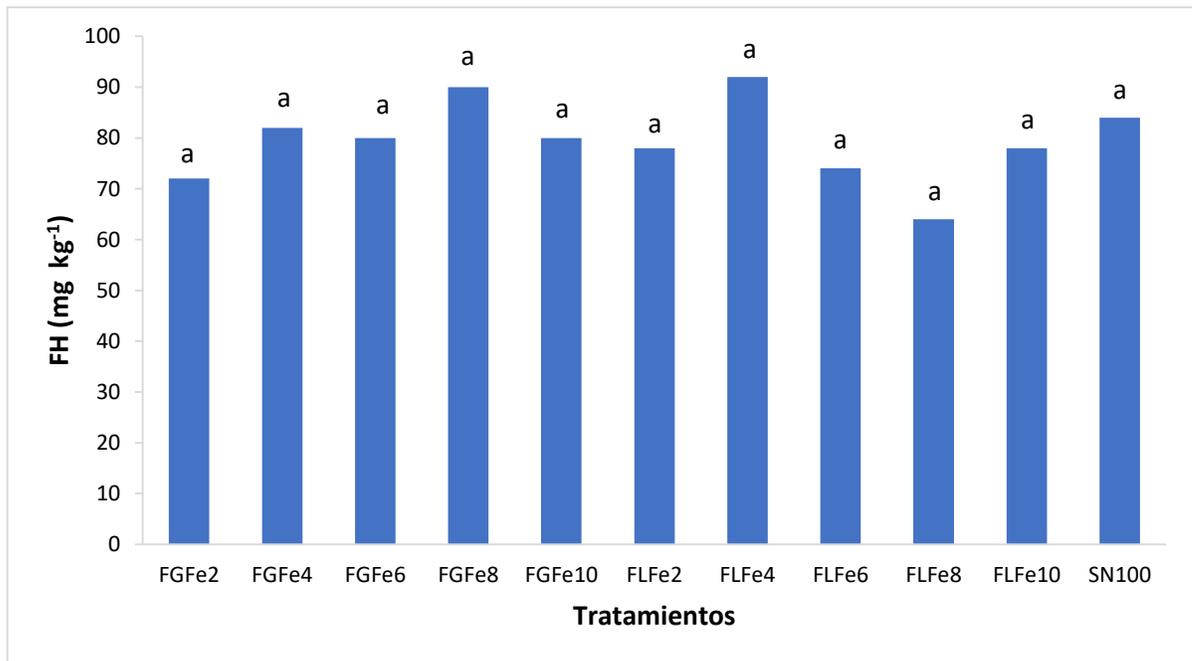


Figura 6. Fierro en hoja (FH) de frijol variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fierro en Raíz (FR)

Para esta variable se observa que los tratamientos tuvieron efecto altamente significativo (Cuadro 11). De manera general se observa que los tratamientos FGFe2, 6 y 8 ml, presentaron un valor por arriba de 2832 mg kg⁻¹ de fierro en raíz, siendo el mejor tratamiento FGFe8 y fue 8 por ciento superior sobre la solución nutritiva, si bien no hay diferencia significativa con respecto a la solución nutritiva (Figura 7).

Cuadro 11. Análisis de varianza para fierro en raíz (FR), de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe)

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	7008877	700888	6.5736	0.000 ***
Error	44	4691351	106622		
Total	54	11700,228			

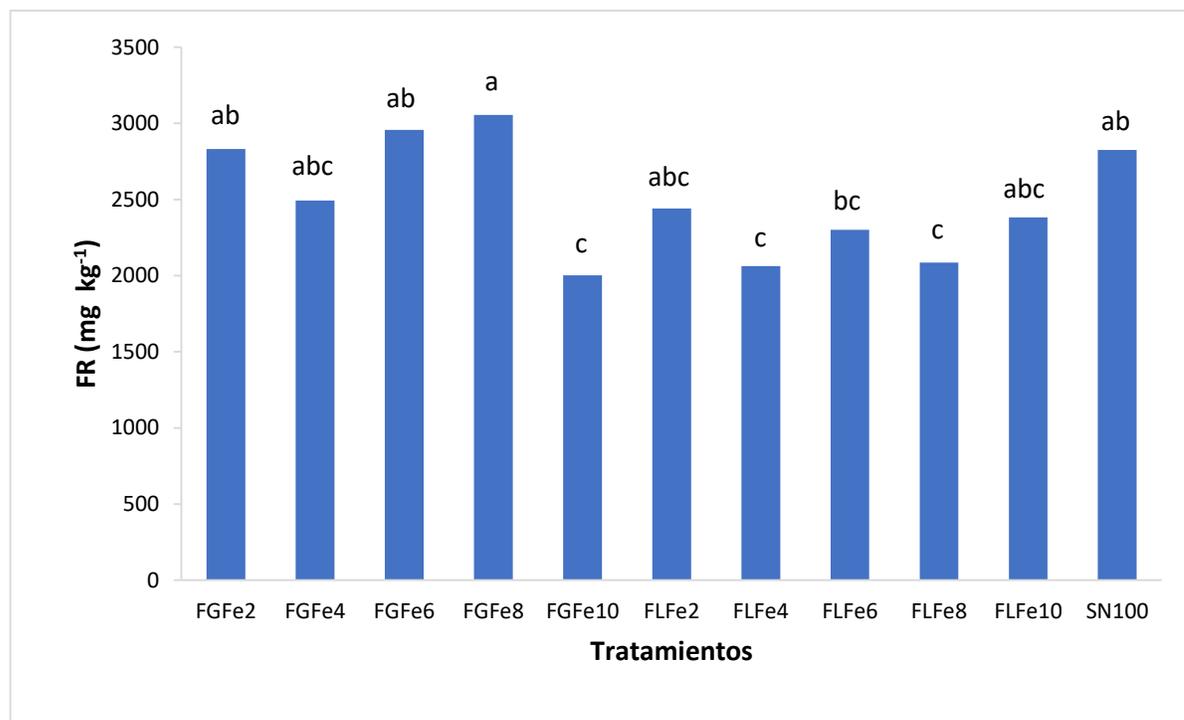


Figura 7. Fierro en raíz (FR) de frijol variedad “Pinto Saltillo”, con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Peso de Grano en Frijol (PGF)

Para esta variable se observa que los tratamientos presentaron efecto significativo (Cuadro 12). Pero en la (Figura 8), se puede observar que a medida que se aumenta la adición de FLFe el peso de granos de frijol disminuye mientras con la adición de 2 ml fue el tratamiento que más influyó con un valor de 52.1 g sobrepaso en 6.7 por ciento a la solución nutritiva, en cuanto al FGFe también se observa que al aumentar la dosis el peso disminuye pero con la adición de 4 ml fue el mejor tratamiento que presentó mayor peso con un valor de 63.72 g superando al tratamiento FLFe2 con 18 por ciento y con respecto a la solución nutritiva con 30.5 por ciento, si bien no hay diferencia significativa entre tratamientos (Figura 8).

Cuadro 12. Análisis de varianza para peso de grano en frijol (PGF), variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	10	10306	1030.58	2.1806	0.03*
Error	44	20795	472.62		
Total	54	31101			

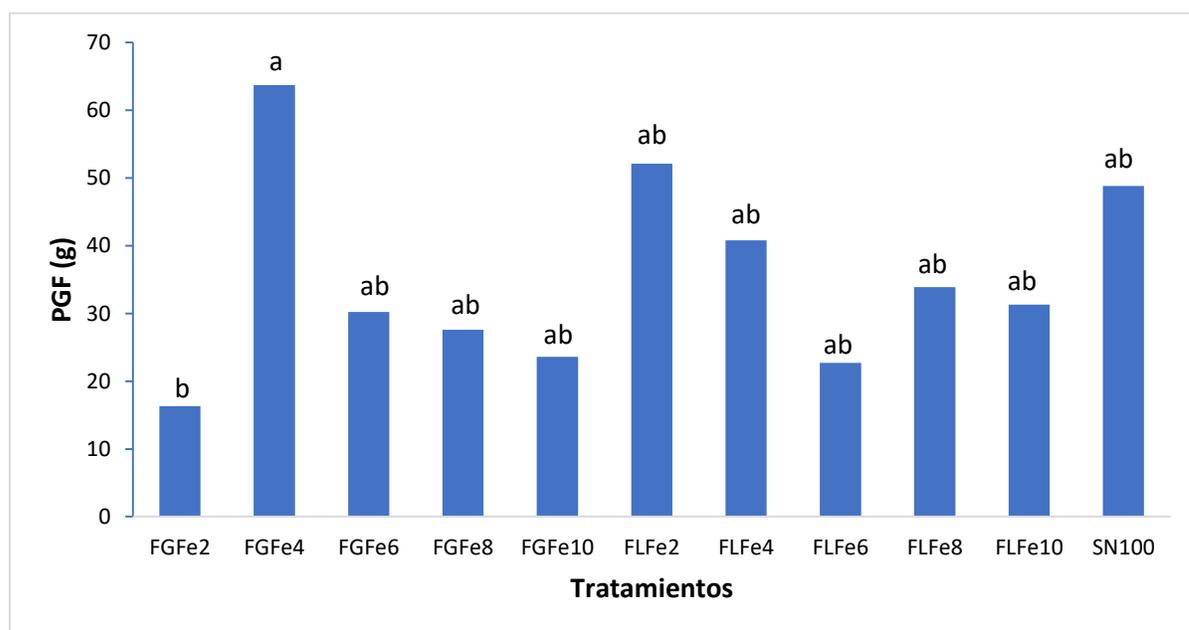


Figura 8. Peso de grano en frijol (PGF) variedad "Pinto Saltillo", con la adición de fúlvato de gallinaza (FGFe) y fúlvato de leonardita (FLFe).

VII. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación, se puede establecer que los ácidos fúlvicos realizaron el efecto superior en Área foliar de la hoja (AFH); Densidad de raíz (DR); Peso fresco de raíz (PFR); Peso seco de raíz (PSR); Volumen de raíz (VR); Fierro en raíz (FR) y Peso de granos en frijol (PGF).

Lo anterior concuerda con lo establecido por Chen y Aviad, (1990), quienes mencionan que los ácidos fúlvicos naturales estimulan el crecimiento de tallos y raíces en varias plantas, cuando se aplican con soluciones a diversas concentraciones.

Estos mismos científicos, postularon que los grupos carboxilos y los hidroxilos fenólicos y alcohólicos de los ácidos fúlvicos, son los responsables para la influencia de estos ácidos en la raíz de los hipocotíleos, como un resultado de su actividad quelatante con el fierro.

Kuiters y Mulder, (1993), comentan que los ácidos fúlvicos, dentro de sus características, poseen una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados, principalmente grupos carboxilos ($-COOH$), carbonilos ($-COO^-$) y oxhidrilos ($-OH$), por lo que tienen la particularidad de complejar y/o quelatar cationes en la solución del suelo, llevarlos a la pared celular de la raíz es decir, efecto similar a agentes quelatantes y/o complejantes y de ahí, los nutrimentos ser trasportados por los pelos radicales hasta el torrente xilematico del tallo hacia la hoja. Efecto parecido se observó en el presente trabajo ya que con los ácidos fúlvicos se encontró mayor cantidad de fierro tanto en hoja como en raíz.

Seok y Bartlett, (1976), encontraron que los ácidos fúlvicos influyen en el desarrollo de la raíz, así como en la iniciación del órgano a partir del hipocotíleo en frijol, ya que esta se ve estimulada a bajas concentraciones, resultados parecidos se encontraron en este trabajo, ya que en general en las variables estudiadas, se observa una buena respuesta a bajas concentraciones de ácidos fúlvicos.

Los resultados obtenidos en esta investigación en el caso de la variable fierro en raíz concuerdan con lo encontrado por Kumar y Soll, (2000), quienes mencionan que el fierro es poco móvil y no se transloca en la planta.

VIII. CONCLUSIÓN

Está demostrado que la aplicación de ácidos fúlvicos independientemente del origen favorecen el proceso de crecimiento y rendimiento en varios cultivos efectuando de distinta manera a diferentes partes de la planta. En este caso en la planta de frijol se presentó efecto positivo en Área foliar de la hoja (AFH); Densidad de raíz (DR); Peso fresco de raíz (PFR); Peso seco de raíz (PSR); Volumen de raíz (VR); Fierro en raíz (FR) de acuerdo a la hipótesis de que al menos una dosis de ácidos fúlvicos de dos orígenes tiene efecto positivo al aumentar la producción de granos en frijol, en este caso si se cumple ya que fue la dosis de 4 ml (FGFe) la que presentó la mejor efectividad en la mayoría de las variables medidas y con una mayor producción de frijol.

IX. LITERATURA CITADA

- Bitochi, E. 2013. "Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Mesoamérica and the Andes", 197, pp. 300–313.
- Brown, C. H. 2006. "Prehistoric Cronology of the Common Bean and the New World: The Linguistic Evidence", *American Anthropologist*, pp. 507-516.
- Bañuelos, M. S. 2017. Calidad de Chile Serrano Variedad "Tampiqueño 74" con la Adición de un Fúlvato de Fierro. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Berbara, R.L.L., García, A.C. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. In: Ahmad P., Wani, M.R. *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants in changing environments: volume 1*. Springer Science + Business Media, New York, pp 297-319
- Bocanegra, M.P., Lobartini, J.C., Orioli, G.A. 2006. Plant uptake of iron chelated by humic acids of different molecular weights. *Commun Silo Sci Plant* 37:1-2.
- Campos, C.E.A. 2017. Comportamiento de Tres Fúlvatos en la Calidad de la Fresa Variedad "Festival". Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Chen, T. A. 1990. Effects of humic substances on plant growth. 161-186. *Humic Substances in Soil and crop Sciences: Selected Reading*.
- Catherine, Eric, G., Xavier, P., Jacques, B. 2009. "Establishing nitrogen-fixing Symbiosis with legumes, *Trends in Microbiology*, pp.458-466.
- FAO/UNESCO.1990. Guía para le descripción de suelos. World Reference Base.
- FIRA. 2016. Panorama Agroalimentario de Frijol. Fideicomisos Instituidos en la Relación con la Agricultura.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/Panorama_Agro.

- Gómez, V. J. 2012. Comportamiento de Ácidos Fúlvicos de Leonardita en Raíz de Tomate y la Absorción de algunos Nutrientes. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Kuiters, A. T., W. Mulder. 1993. Water-soluble organic matter in forest soils. II. Interference with plant cation uptake. *Plant and Soil*, 152:225-235.
- Kumar, A.M., D. Soll, 2000. Antisense HEMA1 RNA expression inhibits heme and chlorophyll biosynthesis in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 122: 49-56.
- Mamatha, N. 2007. Effect of sulphur and micronutrients (iron and zinc) on yield and quality of cotton in a vertisol. Department of soil science and agricultural chemistry college of agriculture, Dharwad University of Agricultural Sciences, Dharwad-580 005.
- Manthey, J.A., D.E. Crowley, 1997. Leaf and root responses to iron deficiency in avocado. *Journal of Plant Nutrition*, 20: 683-93.
- Mohamed, A.A., Aly, 2004. Iron deficiency stimulated some enzymes activity, lipid peroxidation and free radicals production in *Borage officinalis* induced in vitro. *International Journal of Agriculture, Biology*, 6: 179-184.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol Biochem* 34:1527-1536
- Pandella, S.B., Singh, A.K., Dhar, P. 1998. Influence of fúlvic acid on transport of iron in soils and uptake by paddy seedlings. *Plant Soil* 198:117-125
- Poapst, P.A., Schnitzer, M. 1971. Fúlvic acid and adventitious root formation. *Soil Biol Biochem* 3:215-219
- Rodiño, A., Santalla, M., Montero, P., Casquero, A. 2000. Diversity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm from Portugal. *Genetic Resources and Crop Evaluation*.
- Santiago, A. M. J., Quintero, E., Carmona, A., Delgado. 2008. Humic Substances Increase the Effectiveness of Iron Sulfate and Vivianite Preventing Chlorosis in White Lupin. *Biol Fertile Soils*. 49:875-883.
- SAGARPA. 2012. "Ciclo agrícola de frijol otoño-invierno", Valle del Fuerte, Sinaloa.

- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional de Frijol Mexicano.
[https://www.gob.mx › cms › uploads › attachment › file › B sico-Frijol](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/B_sico-Frijol)
- Singh, S. P. H., Teran, C. G., Muñoz, J. C., Takegami. 1999. "Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean", *Crop Science*, 39, pp. 391–397.
- Seok, L.Y., Brtlett, R. J. 1976. Stimulation of plant Growth by Humic Substances. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 40:876-879.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: génesis, composition, reactionns.* Wiley, Nueva York
- Steves da Silva, J.C.G., Machado, A.S., Oliveria, C.J.S. 1998. Effect of pH on complexation of Fe (III) with fulvic acids. *Environ Toxicol Chen* 17:1268-1273
- Varanini, Z., Pinton, R. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In: Pinton, R. Varanini, Z. *The rhizosphere.* Marcel, Dekker. Basel, pp 141-158
- Welch, R.M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*, 247: 83-90.
- Zaharieva, T.B., J. Abadia. 2003. Iron deficiency enhances the level of ascorbate, glutathione, and related enzymes in sugar beet roots. *Protoplasma*, 221: 269-75.
- Ziaieian, A.H., M.J. Malakouti, 2006. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. *Plant Nutrition, Food Security and Sustainability Agroecosystems*, 92: 840-841.
- Zimmerli, L., Hou, B.H., Tsai. 2008. The xenobiotic beta-aminobutyric acid enhances *Arabidopsis* thermotolerance. *Plant J* 53:144-156.