

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estudio de Efectividad Biológica de Prototipos de Quelatos Férricos en Tomate
(*Solanum lycopersicum*) Cultivado en un Suelo Calcáreo

Por:

MARLEN RESENDIS FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Prueba de Efectividad Biológica de prototipos de quelatos férricos en tomate
(*Solanum lycopersicum*) cultivado en un suelo calcáreo

Por:

MARLEN RESENDIS FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor

Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente agradezco a ti DIOS por darme la oportunidad de vivir y bendecirme para culminar estos estudios.

A mi Alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme pasar cinco años de mi vida en sus instalaciones y darme las herramientas necesarias para que hoy en día pueda ser una profesionalita.

A la Empresa Valagro Mexicana SA de CV Por haberme permitido realizar este proyecto.

A mi Madre Marta Flores Ayala que has sido mi principal pilar en la vida, por haberme admitido en tu vientre durante nueve meses, por haberme compartido con migo tu espacio, por todo aquel dolor que implico darme la vida, por enseñarme valores y dejarme decidir, por estar a mi lado cuando tropezaba en el camino, que con tus consejos me ayudabas a levantarme y seguir adelante, por ser mi madre y yo tu hija GRACIAS.

A mi padre Luís Wenceslao Resendis Núñez por haberme brindado su amor y ejemplo, por todos los sacrificios que has hecho por mí, por la fuerza que me has dado para seguir mi camino, por darme tus consejos y sabiduría y por ser la persona que me dio la vida GRACIAS.

A mis hermanos José Luís y Pablo Aarón por brindarme su comprensión, fuerza y tenacidad durante estos cinco años de estudios, además de su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos de mi vida. Gracias hermanitos los amo.

A mis sobrinos (a) Aarón, Maritza y Anye Asumí, por brindarme sus sonrisas y su vivir cada día y a mi cuñada María Isabel por apoyarme incondicionalmente.

A mi hija principal motor para la realización de la presente tesis, por su aferra a vivir, sus sonrisa cautivadora y fuerzas brindadas desde el día de su nacimiento. Te amo ni nena. (Que el día de mañana leas esta tesis y te sientas orgullosa de mí).

Al mi director de tesis, Dr. Alberto Sandoval Rangel por el apoyo, dirección y orientación para la planeación y desarrollo del presente proyecto, al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, al Dr. Marcelino Cabrera de la fuente, y al Sr. Hugo Sandoval Rangel por sus conocimientos aportados en este escrito.

A todos mis amigos y compañeros, por permitirme compartir su vida dentro y fuera de la universidad, animarme a seguir adelante en los momentos difíciles de mi vida, y a todas aquellas personas que de una u otra forma han estado a mi lado, sin importar donde estén quiero decirles GRACIAS.

Para ellos: muchas gracias y que dios los bendiga.

Marlen R. F.

DEDICATORIA

Está presente tesis se la dedico a mi DIOS quien supo guiarme por el buen camino, darme los conocimientos necesarios para este proyecto y su amor, que sin el nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres quienes amo, motivación e impulso a seguir en los malos momentos y origen de mi esfuerzo y sacrificio a lo largo de todos estos años. A mi madre Marta Flores Ayala, profunda admiración y respeto por su apoyo incondicional, por brindándome lo mejor de ella para llegar a culminar mi profesión, que gracias a tus enseñanzas y oraciones hoy uno de tus hijos es ing. Sin duda alguna eres la mejor de las madres que dios me pudo haber dado. A mi padre Luís Wenceslao Resendis Núñez, ejemplo de humildad, cariño y lucha a las dificultades.

A mis hermanos José Luís y pablo Aarón, símbolo de orgullo y fuente de inspiración, lucha y motivación para poderme realizar como ingeniero. Gracias por creer en mí.

Querida hija Laila Zareth hoy estoy compartiendo contigo mi más grande logro, ser una profesionalita, per anhelo el día cuando tu compartas tus logros conmigo, y doy gracias a dios por darme el privilegio de ser tu madre, por darme la alegría más grande del mundo de estar a mi lado, después de nueve meses en mi vientre, esperando con amor tu llegada, esa sonrisa que me cautiva y anima a seguir adelante día con día. Te amo mi princesa.

A todas aquellas personas que luchan contantemente, paso a paso, por cumplir sus anhelos y sueños a pesar de las adversidades y obstáculos en su caminar. Sigán adelante.

"Dios no te hubiera dado la capacidad de soñar, sin darte también la posibilidad de convertir tus sueños en realidad "

Héctor Tassinari

Marlen R. F.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS -----	iii
DEDICATORIA -----	v
INDICE DE CONTENIDO -----	vi
INDICE DE CUADROS -----	viii
INDICE DE FIGURAS -----	ix
RESUMEN -----	x
INTRODUCCIÓN -----	1
Objetivo -----	2
Hipótesis -----	2
REVISIÓN DE LITERATURA -----	3
Fierro o Hierro -----	3
Causa de la Deficiencia de Hierro en las Plantas -----	4
Quelatos de Hierro -----	5
Generalidades del Cultivo de Tomate -----	9
Origen -----	9
Planta -----	10
Fruto -----	10
Clasificación taxonómica -----	10

Situación Nacional	10
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Ubicación del Estudio	13
Material Vegetativo	13
Descripción de Tratamientos	13
Descripción de Actividades para el Establecimiento del Estudio	14
Variables Evaluadas	15
ANÁLISIS DE DATOS	17
RESULTADOS Y DISCUSION	18
CONCLUSIONES	27
LITERATURA CITADA	28
APÉNDICES	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Media y desviación estándar del contenido de fierro foliar y fierro libre -----	18
Cuadro 2. Medias y desviación estándar de las unidades SPAD -----	20
Cuadro 3. Medias y desviación estándar de las variables de peso fresco -----	22
Cuadro 4. Medias y desviación estándar de las variables de peso seco -----	22
Cuadro 5. Medias y desviación estándar de las variables de número de frutos por planta, peso promedio de los frutos y rendimiento por planta en 4 racimos cosechados. -----	23
Cuadro 6. Medias y desviación estándar de las variables de longitud, diámetro y firmeza del fruto maduro rojo. -----	24
Cuadro 7. Medias y desviación estándar de las variables de grados Brix, pH y capacidad reductora (ORP) del fruto maduro rojo. -----	25
Cuadro 8. Correlacion no paramétrica de Sperman de las variables de estudio -----	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de los agentes quelantes específicos de Fe -----	8
Figura 2. Planta de tomate -----	9
Figura 3. Participación de la producción mundial de tomate -----	11
Figura 4. Participación de la Producción de tomate en México-----	12
Figura 5. Concentración de hierro en hojas de tomate -----	19
Figura 6. Concentración de hierro activo en hojas de tomate-----	19
Figura 7. Unidades SPAD, en hojas de tomate en dos diferentes muestreos -----	21

RESUMEN

Los estudios de efectividad biológica, constituyen un instrumento importante para la regulación y garantía de funcionalidad de los productos usados en la agricultura. En este estudio se evaluaron 5 prototipos de quelatos de hierro de la empresa Valagro Mexicana SA de CV con el objetivo de determinar la efectividad de los quelatos de hierro para aumentar la absorción de hierro por plantas de tomate cultivado en un suelo calcáreo con bajo aporte de Fe.

Los resultados muestran que El prototipo 3-2459, aumentó el contenido de hierro foliar, los prototipos 3-2033, 5-1926, 3-2459, y 3-1058 incrementaron el peso fresco en desarrollo, y el prototipo 5-1927 aumentó el número de frutos cosechados y el rendimiento por planta.

La correlación muestra que al aumentar el contenido de hierro libre o activo, disminuye la capacidad reductora y el peso promedio del fruto del fruto y al aumentar el contenido relativo de clorofila en las hojas disminuye la longitud de los frutos cosechados.

Palabras Clave: Micronutrientes, Tomate, Quelatos.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de efectividad biológica, tienen como propósito determinar el resultado conveniente que se obtiene al aplicar un insumo (SENASICA, 2014). En este estudio se evaluaron 5 prototipos de quelatos de fierro, de la empresa Valagro Mexicana SA de CV.

El término quelato se deriva del vocablo griego –Chele- que significa “garra” y se refiere a complejos formados por una molécula orgánica y un ión, generalmente metálico, a este complejo se le llama quelatos metálicos (Ordoñez, 2010). Los iones metálicos, son minerales necesarios para las plantas, entre ellos, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mn, B, Mo y los quelatantes más comúnmente utilizados son EDTA, DTPA y EDDHA.

El Fierro es un nutrimento inorgánico esencial para los organismos vivos. Se utiliza como cofactor en enzimas relacionadas con el metabolismo redox de la fotosíntesis y la respiración, entre otras importantes funciones (Aguado, 2012). Aunque el fierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre, la deficiencia es un problema común a prácticamente todas las especies de seres vivos. El Fierro se presenta en dos estados de oxidación: el Fe^{+3} o férrico y el Fe^{+2} o ferroso. En presencia de O_2 el Fe^{+2} es oxidado rápidamente a Fe^{+3} , el cual es poco soluble en agua y en donde precipita como óxidos de Fe. Por lo tanto, en nuestra atmósfera rica en O_2 , la forma termodinámicamente más estable del hierro es también la de más difícil acceso para los organismos. El resultado de los procesos químicos naturales en el suelo resulta en concentraciones muy bajas de hierro disponible para las plantas y otros organismos, a pesar de que en realidad el contenido total de hierro en los minerales edáficos suele ser alta.

Desde un punto de vista químico los organismos tienen tres medios para disolver los óxidos de hierro insolubles (Fe^{+3}): la protonación, la reducción y la quelatación (Benavides, 2000). Los mecanismos desarrollados por los seres

vivos a lo largo de su evolución para acceder a las fuentes oxidadas de hierro se basan en uno o más de estos mecanismos químicos. En la actividad agrícola las diferentes tecnologías para aumentar la disponibilidad del hierro consisten básicamente en la aplicación de estos mismos medios de protonación, reducción y quelatación (Rodríguez Lucena *et al.*, 2010), además del uso de aplicación de hierro en forma de fertilizante.

Los fertilizantes comerciales de hierro más comunes son; sulfato de hierro y quelatos de hierro (DEAQ, 2014). La mejor respuesta de los quelatos respecto a los sulfatos, ha aumentado la demanda de quelatos, que a su vez ha motivado la formulación de una gran variedad de quelatos de hierro, y de manera colateral surge también la necesidad de validar estos productos como un mecanismo de control.

Se eligió para este estudio el cultivo de tomate, porque es la hortaliza que más demanda suministro de hierro complementario (Sánchez, *et al.*, 2007), además de ser la que más se cultiva en el mundo (SAGARPA, 2012).

Objetivo

Determinar la efectividad de cinco prototipos de quelatos de hierro para aumentar la absorción de hierro por plantas de tomate cultivado en un suelo calcáreo con bajo aporte de Fe.

Hipótesis

Los cinco prototipos de quelatos de hierro aumentarán la absorción de hierro por las plantas de tomate, en la productividad y calidad del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Fierro o Hierro

El fierro o hierro es un elemento químico de número atómico 26, situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe. La palabra fierro proviene del latín *Ferrum* (Diccionario Etimológico, 2001), por lo cual los dos términos son aceptados para referirse al elemento fierro.

En plantas y otros organismos una gran parte del Fe presente, se encuentra asociado con porfirinas. Las porfirinas con Fe de animales y hongos son principalmente moléculas hem, mientras que en las plantas son los citocromos los más comunes. Los citocromos se encuentran como partes funcionales de los sistemas respiratorio y fotosintético y su propiedad más importante, la función redox, se deriva de la capacidad del Fe de ser oxidado de manera reversible de Fe^{+2} a Fe^{+3} . Esta capacidad se utiliza en donde se requiere realizar reacciones redox rápidas por transferencia de electrones, es decir, reacciones que no requieren transferencia de H^+ o formación/rompimiento de enlaces covalentes. La mayor parte del Fe activo en la planta se ve implicado en las reacciones redox de cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. El hierro se encuentra también implicado en muchos sistemas enzimáticos en donde no se asocia a un grupo prostético o, incluso, no se asocia estructuralmente a la enzima, si bien cumple un papel que se supone importante aunque poco definido (Benavides, 2000). En resumen el fierro actúa en la planta como: componente estructural de las moléculas de porfirina: citocromos, hem, hematina, ferricromo, hemoglobinas animales y vegetales. Involucrado en reacciones de oxidación-reducción en la respiración y la fotosíntesis. Componente estructural de moléculas no hem: ferredoxinas y proteínas Fe-S. y actúa en los sistemas enzimáticos: citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa, aconitasa, desaturasas de ácidos grasos, síntesis de clorofila (varias enzimas), peptidilprolina hidrolasa, nitrogenasa, etc.

El hierro es uno de los nutrientes vegetales que más problemas presenta en cuanto a la nutrición de los cultivos. Esto se debe en gran medida a que, en sistemas aireados en el rango de 8-14 de pH, la concentración de los iones Fe^{3+} y Fe^{2+} es inferior a 10^{-5} , insuficiente para cubrir las necesidades del vegetal. Por lo tanto, en los suelos y disoluciones nutritivas son quelatados de Fe^{+3} y ocasionalmente los de Fe^{+2} las formas predominantes de hierro soluble. Por regla general; el vegetal toma el Fe^{+2} con referencia al Fe^{+3} , si bien esto también depende de la especie vegetal. Mientras el transporte a lo largo del xilema, predominan los complejos de Fe^{+3} (Juárez, *et al*, 2000).

Causas de la Deficiencia de Hierro en las Plantas

Las causas de deficiencia de hierro son múltiples y de distinta naturaleza, destacan: disponibilidad de hierro y concentración de ion bicarbonato en el medio de desarrollo, y otros factores como: interacción entre el Fe y otros nutrientes, humedad, enmienda orgánica, temperaturas extremas (Juárez, *et al.*, 2002).

La deficiencia de Fe es un fenómeno que ocurre con frecuencia en plantas que crecen en suelos de naturaleza calcárea presentes en zonas áridas y semiáridas donde las bajas precipitaciones anuales son menores o igual a 500 mm, que hacen que el pH de los mismos estén fuertemente tamponado a varios valores en torno a 8 (Lindsay, 1979, 1991), lo que se traduce en una baja solubilidad del Fe en el suelo, insuficiente para cubrir las necesidades del vegetal.

La deficiencia de Fe aparecen en hojas como un color verde pálido (clorosis) mientras que las venas permanecen verdes (Guerrero, 1998).

Debido a que el Fe es poco móvil en el interior de las células dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes en la parte superior de la planta. Una deficiencia severa puede dar a toda la planta un color amarillento. La deficiencia de Fe puede ser causada por un desbalance

con metales como el Mo, Cu o Mn (López, 1991). Otros factores que pueden promover una deficiencia de Fe incluyen:

- Exceso de P en el suelo
- Combinación de un alto pH, dosis altas de cal, suelo húmedo y frío, y altos niveles de bicarbonato
- Diferencias genéticas de las plantas
- Niveles bajos de materia orgánica en el suelo

Por lo tanto, para cubrir la demanda de hierro de los vegetales, es necesario incorporar al suelo compuestos de hierro solubles y estables a los valores de pH de los suelos calcáreos y que sean capaces de ceder su hierro a los vegetales. Los quelatos de hierro a lo largo del tiempo han demostrado ser la mejor solución para la correlación de la deficiencia de hierro (Lucena, 2003). Su eficiencia desde el punto de vista agrícola es directamente proporcional a su capacidad para mantener hierro en forma disponible para la planta, en cantidad y durante el tiempo necesario para que esta lo tome.

Quelatos de Hierro

Un quelato es una molécula polidentada, lo que significa que el ion puede ser retenido por más de un sitio. El resto de grupos polares hacen que el complejo sea soluble en agua. Se establecen enlaces por puente de hidrogeno con las moléculas de agua. La efectividad de un agente complejo puede ser estabilizada a partir de la constante estabilidad o formación de complejos (Doménech, 2006).

Los quelatos son moléculas muy estables, compuestos que estabilizan los iones metálicos en este caso de hierro y los protegen de la oxidación y de la precipitación.

La quelación del metal es importante puesto que hace los iones metálicos más disponibles para la absorción por las plantas. Los iones metálicos cargados positivamente, tales como Zn^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} y Fe^{+2} , reaccionan fácilmente con los iones de hidróxido de carga negativa (OH^-), y como resultado no están disponibles. Los iones OH^- son abundantes en suelos neutros o alcalinos y suelos medios. El revestimiento del ion metálico lo protege de los iones OH^- que están alrededor a este revestimiento lo que se conoce como ligando, posteriormente este complejo es fácilmente absorbido por la planta, donde se degrada y se consume.

La fuerza del enlace químico entre el ligando y el ion metálico depende del tipo de ligando, el tipo de iones y el pH. Cuanto más fuerte sea el enlace, más estable es el ion metálico y cada quelato tiene una característica "diagrama de estabilidad". Es evidente que en los niveles de pH específicos, los complejos no son estables, es decir, el ligando tiende a separarse del ion metálico.

Se sabe que los iones de metales pesados (como el Fe, Zn o Cu) no atraviesan libremente la membrana celular. Las formas de paso de estos metales son quelatos. Los quelatos sintetizados biológicamente y cuya función es acarrear iones de metales son llamados ionóforos, y los ionóforos específicos para el hierro son conocidos como sideróforos (Benavides, 2000).

Los agentes quelatantes mas utilizados son derivados de ácidos policarboxílicos: EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético), DTPA (Ácido etilentriaminopentaacético), HEEDTA (Ácido 2-hidroxi-etilendiaminotriacético), EDDHA (Ácido etilendiamino-di (o-hidroxifenilacético)), EDDHMA (Ácido etilendiamino-di (o-hidroxip-metilfenilacético)), EDDCHA (Ácido etilendiamino-di (2-hidroxip-4-carboxifenilacético) (González, 2007).

Debido a que, FeEDTA y FeHEDTA solo son estables en condiciones ácidas, FeDTPA es estable tanto en condiciones ácidas como neutras y alcalinas (Weesmann y Bugter, 1998), en tanto que unido a que los quelatos FeEDDHA y FeDDHMA son los que mejor constante de estabilidad presentan (Lindsay y Schwab, 1982; Ahrlund *et al.*, 1990), hace que los quelatos de Fe más eficaces en suelos calizos para aportar hierro al vegetal sean FeEDDHA y FeDDHMA.

Los quelatos de hierro consisten en tres componentes:

- Iones de Fe^{3+}
- Un complejo, como el EDTA, DTPA, EDDHA, aminoácidos, ácidos húmicos- fulvicos, citrato.
- Iones de sodio (Na^+) o de amonio (NH_4^+)

En la actualidad es el uso de quelatos la forma más eficaz de corregir la clorosis en los cultivos y esto es así por su especial forma de acción, diferente al del resto de los fertilizantes. Mientras que en cualquier otro tipo de fertilizante el principio activo es el propio elemento que van a aportar, en los quelatos férricos esto no es así. Los quelatos deben: 1 incrementar la solubilización de hierro, 2 transportarlo hacia la raíz de la planta, 3 ahí deben ceder el Fe y 4 la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más hierro. Es aquí donde el quelato actúa de un modo bien diferente al resto de los fertilizantes (Lucena, M. 2013).

La eficiencia de un quelato dependerá, por tanto de la capacidad que se tenga en realizar estos cuatro procesos y de resistir a los factores contrarios como el alto pH, bicarbonato, competencia por otros metales, adsorción sobre los metales del suelo y resistencia a la degradación de la molécula orgánica.

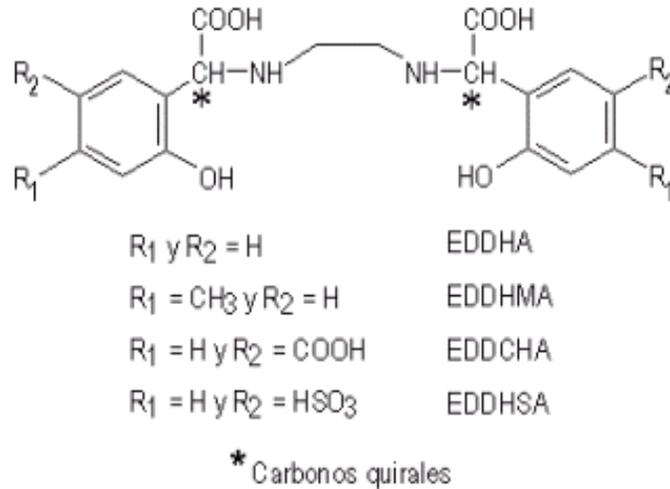


Figura 1. Estructura química de los agentes quelantes específicos de Fe.

El empleo de quelatos de hierro es mucho más eficaz y persistente, aunque estos son fijados por el suelo por lo que el Fe resulta poco móvil. Conviene enterrar los quelatos y regar in mediatamente, lo que mejora mucho los resultados de la aplicación. La dosis que se emplean varían de 1 a 10 g de Fe por m^2 ; en general, estas aplicaciones son costosas pero el resultado es mejor. Aún más eficaz resulta hacer la aplicación de los quelatos en pulverización al suelo con riego posterior, empleando entre 1.5-2.5 Kg de Fe/ha (Medina, 2000).

Generalidades del Cultivo de Tomate



Figura 2. Planta de tomate.

El tomate es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento, y en menor proporción al aumento de la superficie. Es cultivado en muchas zonas, con amplia variabilidad de condiciones de clima y suelo, aunque se cultiva principalmente en climas secos, tanto para producción en estado fresco como para uso agroindustrial (Escalona *et al.*, 2009).

Origen

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina, que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos (Sagüil, 2013).

Planta

Porte erecto o semierecto, arbustivo, cultivo de tipo anual. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

Fruto

El fruto es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gr.

Clasificación Taxonómica

La clasificación filogenética de las solanáceas ha sido recientemente revisada y el anterior género *lycopersicum* (Miller, 1754) se integró al nuevo género *Solanum* con su nueva nomenclatura. *Solanum* sección *lycopersicum* incluye el tomate cultivado (antes *lycopersicum esculentum*) y 12 especies silvestres. *Solanum lycopersicum* es la única especie domesticada (Peralta, *et al.*, 2006). El tomate *solanum Lycopersicum L.* es una planta *dicotiledónea*, perteneciente a la familia *solanácea* y el género *solanum*.

Situación Nacional

El cultivo de tomate es una fuente de importancia económica para México, en la actualidad México ocupa uno de los primeros productores de tomate a nivel mundial, siendo Sinaloa, el estado donde se obtiene la mayoría de la producción del país. Este cultivo ha tomado importancia debido al incremento de las exportaciones, principalmente a Estados Unidos de Norteamérica (SAGARPA, 2010), por lo que se requiere de una mejor calidad en los frutos además de una baja cantidad de agroquímicos.

Los principales países productores de tomate son China que es el principal productor de tomate en el mundo, con una participación de 41%, le sigue India con 14%, Estados Unidos de América 11% y Turquía 9%; mientras que México

ocupó el décimo lugar, con 3% de participación en la producción (FAO, 2012).

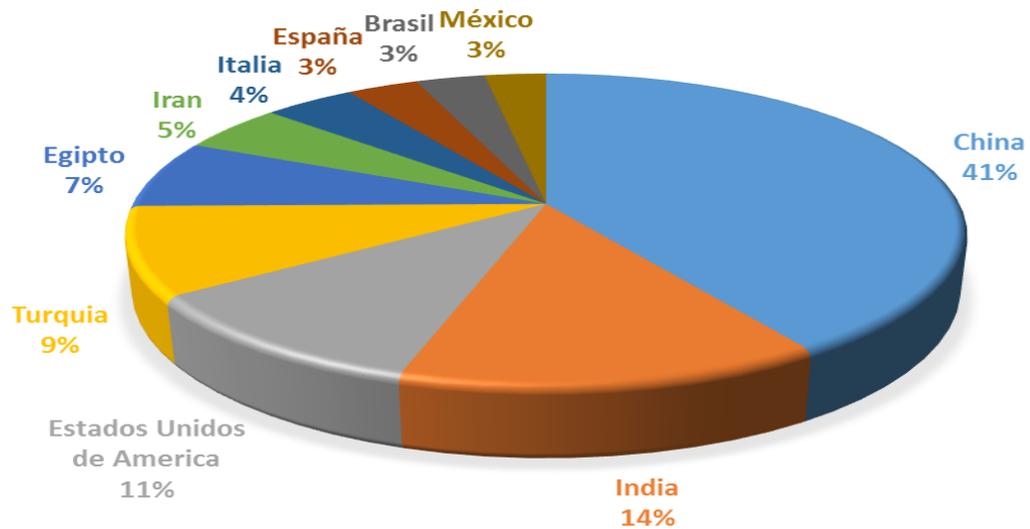


Figura 3. Participación de la producción mundial de tomate. (FAO, 2012).

En México, el jitomate o tomate rojo y sus derivados son por volumen, la principal hortaliza para exportación, y el sostén básico de la estructura productiva y comercial de este subsector. En el 2008 México represento el segundo lugar con un 18% del total mundial, de las cuales el mayor volumen se destinó a EUA (SAGARPA, 2010).

De acuerdo con los datos emitidos por la secretaria de agricultura, pesca y alimentación (SAGARPA) se tiene que la producción de tomate en México ha ido en incremento en los últimos años. En el año agrícola 2012, los estados con mayor producción de tomate son Sinaloa con un 37%, seguido por Baja California 7%, Michoacán 6%, Jalisco 6% y Zacatecas 5% (SIAP, 2012).

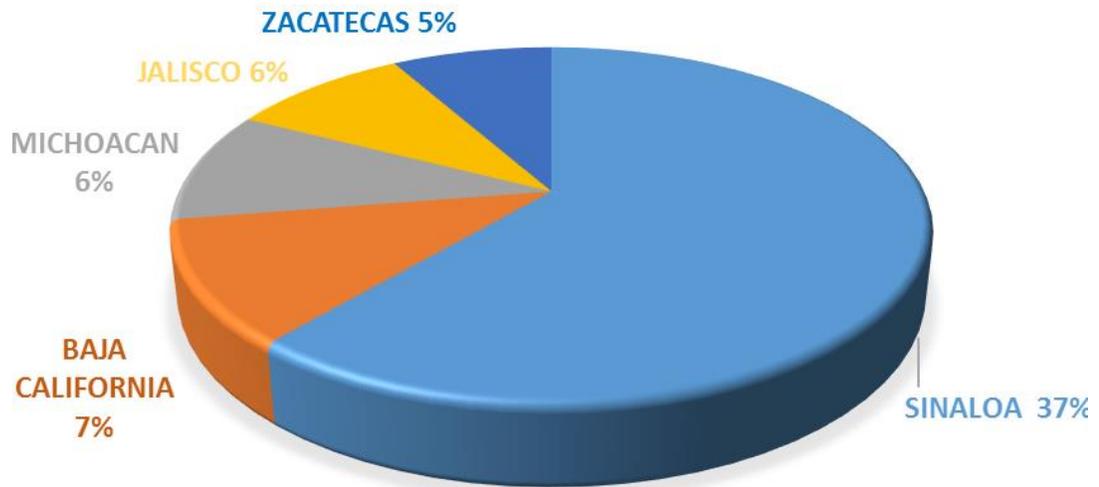


Figura 4. Participación de la Producción de tomate en México (FAO, 2012).

No obstante que el tomate es un producto que se cosecha a lo largo de todo el año, es en los primeros meses del mismo en que se concentra su producción, principalmente en los meses de enero, febrero y marzo. Por otro lado, su mínimo nivel lo tiene durante el verano, en los meses de junio y julio, presentando un ligero incremento hacia finales del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Estudio

El presente trabajo de investigación fue realizado durante el periodo de Marzo-Agosto de 2013, establecido en un macro túnel, ubicado en el Km 6, carretera a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, con una altura aproximada de 1742 msnm.

Material Vegetativo

El material vegetativo utilizada fue el híbrido de tomate bola indeterminado Liberty de la casa comercial Hazera Genetics, Liberty es una variedad con tolerancia a TYCV y resistencia a F3, planta vigorosa de alto rendimiento y frutos grandes (> 250g) de gran calidad, con un rango de diámetro de 25-35 mm y grados Brix de 6.5-7.2 (Hazera, 2012).

Descripción de Tratamientos

Se evaluaron cinco prototipos de quelato de Fe, más un testigo absoluto, en 5 repeticiones por tratamiento, cada repetición con 5 plantas.

En total se establecieron 6 tratamientos, los quelatos se identifican en el listado siguiente:

Tratamiento 1). Quelato de fierro 5-1926

Tratamiento 2). Quelato de fierro 5-1927

Tratamiento 3). Quelato de fierro 3-2033

Tratamiento 4). Quelato de fierro 3-1058

Tratamiento 5). Quelato de fierro 3-2459

Tratamiento 6).- Testigo absoluto sin Fierro

Descripción de Actividades para el Establecimiento del Estudio

Producción de Plántula. La planta se produjo durante el mes de marzo del 2013, en charolas de polietileno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peatmos®.

Preparación de Terreno. La preparación del terreno se realizó manualmente, se inicio con la limpieza de malezas, después se barbecho y formaron surcos de 15 m de largo con una separación entre surco de 1.25 m.

Para el riego se utilizó cintilla de goteo, calibre 6 mil, con emisores a 30.48 cm, y un gasto de 1.0 litros por hora por gotero.

Muestreo de Suelo. Se tomo la muestra del suelo una vez formado el surco, y se envió para su análisis Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila (PIAEC, 2013).

Trasplante. El trasplante se realizó el día 2 de abril. Se plantó a 1 hilera por surco, con una distancia entre plantas de 30.48 cm.

Aplicación de los Tratamientos. Los prototipos se aplicaron a los 30 días después del trasplante y se repitió la aplicación cada 15 días hasta finalizar el cultivo. La cantidad aplicada fue equivalente a 2 kg/ha. De acuerdo con la población establecida para este estudio, la densidad de plantación equivale a 25,000 plantas/ha, y la cantidad de prototipo de quelato por planta fue de 0.08 g. Los prototipos se disolvieron en 1.0 L de agua y se distribuyeron uniformemente a lo largo del surco del tratamiento respectivo.

Riego y Fertilización. Se dio un riego inicial de 4 horas, los riegos subsecuentes fueron 2 por día, de 15 minutos que fueron aumentando hasta 45 minutos de duración de acuerdo al desarrollo del cultivo.

La fertilización fue con la solución Steiner sin Fe, se restó el aporte iónico del agua. (Ver análisis de agua en el apéndice 1).

Conducción del Cultivo. La conducción del tomate fue a un tallo, tutorados con hilo de polietileno blanco (rafia). El cultivo se mantuvo hasta diez racimos. Se realizaron 2 desbroses laterales por semana y podas de hoja hasta el racimo próximo a cosecha.

Para el control fitosanitario, se aplicó Tiabendazol en el riego para enfermedades del suelo y un programa de 2 aplicaciones semanales, 1 de cobre y 1 de azufre, para prevención de enfermedades en el follaje.

Variables Evaluadas

Variables de Crecimiento

Hierro activo, hierro total. Para hierro activo, se colectaron las hojas más jóvenes totalmente expandidas de dos plantas de cada tratamiento en cada bloque. Las muestras fueron colocadas en nitrógeno líquido y almacenadas a 70 °C para su posterior análisis.

Para hierro total, se colectó una hoja de cada planta, en el entrenudo del segundo y tercer racimo posterior al que estaba en cosecha, y se enviaron al laboratorio del PIAEC para su análisis (PIAEC, 2013).

Contenido de clorofilas (Unidades SPAD). Se tomaron lecturas no destructivas de las unidades SPAD con un medidor CL de Hansatech de la hoja posterior a la más joven totalmente expandida utilizada para determinar clorofila.

Peso fresco y biomasa seca de las plantas. Esta variable se midió en dos ocasiones, a los 45 y 90 días después del trasplante (ddt), se colectó al azar una planta de cada tratamiento de cada bloque, en total cinco plantas por tratamiento y se verificó el peso fresco de la planta en raíz, tallo, hojas y, en el caso del segundo muestreo. Las muestras frescas fueron secadas a 75 °C por

48 h, en estufa de secado marca Felisa, modelo FE-291 para determinar el peso seco.

Variables de Producción y Calidad de Fruto

Número y Peso de fruto por Planta. Se cosecharon los frutos de las tres plantas restantes en cada repetición, se contaron, pesaron y los resultados se dividieron entre el número de plantas cosechadas. El rendimiento y número de frutos final, se obtuvo de la suma del rendimiento por planta en cada corte. Para pesar los frutos se utilizó una balanza electrónica marca Coda Corp. Modelo BCC30.

Diámetro polar y ecuatorial. En tres cortes se tomaron 2 frutos de cada repetición y se midió con un vernier electrónico, marca Auto Tec[®].

Grados Brix. Se midió con un refractómetro manual marca Sper Scientific modelo 300010.

Firmeza. Se midió con penetrómetro marca OA Supplies, con punta de 6 mm de diámetro.

pH. Se midió con potenciómetro manual marca Hanna, modelo HI98130.

ANALISIS DE DATOS

Los datos se analizaron en un diseño de bloques completamente al azar, y número de repeticiones variable de acuerdo a la variable de estudio. (Zar, 1996). A los valores medios con diferencia estadística ($P \leq 0.05$), se sometieron a la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Así mismo se verificó el valor de los coeficientes de Correlación no paramétricos de Spearman (R).

RESULTADOS Y DISCUSION

Contenido de Hierro (Fe)

El contenido de hierro en las hojas del cultivo del tomate, fué modificado con la adición de quelatos férricos a la fertilización. El prototipo 3-2459, promovió la mayor concentración a los 120 días después del trasplante, con un incremento de 5 ppm respecto al testigo (cuadro 1), y la concentración fue similar en las dos mediciones (Figura 5). El hierro libre o activo no fue estadísticamente diferente y disminuyó en el segundo muestreo (Figura 6).

Cuadro 1. Media y desviación estándar del contenido de fierro total y fierro libre, a los 64 y 120 Días Después del Trasplante (DDT).

PROTO TIPOS	Hierro total		Libre o activo	
	64	120	64	120
1) 5-1926	66.00±1.41	66.50±0.70 bc	72.16±5.19	63.29±4.99
2) 5-1927	64.00±1.41	64.00±2.82 c	78.85±1.98	49.14±6.98
3) 3-2033	66.50±6.36	66.00±4.24 bc	74.34±0.64	61.31±3.24
4) 3-1058	70.50±1.12	70.50±0.70 ab	76.81±1.94	61.88±2.67
5) 3-2459	73.50±0.70	74.00±1.41 a	79.08±3.36	53.53±5.47
6) Testigo	69.00±1.41	69.00±2.82 bc	66.45±7.02	64.52±2.51
Fc-Ft (P≤0.05)	2.76 - 0.12	4.20 -0.05	2.89 -0.11	3.56 - 0.07

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05).

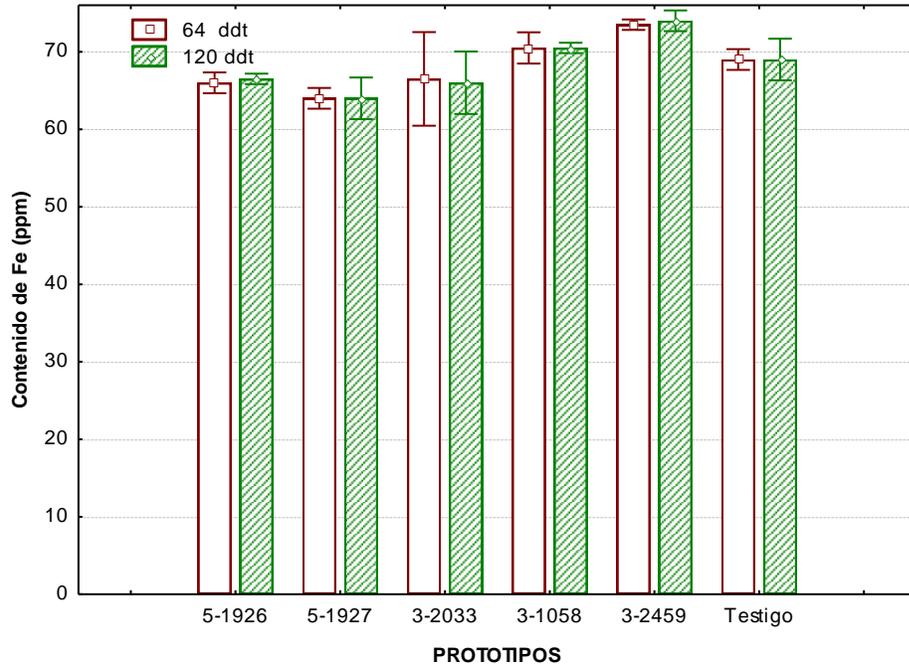


Figura 5. Concentración de hierro total a los 64 y 120 días después del trasplante.

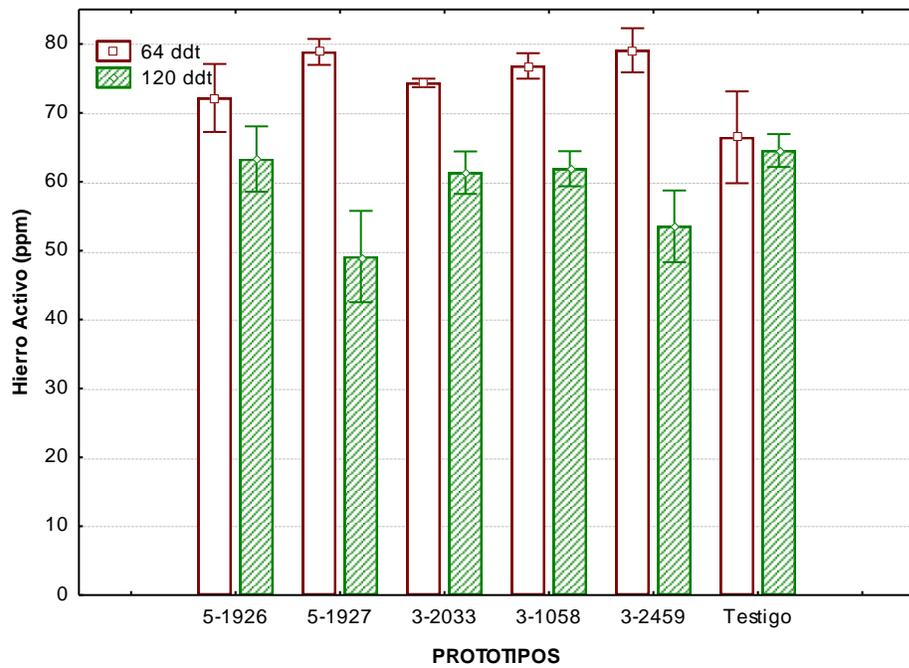


Figura 6. Concentración de hierro activo en hojas de tomate a los 64 y 120 días después del trasplante

Unidades SPAD

La cantidad relativa de clorofila en las hojas, medida como unidades SPAD a las 16:00 del día, no fue estadísticamente diferente; y los valores medios fueron diferentes en los dos muestreos realizados (Cuadro 2, figura 7).

Cuadro 2. Medias y desviación estándar de las unidades SPAD en hojas de tomate, medidas a las 16:00 horas, en dos muestreos a los 45 y 60 días después del trasplante.

PROTOTIPOS	Unidades SPAD	
	45 DDT	90 DDT
1) 5-1926	46.80 ± 3.79	55.24 ± 2.48
2) 5-1927	46.86 ± 4.09	57.35 ± 3.39
3) 3-2033	43.73 ± 4.30	55.86 ± 3.64
4) 3-1058	46.62 ± 5.04	58.99 ± 3.71
5) 3-2459	45.11 ± 3.72	57.62 ± 3.87
6) Testigo	45.01 ± 3.16	55.62 ± 5.65
Fc-Ft (P≤0.05)	0.98 -0.43	1.37 - 0.25

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

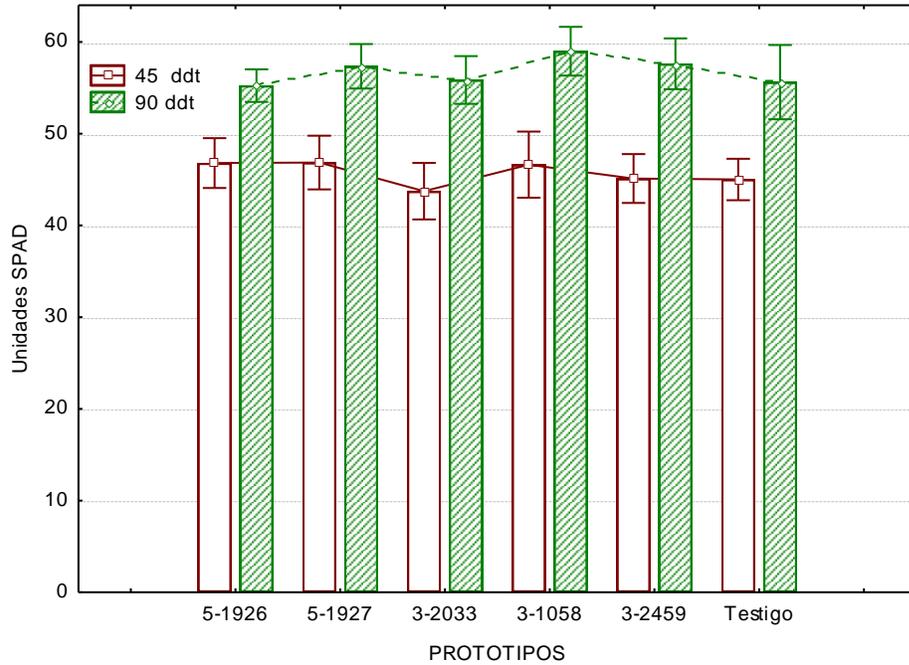


Figura 7. Unidades SPAD, en hojas de tomate en dos diferentes muestreos, medidas a las 14:00 horas del día.

Variables de Crecimiento

Peso Fresco y Seco de la Planta

El desarrollo de la planta medido como peso fresco y peso seco fue modificado con la aplicación de los quelatos de Fe.

El peso fresco y seco de los frutos se incrementó con la adición de los prototipos 3-2033, 5-1926 y 3-2459 (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Medias y desviación estándar de las variables de peso fresco de la planta de tomate a los 45 y 90 DDT.

PROTO TIPOS	Hoja		Tallo	
	45 DDT	90 DDT	45 DDT	90 DDT
1) 5-1926	568.00±63.00	413.00±49.19	314.00±57.70	427.00±41.92
2) 5-1927	526.00±137.04	287.00±46.85	266.00±43.35	403.00±44.44
3) 3-2033	510.00±71.76	353.00±85.26	264.00±29.66	412.00±35.46
4) 3-1058	504.00±66.55	375.00±75.82	254.00±23.02	375.00±134.90
5) 3-2459	558.00±141.66	374.00±78.53	266.00±15.16	427.00±82.05
6) Testigo	506.00±69.85	291.00±76.59	230.00±47.43	396.00±114.58
Fc-Ft (P≤0.05)	0.407-0.839	2.552-0.547	2.471-0.609	0.276-0.921
	Raíz		Fruto	
1) 5-1926	128.00±8.36	34.00±8.21	622.00±188.06	1659.00±316.84 ab
2) 5-1927	125.00±11.18	30.00±5.00	680.00±147.13	1257.00±205.44 cd
3) 3-2033	130.00±10.00	31.00±7.4	594.00±132.58	1816.00±343.93 a
4) 3-1058	136.00±27.01	31.00±9.6	440.00±140.17	1333.00±333.45bc
5) 3-2459	146.00±13.41	46.00±10.83	494.00±119.07	1483.00±360.04abc
6) Testigo	142.00±13.03	36.00±14.74	548.00±110.09	931.00±313.11 d
Fc-Ft (P≤0.05)	1.499-0.227	1.871-0.137	1.903-0.131	4.910 -0.004

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

Cuadro 4. Medias y desviación estándar de las variables de peso seco a los 45 y 90 Días Después del Trasplante DDT

PROTO TIPOS	Hoja		Tallo	
	45 DDT	90 DDT	45 DDT	90 DDT
1) 5-1926	18.87±0.31	48.32±5.75	73.84±8.19	68.32±6.70
2) 5-1927	18.38±1.00	33.57±5.48	68.38±17.81	64.48±7.19
3) 3-2033	18.62±0.24	44.81±12.15	68.64±6.19	69.76±8.02
4) 3-1058	18.73±0.54	35.68±9.52	60.06±8.29	52.48±15.71
5) 3-2459	18.24±0.42	46.09±6.37	75.66±16.68	72.00±10.92
6) Testigo	18.19±0.64	31.70±11.35	65.78±9.08	63.36±18.33
Fc-Ft (P≤0.05)	1.92-0.37	3.28-0.02	1.113-0.379	1.68-0.176

Continuación cuadro 4.				
	Raíz		Fruto	
1) 5-1926	49.29±9.05	13.78±21.38	49.76±15.04	146.93±25.27 a
Continuación cuadro 4.				
2) 5-1927	41.76±6.80	3.60±1.08	38.40±27.32	109.35±17.87bc
3) 3-2033	42.39±3.14	12.35±18.55	48.48±10.14	152.42±25.88 a
4) 3-1058	38.93±4.35	11.44±15.44	39.84±7.80	118.84±39.63 ab
5) 3-2459	41.76±2.38	20.93±24.29	33.92±11.35	131.71±30.26 ab
6) Testigo	36.11±7.44	4.68±1.91	43.84±8.80	080.99±27.24 c
Fc-Ft (P≤0.05)	2.668-0.046	0.742-0.599	0.838-0.535	4.3004-0.0061

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

Variables de Producción

El número de frutos por planta y el rendimiento por planta, aumentó con la aplicación del prototipo 5-1927 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Medias y desviación estándar de las variables de número de frutos por planta, peso promedio de los frutos y rendimiento por planta en 4 racimos cosechados.

PROTO TIPOS	Número Frutos/Planta	Peso Promedio del Fruto (g)	Rendimiento por Planta (kg)
1) 5-1926	24.28±1.27 ab	122.73±15.01	2.97±0.29bc
2) 5-1927	24.71±0.93 a	141.61±7.06	3.49±0.12 a
3) 3-2033	23.36±3.66 ab	133.67±9.84	3.13±0.61 ab
4) 3-1058	19.91±1.30 c	131.46±18.15	2.62±0.44 c
5) 3-2459	22.20±2.05bc	140.67±21.38	3.13±0.61 ab
6) Testigo	22.82±0.99 ab	121.04±32.07	2.62±0.44 bc
Fc-Ft (P≤0.05)	4.25-0.009	1.032-0.421	3.61-0.017

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

Variables de Calidad del Fruto

La calidad física del fruto de tomate, evaluada como longitud, diámetro y firmeza, no fue afectada ($P \leq 0.05$), con la aplicación de los quelatos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias y desviación estándar de las variables de longitud, diámetro y firmeza del fruto maduro rojo.

PROTOTIPOS	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Firmeza (Kg/cm)
1) 5-1926	60.92±0.74	68.96±1.86	0.96±0.12
2) 5-1927	61.32±2.01	71.53±0.94	1.07±0.15
3) 3-2033	63.00±1.25	72.62±4.12	1.18±0.28
4) 3-1058	59.84±2.08	70.45±3.66	1.16±0.31
5) 3-2459	59.89±1.98	72.15±0.84	1.17±0.23
6) Testigo	57.09±6.61	66.74±8.30	1.12±0.20
Fc-Ft ($P \leq 0.05$)	2.00-0.11	1.42-0.252	0.636-0.673

Fc > Ft Indica diferencia estadística ($P \leq 0.05$), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

A sí mismo la calidad organoléptica y nutricional del fruto, determinada por el contenido de sólidos totales o grados Brix, pH y potencial redox (ORP), no fue afectada por la adición de quelatos férricos al programa de nutrición Cuadro 7).

Cuadro 7. Medias y desviación estándar de las variables de grados Brix, pH y capacidad reductora (ORP) del fruto maduro rojo.

PROTOTIPOS	Grados Brix	pH)	ORP)
	3.65±0.22	4.34±0.11	96.40±1.63
1) 5-1926	3.84±0.11	4.36±0.07	90.40±4.43
2) 5-1927	3.83±0.24	4.35±0.08	92.00±6.03
3) 3-2033	3.92±0.33	4.40±0.04	90.77±3.15
4) 3-1058	3.69±0.26	4.42±0.18	93.10±6.90
5) 3-2459	3.80±0.12	4.25±0.07	96.90±4.29
Fc-Ft (P≤0.05)	0.950-0.467	1.58-0.202	1.74-0.163

Fc> Ft Indica diferencia estadística (P≤0.05), entre los tratamientos. Literales diferentes en la columna indican diferencia estadística en los valores medios (DMS 0.05); DDT = Días Después del Trasplante.

Correlación no Paramétrica de Sperman para las variables en estudio

Se correlacionaron las variables del contenido de Hierro libre y foliar, con unidades SPAD, posteriormente el contenido de hierro y unidades SPAD con las variables de crecimiento, productividad y calidad del fruto (Cuadro 8).

Los resultados muestran que al aumentar el contenido de hierro libre o activo, disminuye la capacidad reductora ($r_s = - 0.431$) y el peso promedio ($r_s = - 0.419$) del fruto.

Al aumentar el contenido relativo de clorofila en las hojas (Unidades SPAD), disminuye la longitud de los frutos cosechados ($r_s = - 0.422$).

Cuadro 8. Correlación no paramétrica de Sperman de las variables de estudio

	Fe Foliar	Fe Libre	SPAD	Alt Plant	Long Raíz	Pfresco Tot	PSeco Tot	NoFru Cos	PFrut Cos	PProm Frut	LFru Cos	DFrut Cos	Firmeza	Brix	pH	ORP
Fe Foliar	1.000	0.001	0.142	0.306	-0.115	-0.090	-0.119	-0.337	-0.247	-0.069	-0.375	0.102	0.099	-0.225	0.114	0.047
Fe Libre	0.001	1.000	0.304	-0.203	-0.072	-0.070	0.028	0.147	-0.257	-0.431	-0.040	-0.175	-0.318	0.032	0.037	-0.419
SPAD	0.142	0.304	1.000	-0.242	-0.270	-0.354	-0.321	-0.029	-0.306	-0.397	-0.422	-0.372	-0.091	0.165	0.051	-0.082
Alt Plant	0.306	-0.203	-0.242	1.000	0.072	0.313	0.022	-0.207	0.178	0.462	0.215	0.614	0.292	-0.190	0.325	-0.088
Long Raíz	-0.115	-0.072	-0.270	0.072	1.000	0.168	-0.062	-0.165	-0.072	0.028	0.048	-0.010	-0.186	-0.048	-0.244	0.171
PFresTot	-0.090	-0.070	-0.354	0.313	0.168	1.000	0.431	-0.031	0.230	0.292	0.517	0.249	0.008	-0.164	0.512	0.077
PSecoTot	-0.119	0.028	-0.321	0.022	-0.062	0.431	1.000	0.033	0.024	0.089	0.372	0.134	-0.352	-0.255	0.379	-0.092
NoFruCos	-0.337	0.147	-0.029	-0.207	-0.165	-0.031	0.033	1.000	0.560	-0.124	0.124	0.037	-0.047	-0.127	-0.314	0.105
PFrutCos	-0.247	-0.257	-0.306	0.178	-0.072	0.230	0.024	0.560	1.000	0.729	0.385	0.408	0.171	-0.157	0.003	-0.098
PPromFrut	-0.069	-0.431	-0.397	0.462	0.028	0.292	0.089	-0.124	0.729	1.000	0.420	0.563	0.233	-0.026	0.307	-0.209
LFrutCos	-0.375	-0.040	-0.422	0.215	0.048	0.517	0.372	0.124	0.385	0.420	1.000	0.496	-0.016	0.038	0.396	-0.097
DFrutCos	0.102	-0.175	-0.372	0.614	-0.010	0.249	0.134	0.037	0.408	0.563	0.496	1.000	0.143	0.158	0.181	-0.125
Firmeza	0.099	-0.318	-0.091	0.292	-0.186	0.008	-0.352	-0.047	0.171	0.233	-0.016	0.143	1.000	-0.002	-0.082	0.010
Brix	-0.225	0.032	0.165	-0.190	-0.048	-0.164	-0.255	-0.127	-0.157	-0.026	0.038	0.158	-0.002	1.000	0.036	-0.275
pH	0.114	0.037	0.051	0.325	-0.244	0.512	0.379	-0.314	0.003	0.307	0.396	0.181	-0.082	0.036	1.000	-0.393
ORP	0.047	-0.419	-0.082	-0.088	0.171	0.077	-0.092	0.105	-0.098	-0.209	-0.097	-0.125	0.010	-0.275	-0.393	1.000

Los valores marcados en color rojo, indican correlación ($P \leq 0.05$) entre las variables.

Alt Plant = Altura de la Planta, Long Raíz = Longitud de raíz, PFresTot = Peso fresco total, PSecoTot = Peso seco total, NoFruCos = Numero de Frutos Cosechados, PPromFrut = Peso Promedio d Frutos, LFrutCos = Longitud de Frutos Cosechados, DFrutCos = Diámetro de frutos Cosechado.

CONCLUSIONES

El prototipo 3-2459, aumentó el contenido de hierro foliar, los prototipos 3-2033, 5-1926, 3-2459, y 3-1058 incrementaron el peso fresco los frutos en desarrollo, y el prototipo 5-1927 aumentó el número de frutos cosechados y el rendimiento por planta.

Las correlaciones muestran que al aumentar el contenido de hierro libre o activo, disminuye la capacidad reductora y el peso promedio del fruto del fruto. Al aumentar el contenido relativo de clorofila en las hojas disminuye el tamaño de los frutos cosechados.

LITERATURA CITADA

Ahrlan, S., Dahlgren, A., Persson, I. 1990. Stabilities and hydrolysis of some iron (III) and manganese (II) complexes with chelanting ligands. Acta Agric. Scand. 40: 101-111.

Aguado, G., Moreno, B., Jiménez, B., García, E., Preciado, R. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidéforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. SciELO.56 (1), 4-6.

Benavides, A. 2000. Absorción y asimilación de hierro en las plantas. Ciencia UANL. 3:50-57.

DEAQ, 2014. Diccionario de Especialidades Agroquímicas. Disponible en: <http://www.agroquimicos-organicosplm.com/>

Diccionario Etimológico de la real academia española (DRAE). 2001. Ed 2. Madrid España.

Doménech C. T. M.; Yusa M. D. J. 2006. Aspectos físicos-químicos de la pintura. Universidad politécnica de Valencia. Valencia. Pp. 99-102.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Valor de la producción agrícola, 2012. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S> consultado el 03/06/2014.

González Gordillo D. de J. 2007. Efectividad biológica de un fulvato de fierro en la calidad y producción de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum mill*) var. Red Cherry. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, México. Pp. 34

Guerrero, R. R. 1998. Fertilización de cultivos en clima frio. 2ª ed. Monomeroe colombo. Colombia. Pp: 86-89.

Hazera Genetics. 201. Catálogo de semillas. Disponible en: <http://hazera.es/> consultado el 14/06/2014.

Juárez. M.; Cerdán, M.; Sánchez- Sánchez, A. 2000. Hierro en el sistema suelo-planta. Depto. Agroquímica y bioquímica. Facultad de ciencias. Universidad de alicante.

Juárez. M.; Cerdán, M.; Sánchez- Sánchez, A. 2002. Nutrición férrica de los cultivos. Depto. Agroquímica y bioquímica. Facultad de ciencias. Universidad de alicante.

López, G. J. 1991. Fijación y movilización biológica de nutrientes. Raycar. Madrid, España. Pp: 122-124.

Lucena, J. J. 2003. Fe chalates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. J. plant Nutr. 26: 1969-1984.

Lucena, M. J.L. 2013. Uso de quelatos férricos en agricultura. Química Agrícola Universidad Autónoma. Madrid.

Lindsay, W. L. 1991. Micronutrients in agriculture. J. J. Mortvedt (Ed.). Soil Science Society of America. Madison. Pp. 89-112.

Lyndsay, W. L., Schiwab, A. P. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. J. Plant Nutr. 5:821-840.

Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in solis. Ed John Wiley and Sons. N. Y. ISBN: 0-471-02704-9.

Medina, M. M. C. 2000. Deficiencia y toxicidad de nutrientes en el nogal. Memorias del 4er Simposium Internacional de Nogal. Torreón, Coahuila, México. PP. 11-21.

Miller, P. 1754. The gardener's dictionary, Abridget 4th ed. London: john and James Rivington.

Ordoñez, A. P.A. 2010. Eficiencia de la aplicación edáfica de tres quelatos de hierro con dos dosis, en la producción de rosa de corte (*rosa sp*), variedad Orange Unique. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Pp. 19.

Peralta I. E.; Knapp S. & Spooner D. M. 2006. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. Tomato Genetics Cooperative Report 56: 6-12.

PIAEC, 2013. Patronato para la investigación Agrícola del Estado de Coahuila. A.C. Av. Roman Cepeda No. 4. Arteaga Coahuila, México. CP. 25350.

Rodríguez-Lucena, P., L. Hernández- Apaolaza, J. J. Lucena. 2010. Comparison of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. *J. Plant Nutr. SoilSci.* 173: 120-126.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010. Monografía de cultivos, 2010. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografia_s/Jitomate.pdf consultado el 23/05/2014

Sagüil Mateo A. D. 2013. Evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento de seis materiales de tomate *Lycopersicum esculentum L.*, bajo condiciones de casa malla; en aldea el Amatillo, Municipio de Ipala, Chiquimula. Universidad de San Carlos de Guatemala Centro Universitario de Oriente Agronomía. Chiquimula, Guatemala. Pp. 20.

Sánchez, M. Sanchez-Sanchez A, Cerdán M. 2007. Nutrición férrica de los cultivos. Departamento de Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante España.

SENASICA (servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria). 2014. Dictaminación técnica de efectividad biológica 2014. Obtenida en: <http://www.senasica.gob.mx/?id=3494> consultado el 08/06/2014.

SIAP (servicio de información agropecuaria y pesquera). 2012. Estadísticas Agroalimentarias, 2012. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> consultada el 03/06/2014.

Escalona, C. V., Álvaro, V. P., Monardes, M. H., Urbina Z, C., Martin, B. A. 2009. Manual de cultivos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Nodo Hortícola. Innova Chile corfo. Facultad de ciencias agronómicas Universidad de Chile.

Wreesmann, C. T. J.; Bugter, M. H. J. 1998. Fertilizers and chelated micronutrients. *Agro Food Industry Hi-Tech.* 9: 25-26.

Zar J. H., 1996. Biostatistical Analysis. Third ed. Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA.

APÉNDICE 1. Análisis del agua de riego, utilizada en el estudio.



**PATRONATO PARA LA INVESTIGACIÓN
AGRÍCOLA DEL ESTADO DE COAHUILA**

RECEPCION DE MUESTRA: 30 - 07 - 12
ENTREGA DE RESULTADOS: 31 - 07 - 12

USUARIO: DR. ALBERTO SINDOVAL
PREDIO: CASA
MUESTRA: M1 POZO

COND. ELECTRICA	mmhos/cm	0.464		NO SALINO
pH		7.8		MOD. ALCALINO
CALCIO		2.340 meq/lit	46.893 ppm	MUY BAJO
MAGNESIO		1.620 meq/lit	19.699 ppm	MUY BAJO
SODIO		3.290 meq/lit	75.608 ppm	MEDIO
POTASIO		1.126 meq/lit	44.050 ppm	BAJO
CARBONATOS		0.260 meq/lit	7.800 ppm	BAJO
BICARBONATOS		2.080 meq/lit	126.900 ppm	MEDIO
SULFATOS		4.145 meq/lit	199.084 ppm	BAJO
REL. DE ABS. DE SODIO (RAS)		2.338		BAJO EN SODIO
CLORUROS		1.800 meq/lit	53.190 ppm	BAJO
TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS	mg/lit	296.96		
SALINIDAD EFECTIVA		6.036 meq/lit		

REALIZO.

I.Q. MARTHA ELENA ALCOCER CRUZ

AV. ROMAN CEPEDA No. 4 ARTEAGA, COAHUILA C.P. 25350
TEL. Y FAX: 483-05-01