

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Calidad del Chile Serrano Variedad “Tampiqueño 74” con la Adición de un
Fulvato de Hierro

Por:

SINUHÉ EFREN BAÑUELOS MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila México
Junio 2017

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Calidad del Chile Serrano Variedad "Tampiqueño 74" con la Adición de un
Fulvato de Hierro

Por:

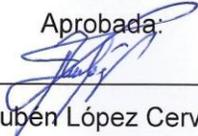
SINUHÉ EFREN BAÑUELOS MARTÍNEZ

TESIS

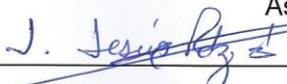
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada:


Dr. Rubén López Cervantes

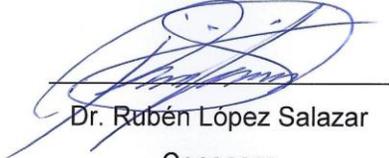
Asesor Principal


Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Coasesor


Dr. Edmundo Peña Cervantes

Coasesor


Dr. Rubén López Salazar

Coasesor


Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de

Ingeniería
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Saltillo, Coahuila México

Junio 2017



Coordinación de
Ingeniería

AGRADECMIENTOS

A mi padre **Dios**, en primer lugar a ti, por haberme dado todas las herramientas para lograr todos los retos y sueños que me he propuesto hasta el momento, por darme las fuerzas para dejar a un lado los obstáculos y seguir siempre firme en mis decisiones que me han forjado hasta ser el hombre en el que me he convertido para ahora dar este gran paso en mi vida como profesionista.

A mi **familia**, a ti madre que siempre has sido un apoyo incondicional durante toda mi vida, en especial durante mi carrera, enseñándome a ser mejor cada día, a dar lo mejor de mí para cumplir mis metas con amor, respeto y responsabilidad, siendo un ejemplo de vida a seguir; a ti padre que me enseñaste que no tengo límites y puedo hacer todo lo que me proponga como salir de mi ciudad para aventurarme desde muy temprana edad al trabajo en equipo, a estudiar una carrera y a realizar cualquier sueño que creía que estaba fuera de mi alcance, siendo un ejemplo de vida; a mi hermana, por enseñarme a ver que los hechos son una realidad y lo que interpretamos de ellos es de acuerdo a como los queremos ver, que siempre has estado como una amiga y has estado para mí cuando más te necesito; y a todas las personas que son importantes para mí que siempre han querido verme triunfar.

A mi **Alma Terra Mater**, por darme la oportunidad de formar parte de la gran familia de “Buitres” y al grupo artístico musical de “La Rondalla de Saltillo” para crear en mí la conciencia de valorar lo que uno logra con sacrificios.

Al **Dr. Rubén López Cervantes**, por haberme dado la oportunidad de aprender con cierta libertad de decidir cuánto más conocimiento adquirir, de apoyarme en la realización de este proyecto y ver en él, más que un profesor de la carrera, ver un amigo en quien confiar.

Al **Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún**, por confiar en mi conocimiento llevándome a dar ponencias en equipo a ejidos y hacerme dar cuenta que todo trabajo es fácil si disfrutas el hacerlo.

A la **M.C. Alejandra R. Escobar Sánchez**, por haber sido un apoyo en mi carrera ayudándome a cumplir con lo más importante al salir de mi casa, el terminar mi carrera en tiempo y forma.

Al **M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala**, por enseñarme que siempre hay muchas soluciones para un mismo problema, la manera en que lo resolvamos es de acuerdo al enfoque que le demos.

A **Mario Alberto Flores Hernández**, por siempre estar al pendiente de mi proyecto y ayudarme a realizar todos los aspectos prácticos.

A todos los profesores que me enseñaron el valor del conocimiento enfocados en mi carrera y en siempre ser el mejor en todo, formando ingenieros líderes en el sector agropecuario, muchas gracias.

A todos mis amigos que siempre fueron incondicionales durante mi estancia en la Narro, en especial a Checo (Sergio), Vicky chan (Víctor), Amaya (Luis), Dany (Daniel), Keren, Javi (Javier), Rober (Roberto), Picu (Eric), Evodio y Cardona que me ayudaron y me dieron apoyo para continuar en mi carrera y ser constante para lograr mis metas.

DEDICATORIAS

A ti **Dios**, pues gracias a ti fue posible hacer mi proyecto.

Padre, madre, este título se los dedico especialmente a ustedes.

A mi Padre, el Ingeniero **Efrén Bañuelos Álvarez**, por haberme brindado la confianza en mí para aventurarme fuera de la ciudad sin conocer a nadie buscando ser un buitre ingeniero, por siempre ponerme retos grandes que yo creía fuera de mi alcance desde pequeño sabiendo que yo los lograría y me harían crecer como persona y ser el hombre soñador y triunfador que soy ahora, viendo tu reflejo en mí.

A mi Madre, la Licenciada en Trabajo Social **Laura Martínez Esquivel**, por ser el todo para mí, mi madre, mi amiga, mi confidente, mi apoyo incondicional, mi ejemplo a seguir, que desde pequeño me enseñaste a ser un hombre honesto, amoroso, trabajador, responsable, líder, y aun más que siempre me has apoyado en todos mi sueños desviviéndote para que yo los cumpla y tenga otro éxito más en mi vida, sintiéndome orgulloso de ser quien soy, y aún más orgulloso de tener a la mejor madre que pudo haberme escogido para brindarme el regalo más grande, la vida.

A mi hermana, la Licenciada en Negocios Internacionales **Mariana Monserrath Bañuelos Martínez**, la persona más especial e importante en mi vida a la que siempre he visto rebasar fronteras y ser firme en sus decisiones, la que es el aire que necesito debajo de mis alas para poder volar más alto y llevarla conmigo a todas partes haciendo realidad nuestros sueños más grandes.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iv
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.....	4
2.1 General.....	4
2.2 Especifico.....	4
III. HIPOTESIS	4
IV. REVISION DE LITERATURA.....	5
4.1 Las Substancias Húmicas (SH).....	5
4.2 Los Ácidos Fúlvicos como Agente Quelatante	5
4.3 El Hierro (Fe)	7
4.4 Corrección de Deficiencias de Hierro	8
4.5 Reactividad de los Quelatos de Hierro con el Carbonato Cálcico	10
V. MATERIALES Y METODOS.....	12
5.1 Localización del Proyecto.....	12
5.2 Metodología.....	12
VI. RESULTADOS	14
6.1 Peso del Fruto (PF).....	14
6.2 Longitud del Fruto (LF)	15
6.3 Diámetro del Fruto (DF).....	16
6.4 Firmeza (FI).....	17

6.5 Sólidos Solubles Totales (SST).....	18
6.6 Número de Frutos (NF).....	19
6.7 Peso Seco del Fruto (PSF)	20
6.8 Hierro (Fe).....	21
6.9 Calcio (Ca).....	22
VII. DISCUSION	23
VIII. CONCLUSION.....	25
IX. LITERATURA CITADA.....	26

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos adicionados a chile serrano, variedad “Tampiqueño 74”.	13
Cuadro 2. Análisis de varianza para el peso del fruto (PF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.....	14
Cuadro 3. Análisis de varianza para la longitud del fruto (LF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.....	15
Cuadro 4. Análisis de varianza para el diámetro del fruto (DF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.	16
Cuadro 5. Análisis de varianza para la firmeza del fruto (FI), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.....	17
Cuadro 6. Análisis de varianza para los sólidos solubles totales del fruto (SST), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.	18
Cuadro 7. Análisis de varianza para el número de frutos (NF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.....	19
Cuadro 8. Análisis de varianza para el peso seco de frutos (PSF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.	20
Cuadro 9. Análisis de varianza para el contenido de fierro del tejido vegetal de follaje (Fe), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro...	21
Cuadro 10. Análisis de varianza para el contenido de calcio del tejido vegetal de follaje (Ca), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de fierro.	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Peso del fruto (PF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	14
Figura 2. Longitud del fruto (LF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	15
Figura 3. Diámetro del fruto (DF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	16
Figura 4. Firmeza del fruto (FI) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	17
Figura 5. Sólidos solubles totales (SST) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).....	18
Figura 6. Número de frutos (NF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	19
Figura 7. Peso seco del fruto (PSF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).	20
Figura 8. Contenido de fierro del tejido vegetal de follaje (Fe), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).....	21
Figura 9. Contenido de calcio del tejido vegetal de follaje (Ca), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).....	22

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de un fulvato de hierro, en la calidad del chile serrano, variedad "Tampiqueño 74", fueron producidas plántulas en charolas de poliestireno de 200 cavidades, que contenían un sustrato de "peat moss" con "perlita" (relación 1:1 v/v); cuando la plántula media 10 cm de longitud, fue pasada a macetas de poliestireno de 240 ml de capacidad, con el fin de aumentar su masa radicular y cuando la plántula, contenía tres pares de hojas verdaderas, fue trasplantada en macetas de plástico que contenían 25 kg de un suelo Calcisol. Les fueron adicionados 2, 4, 6, 8, 10 y 12 ml L⁻¹ de agua de un fulvato de hierro (FFe) y una solución nutritiva (SN-testigo), como tratamientos. Las variables medidas al fruto: peso fresco (PF), longitud (LF), diámetro (DF), firmeza (FI), sólidos solubles totales (°Brix), número (N°F), peso seco (PSF) y al tejido vegetal de follaje, el hierro (Fe) y el calcio (Ca). Se encontró que al adicionar 12 ml L⁻¹ del FFe, en el PF, LF y DF, superaron a la SN en 145, 22 y 14 %, respectivamente; al aplicar 2 ml.Litro⁻¹, en los SST, N°F, Fe y Ca, los valores aventajaron en 16, 44, 190 y 244 % al testigo, respectivamente. Al agregar 4 ml L⁻¹ del FFe, se adelantó en 13 % a la SN en la FI y en 71 % en el PSF, con 10 ml.Litro⁻¹. En conclusión: la superior dosis del Fulvato de Hierro (FFe), realizó efecto positivo en el Peso (PF), longitud (LF) y diámetro del fruto (DF), mientras que, la cantidad más baja lo efectuó en el resto de las variables medidas.

Palabras clave: *Substancias húmicas; fulvato; Capsicum annum.*

I. INTRODUCCION

Todos los chiles son del genero *Capsicum*, de la familia de las solanáceas. Los estudios taxonómicos coinciden en que son cinco las especies cultivadas: *Capsicum baccatum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. annuum*, de ellas, esta última es la más importante. El *C. annuum* agrupa la mayor diversidad, ya sean cultivadas o silvestres. Destacan las siguientes variedades: guajillo o mirasol, piquín, de árbol, serrano, jalapeño, poblano y chilaca; los tres últimos una vez secados se denominan chipotle, ancho o mulato y pasilla, respectivamente. El cultivo de *C. annuum* se adapta a los distintos climas y tipos de suelo del país, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2,500 m.s.n.m. (Zegbe *et al.*, 2012).

El chile serrano tiene cierto grado de pungencia con valores en unidades Scoville (SHU), de tamaño pequeño y color verde si esta inmaduro y rojo al llegar a su madurez. Es de forma cilíndrica, cuyo ápice termina en punta lisa. En promedio, mide de 3 a 5 cm de largo y un centímetro de diámetro. Su cascara es tersa y brillante, nunca opa o arrugada, en general se consume inmaduro. Llamado también chile verde, adquiere su nombre por el lugar de cultivo de origen las sierras de los estados de Puebla, Hidalgo y México. El chile serrano, en México, está considerado dentro de la dieta alimenticia básica y su importancia económica, es fundamental por su consumo y la mano de obra que genera a través de los jornales.

De acuerdo con las estadísticas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008), la producción mundial de chile fresco o verde fue de 25.9 megatoneladas (MT). El chile es cultivado en ciento cuatro países alrededor del mundo en aproximadamente 1.7 millones de hectáreas. El rendimiento varía desde 1.0 hasta 280 toneladas por hectáreas en Etiopia y Holanda, respectivamente. El extraordinario rendimiento de Holanda (junto con

Reino Unido, Bélgica, Finlandia, entre otros), es debido a que se produce bajo sistemas de protección agrícola. En contraste, en países de desarrollo, donde por lo regular se produce a cielo abierto (en campo), el rendimiento fluctúa entre 1.0 toneladas por hectárea como en Etiopía y 99.4 toneladas por hectárea en la República de las Islas Maldivias. Cabe señalar, que China es el productor líder al cosechar 50.4 por ciento de los chiles en el mundo. Los diez países con mayor producción a cielo abierto, en términos de porcentaje, se enlistan a continuación: China (50.4), Turquía (7.1), México (6.5), España (4.2), Estados Unidos de América (3.5), Indonesia (3.4), Nigeria (2.8), Egipto (1.8), República de Corea (1.5) e Italia (1.3).

Los suelos de los Estados de México, productores de chile serrano, principalmente son Calcisoles, los que se caracterizan por poseer pH alcalino, menos del uno por ciento de Materia Orgánica (MO), más de 2 dS.m⁻¹ de Conductividad Eléctrica, entre el 17 y 22 por ciento de Carbonatos de Calcio, Textura limo-arcillosa y la fase de intercambio, es dominada por las Illitas; lo anterior, provoca que el hierro (Fe) sea fijado en este tipo de suelos y las plantas a causa de ello, entre otros factores, presentan deficiencias; estas pueden ser corregidas con sales inorgánicas (fertilizantes); quelatos sintéticos y adición de materia orgánica, tanto sólida como líquida.

De acuerdo con Marschner (1995), las funciones fundamentales en la planta del Fe son: síntesis de proteínas, como la peroxidasa para la formación de lignina y suberina; formación de la molécula de clorofila; junto con el calcio, inhibe la formación del etileno e interviene en la fotorespiración y dependiendo de las características del suelo, sobre todo el pH, las plantas desarrollan mecanismos fisiológicos para la absorción de este elemento, donde intervienen ácidos orgánicos generados por la raíz. Una forma de proporcionar hierro a las plantas, es a través de la adición de quelatos de este elemento; sin embargo, estos compuestos son sintéticos, difícil de conseguir y costosos.

En los últimos años, con el auge de la agricultura sostenible y/o sustentable, el uso de compuestos orgánicos como agentes quelatante y/o complejantes, va en aumento; así, el empleo de las sustancias húmicas (SH), está muy generalizado y estas sustancias son definidas por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS-2013), como una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (proceso denominado Humificación). La lignina de las plantas y sus productos de transformación como los polisacáridos, melanina, cutina, proteínas, lípidos y ácidos nucleídos, son importantes componentes en este proceso y Stevenson (1984), las clasifica en: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), de acuerdo a su solubilidad en ácidos o álcalis.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Determinar el efecto de un fulvato de fierro, en la producción y calidad del chile serrano, variedad "Tampiqueño 74".

2.2 Especifico

Establecer la dosis óptima de un fulvato de fierro que aumente la producción y calidad del chile serrano, variedad "Tampiqueño 74".

III. HIPOTESIS

Al menos una dosis de un fulvato de fierro, tiene efecto positivo en las variables de calidad del chile serrano, variedad "Tampiqueño 74".

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Las Substancias Húmicas (SH)

Gracias al profundo estudio de las sustancias húmicas, que se han realizado en los últimos 100 años y siguiendo los criterios de Kononova (1996), estas se pueden clasificar y fraccionar en los siguientes grupos: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR). El origen etimológico de los AF proviene de: *ful*, del inglés antiguo *full*, que quiere decir lleno de, que tiene la habilidad o tendencia a; y *vic*, del francés antiguo *vicare* que significa cambio, alteración doblar y/o cambiar. También existe la palabra *fulvus*, que proviene del latín, la cual significa amarillo intenso, amarillo rojizo, dorado o color moreno (Ehrlich, 2002).

En cuanto a la composición elemental de diferentes AH y AF, los estudios realizados muestran que la mayoría de los elementos que los conforman son: C, H, O, N, S, los cuales están presentes independientemente de país o continente en el que se originaron. Así mismo, los AF contienen mayor cantidad de grupos funcionales en su estructura, particularmente grupos $-COOH$, es decir, la cantidad de grupos ácidos, es de 900-1400 mmol/100g y es considerablemente mayor que en los AH (400-870 mmol/g). Otra diferencia importante de los grupos funcionales ($-COOH$, $-OH$, $=C=O$); mientras que, en los AH el oxígeno forma parte del núcleo de sus estructura (Stevenson, 1994).

4.2 Los Ácidos Fúlvicos como Agente Quelatante

Las SH forman quelatos con cationes de metales alcalinos, alcalinotérreos y con otros metales, dando origen a humatos y fulvatos. 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 al hierro transformándolo de Fe^{3+} a Fe^{2+} (Santiago, 2008). Los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinotérreos, ya que se compleja hierro

y zinc más rápido que el sodio; por lo que, al adicionar AF y Fe es más abundante en tejido vegetal de follaje de tomate ya que hay mayor cantidad de calcio y resulta muy favorable para corregir la clorosis férrica en el cultivo de altramuz (Orlov 1995).

La presencia de las SH, promueven el crecimiento de plantas de vid además aumenta en el número de brotes laterales, mayor altura, mayor contenido de materia seca de hojas, tallos raíces y aumento de la clorofila total, se ha encontrado que aumenta la concentración foliar de clorofilas totales conforme aumenta la dosis de aplicación de sustancias húmicas. Además, de que promueve un mayor contenido de carbohidratos, y concentración de clorofila en hojas y brotes. Aumenta los niveles de fósforo y potasio en raíces como también los niveles de calcio, magnesio y zinc en hojas (Ramos, 2000).

Este mismo investigador, establece que la aplicación de AF durante la floración puede llegar a tener efectos negativos; pero, aplicados durante la fructificación los AH estimulan la acumulación de pigmentación y ayuda a que las hojas tengan mayor eficiencia fotosintética, esto a su vez tiene como consecuencia frutos de mayor calidad, ya que en la etapa de fructificación hay mayor demanda de carbohidratos. Además, continúa diciendo que tienen efecto sobre los parámetros de calidad de frutos que se manifiesta en aumento de la acidez, la conductividad eléctrica, los ácidos solubles y la vitamina C.

Aunque la influencia de las SH, es más acusada sobre las raíces, existen numerosos estudios de su efecto sobre la parte aérea. Así, Rauthan *et al.* (1981), estudiaron la incidencia de la aplicación de los AF a la disolución nutritiva (Hoagland), en plantas de pepino. El resultado se muestra, en el óptimo crecimiento de los tallos para dosis de 100 a 300 mg.litro⁻¹. Mientras que, Chen

et al. (1990), mencionan que las SH, mezcladas con soluciones minerales, ayuda al crecimiento de varias especies vegetales lo que hace creer que las sustancias orgánicas, actúan como hormonas de crecimiento vegetal; pero, otros autores como Olsen (1982), aseguran que el efecto positivo de las SH sobre las plantas, se puede atribuir a la solubilización de iones como Fe, por lo que cuando se utilizan SH para mejorar el crecimiento de las plantas, es necesario suministrar suficiente cantidad de minerales.

Según los resultados reportados en la literatura de investigación de los efectos positivos de las SH, se observó por primera vez en factores fisiotécnicos que refleja un crecimiento tales como aumento de los brotes y longitud de la raíz o el peso fresco y seco para cada órgano de maíz. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en el crecimiento de planta jóvenes, y hay poca información disponible sobre el efecto de las SH en conjuntos en plantas maduras (las etapas avanzadas de desarrollo, es decir, la floración). En plantas de olivo estimula el crecimiento de brotes (Escobar 1996).

4.3 El Hierro (Fe)

El hierro (Fe) es un micro elemento esencial en la nutrición vegetal. Forma parte de la clorofila e interviene en el metabolismo del nitrógeno y en la respiración de las plantas. La carencia de Fe en las plantas es conocida como clorosis férrica y, se manifiesta por la decoloración de las zonas intervenales de las hojas jóvenes, que adquieren un color amarillo mientras que los nervios permanecen verdes. En casos de deficiencias graves, puede amarillear toda la hoja e incluso necrosarse (Marschner, 1995).

El Fe existe en cantidad suficiente en el suelo, es el cuarto elemento más abundante de la litosfera; por tanto, los factores que afectan a la solubilidad de

las especies de Fe móviles, van a ser los determinantes de que la planta disponga de más o menos cantidad de Fe en la disolución nutritiva. En el suelo la especie predominante es el Fe^{+3} , y disminuye su disponibilidad al precipitar los óxidos e hidróxidos de Fe cuando aumenta el pH. El descenso del pH en una sola unidad, puede incrementar la solubilidad de los compuestos de Fe 1000 veces (Lindsay *et al.*, 1982) y de esta forma, mejorar la movilización del Fe en el suelo.

La clorosis férrica, puede producirse tanto por falta de hierro en el suelo, como por encontrarse en formas no asimilables, especialmente en suelos calcáreos pobres en materia orgánica. La solubilidad del Fe, decrece rápidamente al amentar el pH del suelo (Marschener, 1995). Lindsay (1982), dice que una de las causas más comunes es la presencia de los altos niveles de carbonatos en el suelo de cultivo, lo que hace que el pH de los mismos este fuertemente taponeando a valores en torno al ocho (Lindsay, 1982) y esto, se traduce a una baja solubilidad de Fe en el suelo, en la mayoría de los casos insuficientes para cubrir las necesidades del vegetal y en la inhibición de los mecanismos de toma de Fe por las plantas (Lucena, 2000).

4.4 Corrección de Deficiencias de Fierro

De acuerdo con Lindsay (1982), a corto plazo las formas de corregir la carencia de fierro son: 1) aplicación de quelatos de hierro (EDTA, DTPA, HEDTA ó EDDHA) al suelo o por vía foliar, en cultivos anuales. Las aplicaciones al suelo, son costosas y poco efectivas, 2) aplicación de sales de hierro (como el sulfato de hierro), al suelo o por vía foliar, 3) adición de ácido fosfórico, sulfúrico o nítrico (o KOH si el suelo es acido), en el agua para modificar la solución al suelo. Las dosis recomendadas, varían de acuerdo a la situación, pero las aplicaciones de 10 a 20 litros por hectárea por semana, son comunes en sistemas de producción de riego por goteo.

Este mismo autor, comenta que la mejor forma de evitar la carencia de Fe, en los cultivos, es la aplicación de quelatos. El agente quelatante Fe EDDHA (Ácido etilen diamino di orto hidroxifenil diacetico), es uno de los más eficaces en suelos, sustratos y aguas calizas, ya que es máxima su estabilidad frente al pH en el rango de 4-9 y mínima su reactividad con los componentes del suelo (Alvarez- Fernandez *et al.*, 1997).

Las bajas temperaturas, disminuyen el desarrollo radicular y por tanto, provocan una reducción en la capacidad de absorción del Fe por la planta (Chaney, 1994), y estudió el efecto de la temperatura en el proceso de absorción del Fe en plataneras y encontró que el máximo de absorción se producía por encima de las 37/30°C (temperatura día /noche) y que cuando las temperaturas descendían hasta los 17/10°C, la absorción era dos o tres veces menos que en el óptimo de temperatura.

Además, Kannan (1984), observó que la fuente inorgánica más común para combatir la clorosis es el sulfato ferroso (FeSO_4). Para que las aplicaciones al suelo de hierro inorgánico sean eficaces es necesario aplicar grandes cantidades. Así, para lograr los máximos rendimientos en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es necesario aplicar entre 560 kg por hectárea y 200 kg por hectárea. Las fuentes de hierro inorgánicas, son transformadas de manera rápida a formas no asimilables por la planta, sobre todo en suelos calizos. Las aplicaciones de Fe a banda, son más eficaces que las aplicaciones que a toda la superficie, ya que el contacto fertilizante-suelo está más limitado con la aplicación a banda y para evitar esta conversión, se usan algunos métodos en los que se aplica H_2SO_4 al suelo, FeSO_4 con residuos orgánicos y/o fertilizantes tipo ácido.

Según Chen *et al.* (1990), existen tres procedimientos mediante los cuales los materiales orgánicos pueden contribuir a prevenir o corregir la clorosis férrica:

1. Consideremos la posibilidad quelatante de la materia orgánica. El hierro como FeSO_4 puede ser añadido al material orgánico, formándose quelatos férricos, lo suficientemente estables para mantener al hierro en disolución. En sus estudios la materia orgánica enriquecida con Fe, disminuyó los efectos de la clorosis férrica; sin embargo, la aplicación del mismo material orgánico sin hierro, incrementó los efectos de la clorosis producida por carbonatos.
2. Los compuestos orgánicos pueden actuar como un transportador de Fe, manteniéndolo en una forma intercambiable, las raíces crecen libremente hacia la matriz orgánica donde absorben el Fe necesario.
3. La materia orgánica (MO) tiene carácter acidificante, lo que facilita la solubilización del Fe, para evitar la inactivación de las formas de hierro en suelos con altos contenidos de bicarbonato. La materia orgánica (MO), tiene que ser aplicada en grandes cantidades.

4.5 Reactividad de los Quelatos de Fierro con el Carbonato Cálcico

La magnitud de estas reacciones de fijación de los quelatos sobre los suelos calizos, depende de la concentración y granulometría del carbonato de calcio (CaCO_3), es de las fracciones más finas (caliza activa) y las principales responsables de estas reacciones (Ruiz *et al.*, 1982); además, señalaron retenciones del FeEDDHA de hasta el 83 por ciento en un suelo con solo el 0.9 por ciento de CaCO_3 . Los autores observaron que las diferencias en la retención eran sobre todo debidas a la cantidad de quelato añadido. Sanchez-Andreu *et al.* (1991), comprobaron que la adsorción de FeEDTA y FeEDDHA, sobre suelos con contenidos en carbonato cálcico entre 40 y 60 por ciento, oscilaba

también en función de la cantidad de quelato adicionado al suelo y es más retenido el FeEDDHA a concentraciones altas. También, estudiaron la retención de un quelato férrico comercial (Sequestrene) en suelos, con alrededor del 40% de CaCO_3 , proponiendo que el mecanismo de dicha retención consiste en la adsorción del quelato sobre la superficie del carbonato cálcico.

Akinremi *et al.*(2000), concluyeron que la adición de Leonardita, provocaba mejoras en los niveles foliares de N, P, K de cultivos como nabos, trigo y judías. Además, en el cultivo de nabos se propicia un aumento en el nivel de azufre. Estos resultados se deben, según los autores, a una combinación de los efectos directos de los AH sobre los procesos fisiológicos de la planta, y un efecto indirecto incrementando la disponibilidad de nutrientes para el vegetal. Los mismos autores, observaron que la adición de $1280 \text{ mg-litro}^{-1}$ de AH, incrementaron los niveles foliares de P, K, Ca, Mg y radicales de N, y Ca en plantas de tomate fertirrigadas.

Loeppert *et al.*(1994), también comentan que hay que tener en cuenta a la materia orgánica, ya que en determinadas circunstancias puede incrementar la clorosis férrica. Esto sucede cuando la materia orgánica se añade a suelos muy húmedos o encharcados, afectando especialmente a dicotiledóneas, ya que se produce un incremento en el consumo y acumulación de O_2 , que provoca un aumento de los niveles de bicarbonatos en la rizosfera. También, Albuzio *et al.* (1986) encontraron aumentos en los niveles foliares de Fe en plantas de avena, tratadas con SH de diversos tamaños moleculares, correlacionan los mismos con las concentraciones foliares de clorofila. Además, las SH no solo incrementan la solubilidad del Fe de las raíces a los tallos; sino que, encontraron que plantas de arroz y maíz en cultivo hidropónico con disoluciones nutritivas a pH 7, presentan síntomas cloróticos, incluso tras la adición de AH con fuentes de Fe.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del Proyecto

La presente investigación, 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 en 25° 21' Latitud Norte y 101° 02' Longitud Oeste, con una altitud de 1742 m.s.n.m.

5.2 Metodología

Semillas de chile serrano, variedad "Tampiqueño 74", fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades, que contenían un sustrato de peat moss con perlita (relación 1:1 v/v); cuando la plántula media 10 cm de longitud, fue pasada a macetas de poliestireno de 240 ml de capacidad, con el fin de aumentar su masa radicular y cuando las plántulas, contenían tres pares de hojas verdaderas, fueron trasplantadas en macetas de plástico que contenían 25 kg del horizonte Ap de un suelo Calcisol (World Reference Base-FAO/UNESCO, 1984). A los tres días después del trasplante, fueron fertilizadas de acuerdo a los Índices de Steiner y una Conductividad Eléctrica de 1.3 dS.m⁻¹. Les fueron adicionados 2, 4, 6, 8, 10 y 12 ml.Litro⁻¹ de agua de un fulvato de hierro (FFe) y como control se aplicó una solución nutritiva completa (Cuadro 1).

La preparación de los tratamientos fue de la siguiente forma: Leonardita fue molida en un mortero y tamizada a una malla de dos milímetros; a este mineral fósil, le fue adicionado hidróxido de potasio, 0.2N (KOH, 0.2N) y puesto en "Baño María" durante dos horas a 60°C, para de esta forma extraer los AH y los AF. Con ácido acético al 98 por ciento, se llevó el pH a cuatro de la solución y fueron separados ambos compuestos orgánicos; los AH fueron desechados y solo se emplearon los AF para formar los fulvatos. La elaboración del fulvato de hierro fue que a los AF, se les agregó sulfato ferroso donde el elemento fue a la

concentración del dos por ciento y como control, se aplicó una solución nutritiva completa (Cuadro 1).

Las variables medidas al fruto fueron: peso fresco (PF), longitud (LF), diámetro ecuatorial (DE) (vernier Stainless-Steel, marca Truper), firmeza (FF) (penetrometro, Fruit Hardness Tester, Modelo FHT 200. EXTECH, instruments), solidos solubles totales (SST) (°Brix – Refractómetro, Master Refractometer, Marca ATAGO), numero (NF), peso seco (PSF) y al tejido vegetal de follaje, el contenido de hierro (Fe) y calcio (Ca).

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos adicionados a chile serrano, variedad “Tampiqueño 74”.

Tratamientos	Dosis (ml.L ⁻¹ de agua)
FFe2	2
FFe4	4
FFe6	6
FFe8	8
FFe10	10
FFe12	12
SN	100%

FFe; Fulvato de hierro y SN: Solución nutritiva.

El trabajo se distribuyó de acuerdo al Diseño Experimental Completamente al Azar, arrojó siete 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 esto se empleó el paquete estadístico MINITAB, versión 17 en Español para Windows.

VI. RESULTADOS

6.1 Peso del Fruto (PF)

En esta variable, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 2). También, de manera gráfica, se puede apreciar que al adicionar 12 ml.litro⁻¹ de agua del fulvato de hierro (FFe12), se presentó el peso mayor y al agregar 4ml.litro⁻¹ se sobrepasó en 145 y 75 por ciento, respectivamente a la solución nutritiva (SN) (Figura 1).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el peso del fruto (PF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	144990	24165	6.51	0.000**
Error	28	103908	3711		
Total	34	248899			

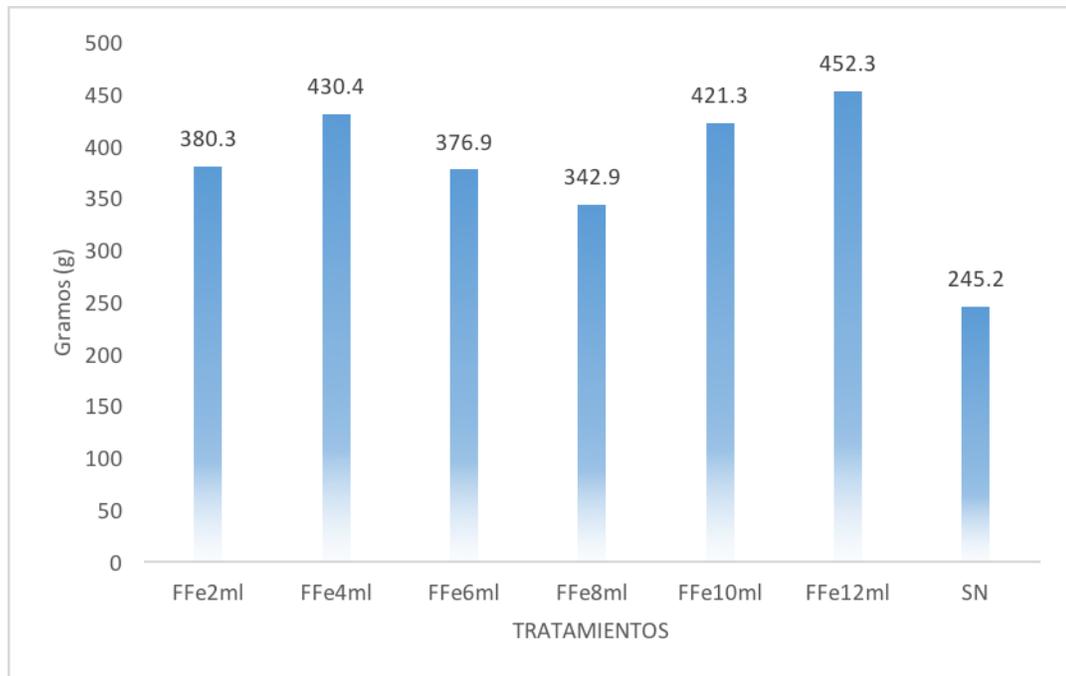


Figura 1. Peso del fruto (PF) de chile serrano variedad “Tampiqueño 74” con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.2 Longitud del Fruto (LF)

En esta variable, no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 3); sin embargo, de manera gráfica se puede apreciar que la dosis del fulvato de hierro (FFe) la cantidad de 12 ml.litro⁻¹ de agua, fue con la que se presentó la longitud mayor y la segunda dosis al igual que en el PF, fue la de 4ml.litro⁻¹, ya que adelanto a la solución nutritiva (SN) en 22 por ciento en ambos tratamientos (Figura 2).

Cuadro 3. Análisis de varianza para la longitud del fruto (LF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	24.49	4.082	1.76	0.145 ^{NS}
Error	28	65.08	2.324		
Total	34	89.57			

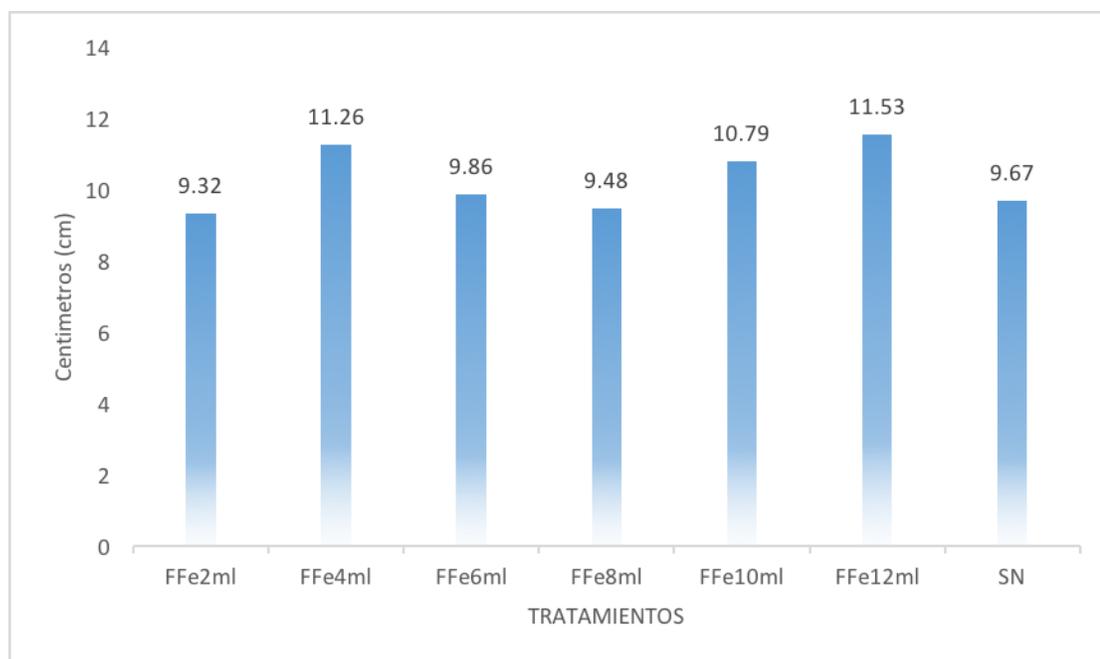


Figura 2. Longitud del fruto (LF) de chile serrano variedad “Tampiqueño 74” con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.3 Diámetro del Fruto (DF)

De forma idéntica que en la variable anterior, los tratamientos no realizaron efecto significativo en esta variable medida (Cuadro 4); pero, con base en la Figura 3, se aprecia que al aplicar 12 ml.litro⁻¹ de agua del FFe, al superar a la SN en 14 por ciento. Aquí, se observa que conforme se aumentó la dosis del FFe, los valores también aumentaron.

Cuadro 4. Análisis de varianza para el diámetro del fruto (DF), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74", con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	0.5131	0.08552	1.97	0.104 ^{NS}
Error	28	1.2145	0.04338		
Total	34	1.7276			

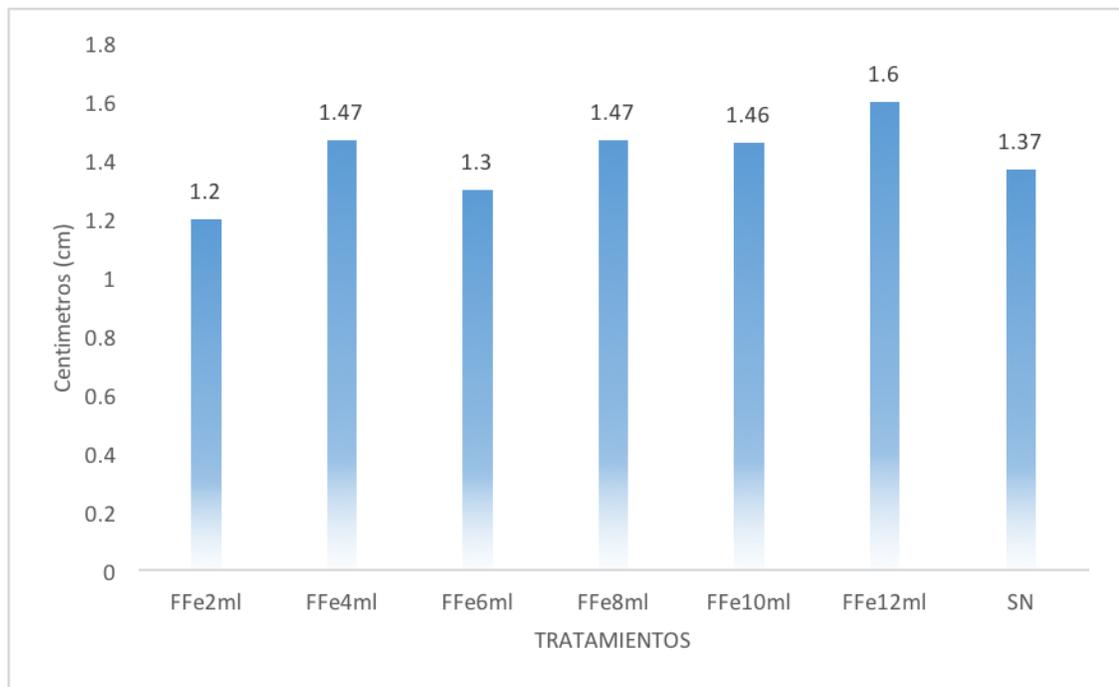


Figura 3. Diámetro del fruto (DF) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.4 Firmeza (FI)

En el Cuadro 5, se aprecia como los tratamientos realizaron efecto altamente significativo y en la Figura 4, se muestra que al agregar 4 ml.litro⁻¹ de agua, se superó a la SN en 13 por ciento y de ahí en adelante, al aumentar la dosis del FFe los valores disminuyeron en mínimas proporciones, con excepción del testigo (SN).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la firmeza del fruto (FI), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	88.50	14.751	7.28	0.000**
Error	28	56.72	2.026		
Total	34	145.23			

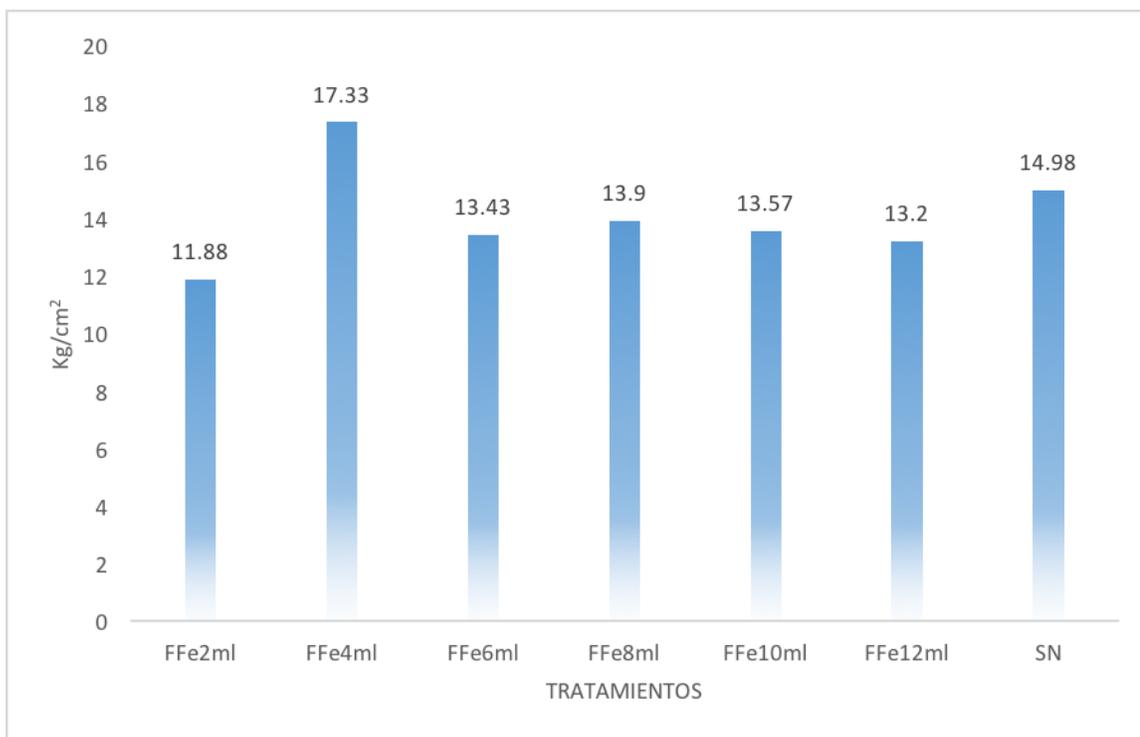


Figura 4. Firmeza del fruto (FI) de chile serrano variedad “Tampiqueño 74” con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.5 Sólidos Solubles Totales (SST)

En esta variable, no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 6); sin embargo, los valores de grados Brix con la adición de los siete tratamientos, fueron mayores a seis, lo que significa que los chiles no fueron ácidos y con la aplicación de la dosis inferior del Fulvato de hierro (FFe), se obtuvo el mayor valor de esta variable y se aventajó en 16 por ciento a la SN. La dosis de 6ml.litro⁻¹ de agua, ocupó el segundo lugar en el valor de esta variable (Figura 5).

Cuadro 6. Análisis de varianza para los sólidos solubles totales del fruto (SST), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74", con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	2.678	0.4464	0.94	0.479 ^{NS}
Error	28	13.228	0.4724		
Total	34	15.906			

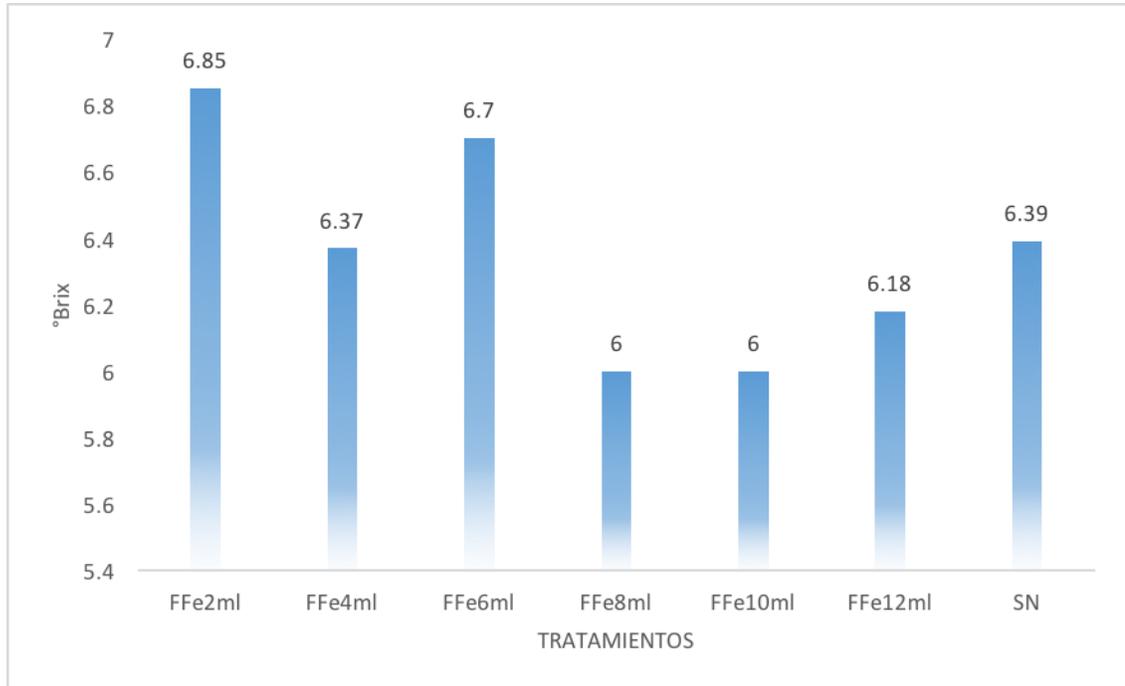


Figura 5. Sólidos solubles totales (SST) de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.6 Número de Frutos (NF)

En esta variable, hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 7); lo anterior, significa que aumenta la cantidad de chiles al agregar el tratamiento de la dosis de 2 ml.litro⁻¹ de agua del compuesto orgánico-mineral, porque sobrepasó en 44 por ciento a la solución nutritiva (SN) tomada como testigo, y conforme se aumentó la dosis del fulvatos de hierro (FFe), los valores decrecieron (Figura 6).

Cuadro 7. Análisis de varianza para el número de frutos (NF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	1145	190.85	2.48	0.048*
Error	28	2159	77.09		
Total	34	3304			

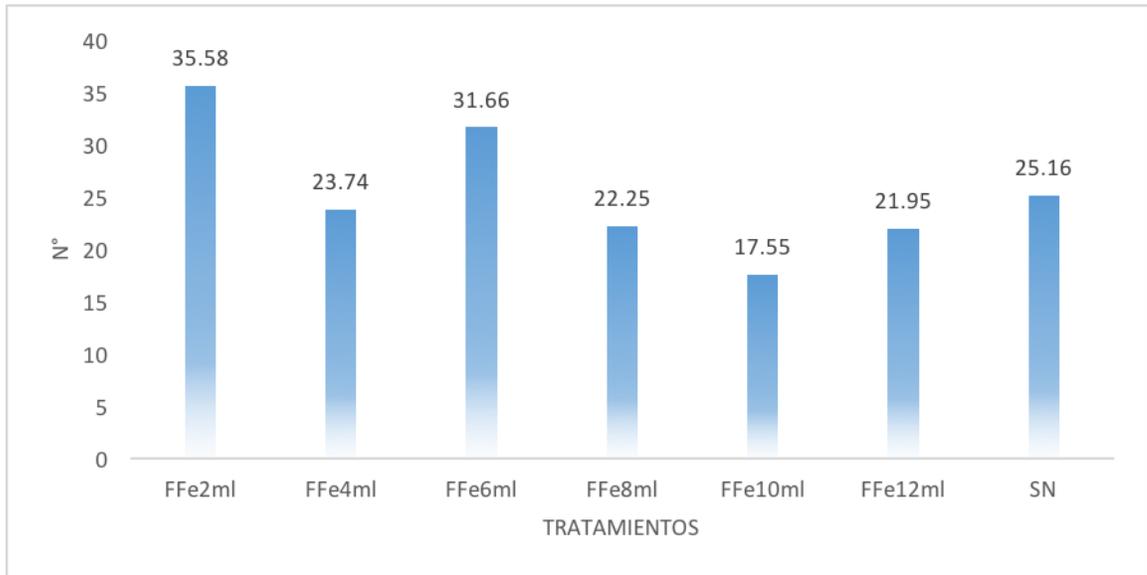


Figura 6. Número de frutos (NF) de chile serrano variedad “Tampiqueño 74” con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.7 Peso Seco del Fruto (PSF)

En esta variable, los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 8). A partir de la Figura 7, se puede establecer que al adicionar la dosis de 10 ml.litro⁻¹ de agua, se superó al testigo (SN) en 71 por ciento. Las dos dosis más inferiores; es decir, 2 y 4 ml.litro⁻¹ fueron 26 por ciento menores a la dosis mencionada.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el peso seco de frutos (PSF), de chile serrano variedad “Tampiqueño 74”, con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	373.1	62.19	2.93	0.024*
Error	28	594.2	21.22		
Total	34	967.4			

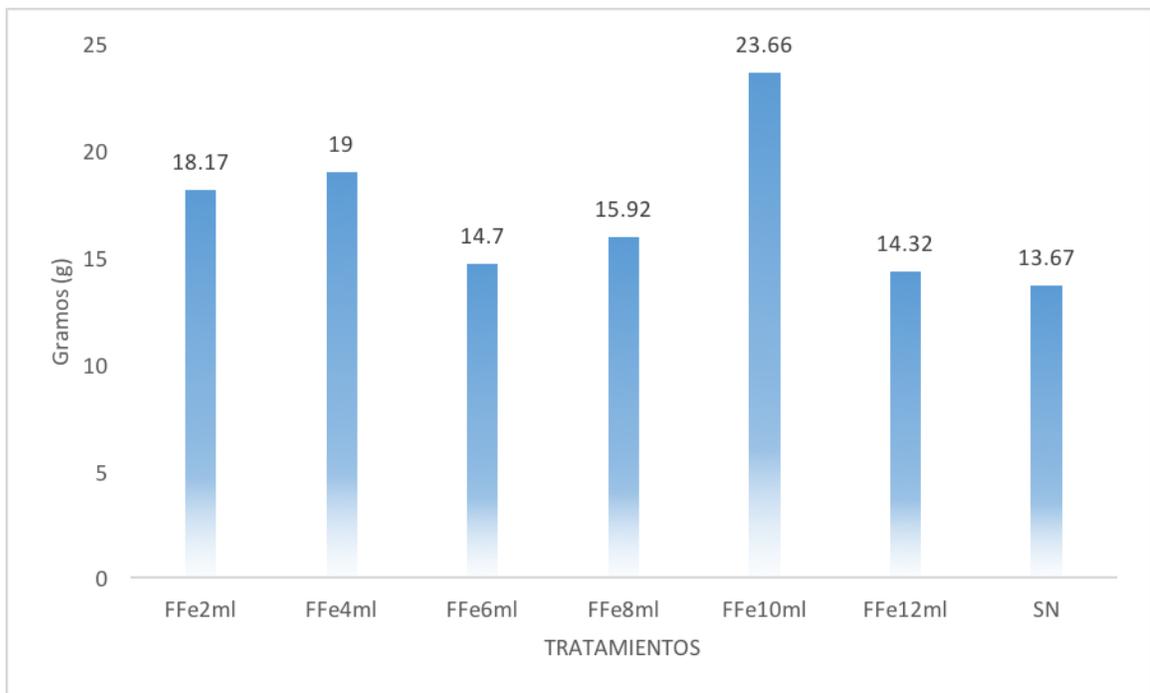


Figura 7. Peso seco del fruto (PSF) de chile serrano variedad “Tampiqueño 74” con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

6.8 Fierro (Fe)

En el Cuadro 9, se aprecia como en el contenido de Fe del tejido vegetal de follaje, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo y en la Figura 8, al aplicar los tratamientos de las cantidades de 2 y 4 ml.litro⁻¹ de agua, se superó a la SN en 190 y 175 por ciento, respectivamente. Con el resto de los tratamientos, no se rebasó el valor de 60 mg.kg⁻¹.

Cuadro 9. Análisis de varianza para el contenido de fierro del tejido vegetal de follaje (Fe), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74", con la adición de un fulvato de fierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	62563	10427.1	23.83	0.000**
Error	28	12250	437.5		
Total	34	74813			

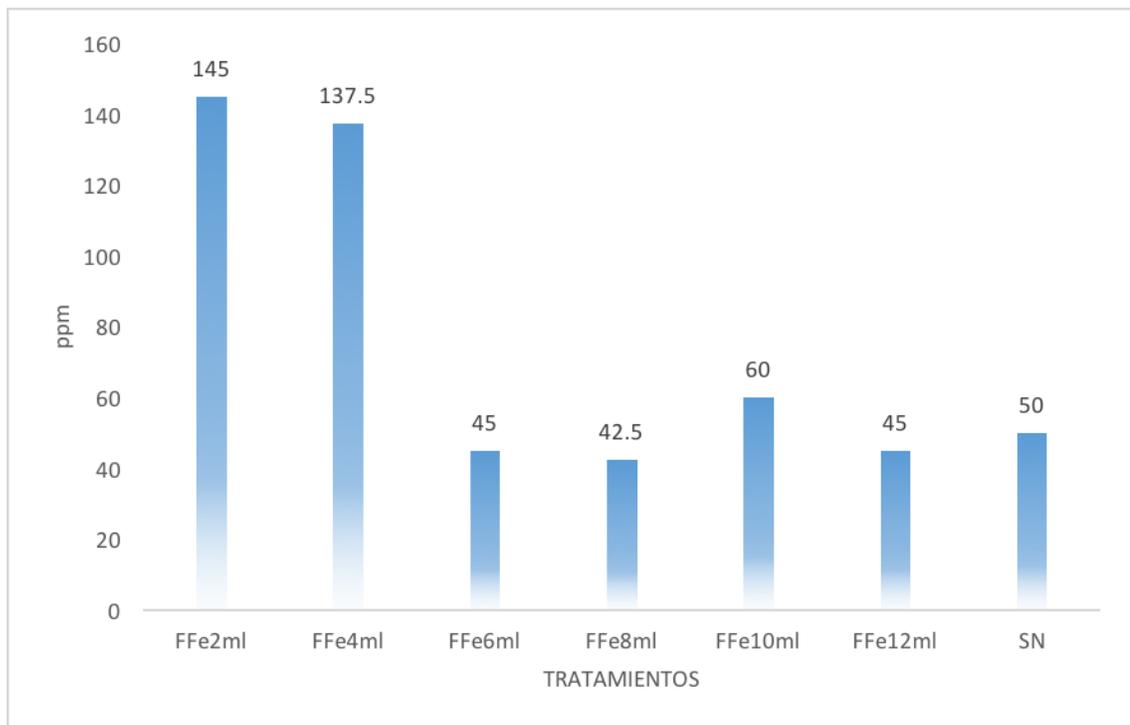


Figura 8. Contenido de fierro del tejido vegetal de follaje (Fe), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de fierro (FFe).

6.9 Calcio (Ca)

Similar al contenido de Fe en el tejido vegetal de follaje, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo en los contenidos de Ca (Cuadro 10). Aquí, con la agregación de los tratamientos de 2 y 4 ml.litro⁻¹ de agua, se superó a la SN en 244 por ciento. Con el resto de los tratamientos, se alcanzó a sobrepasar en muy baja cantidad el valor de la unidad (Figura 9).

Cuadro 10. Análisis de varianza para el contenido de calcio del tejido vegetal de follaje (Ca), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74", con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	32.54	5.4238	10.12	0.000**
Error	28	15.01	0.5361		
Total	34	47.55			

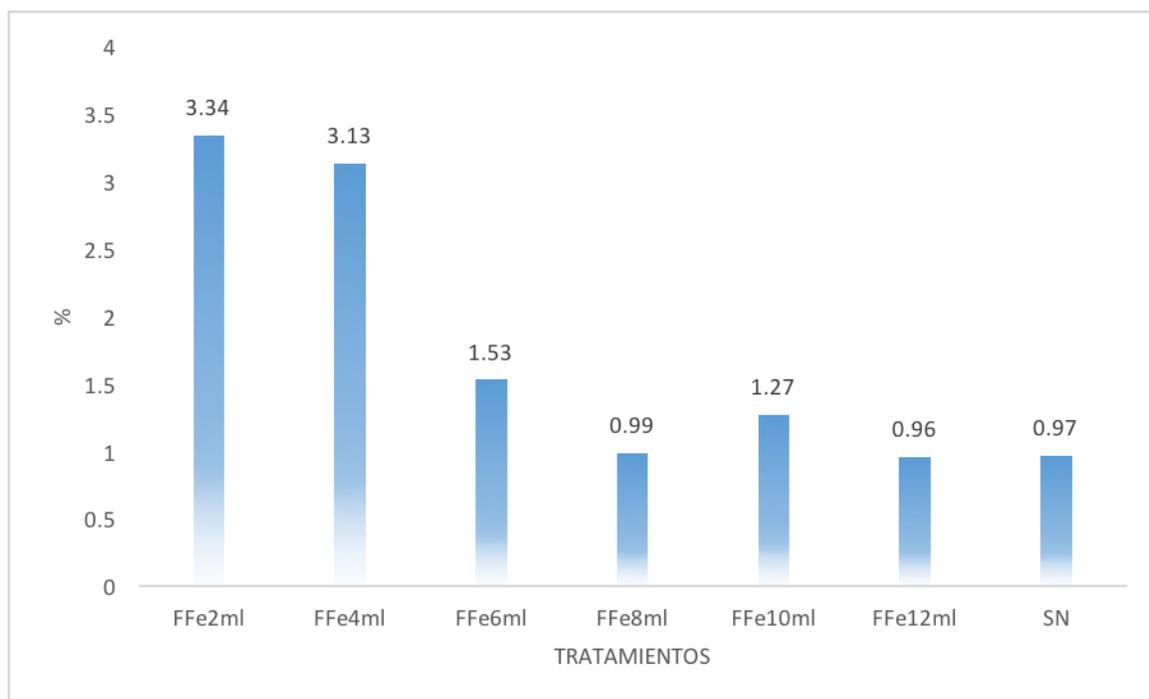


Figura 9. Contenido de calcio del tejido vegetal de follaje (Ca), de chile serrano variedad "Tampiqueño 74" con la adición de un fulvato de hierro (FFe).

VII. DISCUSION

Álvarez-Fernández *et al.* (2006), encontraron que la deficiencia de hierro en cultivos como tomate, chile, pepino, melón, sandía y frutales, como el manzano, limón, naranjo y aguacate, provoca una disminución en el tamaño de los frutos y la firmeza de ellos, lo que redundaría en la apariencia; esto es, afecta la vida de anaquel de los frutos y por consiguiente la calidad. Una forma de remediar lo anterior, es con el uso de quelatos de hierro. Estos productos son costosos y la cantidad a adicionar al suelo y por vía foliar, es alta y depende de una gran cantidad de factores, su efectividad.

Por lo anterior, se hace necesario buscar alternativas y las SH se perfilan como algo viable, ya que como característica fundamental, poseen grupos funcionales oxigenados (-COOH⁻, -OH⁻, -COO⁻) y nitrogenados (NH⁻, NH₂). De los dos tipos de grupos funcionales, los primeros forman más del 80 por ciento de la molécula de las sustancias orgánicas mencionadas, que tienen la particularidad de complejar y/o quelatar a los nutrimentos (cationes) y la mezcla de estos compuestos con los nutrimentos, se denominan humatos, para el caso de los AH y fulvatos, para los AF, del elemento nutrimental adicionado. La aplicación de humatos y fulvatos se han establecido como formas económicas y ecológicamente factibles para aportar los nutrimentos a la raíz de la planta.

A pesar de que se ha comprobado el efecto de las SH en el crecimiento de las plantas y en la acumulación de nutrimentos, el o los mecanismos no están bien dilucidados (Piccolo *et al.* 1992); sin embargo, Ayuso *et al.* (1996) establecieron que la intervención de las SH en el mecanismo de absorción de nutrientes, va en dos direcciones: primero, si los nutrientes son absorbidos por el mecanismo activo, las SH pueden inhibir la absorción, puesto que complejan los iones. Por el contrario, la segunda, si iones semejantes son absorbidos por

medio de mecanismos pasivos, las SH no intervienen en la absorción o tienen un efecto positivo.

En el presente trabajo de investigación, concuerda con la información recabada, ya que en el tejido vegetal de follaje se presentaron las cantidades adecuadas de fierro, para la absorción de este elemento y con las dosis bajas del Fulvato de Fierro, se presentó la superior cantidad del nutrimento y se aprecia el efecto del complejo orgánico-mineral en las variables medidas; con excepción del peso y la longitud, ya que en estas variables medidas, quien realizó el efecto significativo fue la cantidad superior del compuesto orgánico-mineral.

VIII. CONCLUSION

La superior dosis del Fulvato de Hierro (FFe), realizó efecto positivo en la producción ya que aumento en el Peso (PF), longitud (LF), diámetro del fruto (DF) y Peso Seco del Fruto (PSF), mientras que, la cantidad más baja lo efectuó en la calidad en Firmeza (FI), Solidos Solubles Totales (°Brix), Hierro (Fe) y Calcio (Ca).

La interpretación de la conclusión del proyecto va para la finalidad de cada agricultor dependiendo si es aumentar en la cosecha la producción o es aumentar la calidad.

IX. LITERATURA CITADA

- Albuzio, A., Ferrari, G., Nardi, S. 1986. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. *Can. J. Soil Science*, 66: 731-736.
- Alvarez-Fernandez, A., Garate, A., Lucena, J. J. 1997 Interaction Chelates with several soil materials and with several soil materials and with a soil standard. *J. Plant Nurt.* 20(4&5):559-572.
- Akinremi, O. O., Janzen, H. H., Lemke, R. L., Larney, F. J. 2000. Response of canola, wheat and Green beans to leonardite additions. *Can. J. Soil Sci.* 80:437-443.
- Álvarez-Fernández, A., J. Abadia and A. Abadia. 2006. IRON DEFICIENCY, FRUIT YIELD AND FRUIT QUALITY. IN. Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. 85-101. L.L. Barton and J. Abadia (eds.). Springer. Netherlands.
- Cásseres, E. 1980. Produccion de hortalizas. San Jose de Costa Rica. Editorial IICA. 387p.
- Chaney, R.L. 1994. Diagnosis practices to indentify iron deficiencies in higher plants. *J. Plants Nutr.* 7(1-5), 47-67. *Bibliografía* 361
- Chen, Y., Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. Pp. 161-186. *In* Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. P.
- Chen, Y., Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. Pp. 161-186. *In* Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, P. R. Bloom (Eds.). Proceedings of a symposium by the IHSS, Chicago, Illinois, December 1985.
- Germoplasm Resources Information Network (GRIN). 2008. United Sates Department of Agriculture-Agricultural Research Service. Consultado en mayo de 2017 en <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?311784#image>.
- Jorge A. Zegbe Dominguez, Ricardo David Valdez Cepeda, Alfredo Lara Herrera. 2012. Cultivo de Chile en Mexico. Primera edición. Mexico. Proyecto Editorial Universidad Autonoma de Zacatecas. 11:12:17 p.
- Kannan, S. 1984 Problems of iron deficiency in diferent crop plants in India:Causative factors and control measures. *J. Plant Nutr.* 7:187-200.
- Lindsay, W. L., Schwab, A. P. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr* 5:821-840.
- Loeppert, R. H., Wei, L. C., Ocumpaugh, R. 1994. Soil factors influncing the movilization of iron in calcareous soils. Pp 343-360. *In* Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere. J. A. Manthey, D. E. Crowley, D.G. Luster (Eds). Lewis Publishers. Florida.
- Lucena, J.J. 2000. Effect of bicarbonate, nitrate and other enviromental factor son iron deficiency chlorosis. A review. *J. Plant Nutr.* 23(11-12):1591-160.

- Marschener, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press Inc. London.
- Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients: micronutrients. Iron, In Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, Cambridge, U.K., pp. 313-324.
- Olsen, R. A., Brown, J. C., Bennett, J. H., Blume, D. 1982. Reduction of Fe⁺³ as it relates to Fe chlorosis. J. Plant Nutr. 5: 433-445.
- Plan Rector Nacional Sistema Producto Chile. 2007. San Luis Potosi. SAGARPA/INA-rural. 58 p.
- Ramírez, M.M. (2006). Coloso y Centauro, Híbridos de Chile Serrano para las regiones productoras de México. Desplegable para Productores No. 3. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales y Pecuarias.
- Ramos, R. 2000. Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulante. Efectos frente al estrés salino. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Rojas, T. 1991. La Agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días. Mexico. Consejo Nacional para la cultura y las artes/Grijalbo. 420 p.
- Ruiz, R., Navia, T. 1982. Fijación del hierro en suelos de la zona central. Agricultura Técnica (Chile). 42(3):217-221.
- Ruiz-Ruiz, M., Nieto-Roaro e I. Larios-Rodríguez. 1977. Tratado elemental de botánica. Catorceava edición. Mexico. Editorial ECLALSA. 730 p.
- Sanchez-Andreu, J., Jorda, J., Juarez, M. 1991. Reactions of FeEDTA and FeEDDHA applied to calcareous soils. Pp 57-62. In Iron nutrition and interactions in plants. Y. Chen, Y. Hadar (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Schnitzer, M. 1976. The chemistry of humic substances . Vol. I. pp.89-107. In Environmental Biochemistry. J.O. Nriagu (Ed). Ann Arbor Science, Ann Arbor.
- Servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2015. Chile verde. Consultado en mayo de 2017 en http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Stevenson, F. J. 1994 *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Zegbe J., Valdez R., Lara A. 2012. Cultivo de Chile en México. Primera edición. Mexico. Proyecto Editorial Universidad Autónoma de Zacatecas. 11:12:17 p.