

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**Comportamiento de Fulvatos de Magnesio en la Absorción de algunos
Nutrimentos por el Tomate en Invernadero.**

POR

VÍCTOR PACHECO DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial

para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Comportamiento de Fulvatos de Magnesio en la Absorción de algunos

Nutrimientos por el Tomate en Invernadero.

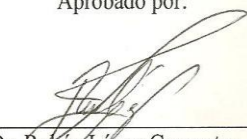
Por:

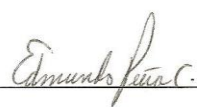
Víctor Pacheco Díaz

Que se somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

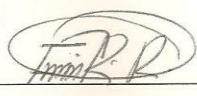
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobado por:


Dr. Rubén López Cervantes
Asesor Principal


Dr. Edmundo Peña Cervantes

Sinodal


M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos

Sinodal


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi **“ALMA TERRA MATER”**, por cobijarme cuatro años y medio le agradezco por todo lo que me ofreció en su interior: conocimientos, deportes y la oportunidad brindada para realizar mis estudios de Licenciatura y prepararme como profesionista, “Buitres Por Siempre”.

Al Dr. Rubén López Cervantes, por su amistad, con respeto y admiración por la oportunidad que me brinda para realizar la presente investigación, invaluable asesoría, revisión y sugerencias en el desarrollo de la misma.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes, por su colaboración y disponibilidad para apoyar en la revisión de este trabajo.

Al M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos, por su disponibilidad, paciencia, asesoría y apoyo, con las herramientas necesarias para la culminación de este trabajo.

Con respeto y admiración a todos los maestros quienes en el trayecto de mi vida estudiantil transmitieron y compartieron cada uno de sus conocimientos necesarios para mi formación profesional.

DEDICATORIAS

A DIOS:

Gracias señor mío por darme salud, bienestar, la sabiduría, y por dejarme vivir, esto es un sueño realizado que en algún momento de mi vida me propuse y hoy me das licencia para disfrutar este momento maravilloso.

A MIS PADRES:

Al Sr. Hipólito Pacheco Vásquez y la Sra. Isabel Díaz Jiménez, con profundo amor y respeto les doy las gracias por haberme dado la vida e inculcarme buenos principios y valores les dedico el presente trabajo que marca el final de una etapa de mi vida y el principio de mi carrera profesional. Por todos sus esfuerzos, sacrificios, apoyo incondicional y la confianza que depositaron en mi gracias.

A MIS HERMANOS:

Javier, Gregorio, Avito, Luisa, Adelina y Fausto, gracias a cada uno de ustedes por su apoyo, sus consejos, cariño, amistad y alegría que siempre me han brindado, animándome para cumplir este sueño que hoy se hace realidad, les dedico a cada uno de ustedes esta meta alcanzada.

A MI FAMILIA

A toda mi familia, les comparto y dedico este título gracias a todos que de alguna manera pusieron un granito de arena para que culminara satisfactoriamente mis estudios profesionales.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:

Gracias a todos y cada uno de ustedes por compartir momentos de alegrías, gracias por ser unos amigos increíbles, me da mucho gusto haber encontrado personas como ustedes, donde quiera que estén siempre me acordaré de cada uno, échenle ganas en todo lo que realicen y que dios los guie por un buen camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
Objetivo Específico	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Origen e Historia del Tomate (<i>Solanum lycopersicum Mill</i>)	4
Clasificación Taxonómica.....	5
Morfología de la Planta del Tomate	5
Requerimientos Climáticos	7
Requerimientos Edáficos.....	8
Sustancias Húmicas	8
Características de los Ácidos Fúlvicos	15
Efecto de Ácidos Fúlvicos en la Planta	16
Formación de los Fulvatos	16
Importancia del Magnesio	17
Absorción del Magnesio por las Plantas	17
Papel de Magnesio en la Fisiología de la Planta y en la Determinación de la Cosecha... ..	18
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Localización del Área Experimental	19
Metodología.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
CONCLUSIÓN	45
LITERATURA CITADA	46
Fuentes de Internet	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Reactivos usados en la extracción de sustancias húmicas.....	11
Cuadro 2. Distribución de Tratamientos y Dosis de fulvatos de Magnesio (Mg), adicionados a tomate.....	21
Cuadro 3. Análisis de varianza para el Número de fruto de tomate.....	22
Cuadro 4. Análisis de varianza para el Peso Fresco de Fruto (PFF) de tomate. ...	23
Cuadro 5. Análisis de varianza para el Peso Seco de Fruto (PSF) de tomate.....	24
Cuadro 6. Análisis de varianza para el Peso Fresco de Hoja (PFH) de tomate.....	25
Cuadro 7. Análisis de varianza para el Peso Seco de Hoja (PSH) de tomate.	26
Cuadro 8. Análisis de varianza para el potasio (K) en follaje de tomate.	27
Cuadro 9. Análisis de varianza para el calcio (Ca) en follaje de tomate.	29
Cuadro 10. Análisis de varianza para el magnesio (Mg) en follaje de tomate.	30
Cuadro 11. Análisis de varianza para el fierro (Fe) en follaje de tomate.....	32
Cuadro 12. Análisis de varianza para el cobre (Cu) en follaje de tomate.	33
Cuadro 13. Análisis de varianza para el zinc (Zn) en follaje de tomate.	34
Cuadro 14. Análisis de varianza para el potasio (K) en fruto de tomate.	35
Cuadro 15. Análisis de varianza para el calcio (Ca) en fruto de tomate.	37
Cuadro 16. Análisis de varianza para el magnesio (Mg) en fruto de tomate.....	38
Cuadro 17. Análisis de varianza para el fierro (Fe) en fruto de tomate.....	39
Cuadro 18. Análisis de varianza para el cobre (Cu) en fruto de tomate.....	40
Cuadro 19. Análisis de varianza para el zinc (Zn) en fruto de tomate.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distintas fracciones orgánicas en el suelo.	9
Figura 2. Composición media de la materia orgánica del suelo.....	10
Figura 3. Fraccionamiento de las sustancias húmicas en función de la solubilidad a diferente pH.	12
Figura 4. Eliminación de las sustancias no húmicas que acompañan al ácido fúlvico tras su extracción.....	13
Figura 5. Propiedades de las sustancias húmicas.	14
Figura 6. Localización de área experimental.	19
Figura 7. Número de fruto de tomate con la adición de fulvatos de magnesio.	23
Figura 8. Peso fresco y seco del fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	25
Figura 9. Peso fresco y seco de hoja de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	27
Figura 10. Contenido de Potasio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	28
Figura 11. Contenido de Calcio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	30
Figura 12. Contenido de Magnesio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	31
Figura 13. Cantidad de Hierro, Cobre y Zinc en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	35
Figura 14. Contenido de Potasio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	36
Figura 15. Contenido de Calcio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	38
Figura 16. Contenido de Magnesio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	39
Figura 17. Cantidad de Hierro, Cobre, y Zinc, en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.	42

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de fulvatos de magnesio en la absorción de algunos nutrimentos por el tomate, bajo condiciones de invernadero, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con la mezcla de peat moss y “perlita” (relación 1:1 – p/p), se sembraron semillas de tomate tipo Saladette de la variedad “Río grande”. Cuando la plántula tenía un par de hojas verdaderas, fueron trasplantadas a macetas con 250 g del mismo sustrato. Una vez que la planta alcanzó entre 25 y 30 cm de altura, fue trasplantada en macetas de plástico con 10 kg de un sustrato compuesto de suelo de la región, hojarasca de cedro (*Cedrela adórate L.*) y aserrín de madera de pino, se les adicionaron once tratamientos que consistieron en 1, 2, 3, 4 y 5 ml.litro⁻¹ de ácido fúlvico más magnesio al uno y al dos por ciento. El control fue una solución nutritiva completa. Las variables medidas a la planta fueron: número de fruto (NF), peso fresco (PFF) y seco de fruto (PSF); peso fresco (PFH) y seco de hoja (PSH). También, se determinó el contenido de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en follaje y en frutos. Se encontró que no hay efecto significativo de los tratamientos en el contenido de K, Fe y Zn en follaje; pero en el PFF, PFH, PSH, contenido de Mg y Cu en follaje, Fe y Zn en fruto se presentó efecto significativo, al adicionar dosis de 2 ml, y media de AF más uno y dos por ciento de Mg, por último se presentó el efecto altamente significativo, al adicionar dosis baja, 2 ml y 5 ml de AF más uno y dos por ciento de Mg, en el NF, PSF, contenido de Ca en follaje, K, Ca, Mg y Cu en fruto.

Los ácidos fúlvicos mezclados con magnesio, produjeron efecto positivo en el número de fruto, peso fresco y seco de fruto y contenido de magnesio en follaje con la dosis de 2 ml.litro⁻¹ de AF mezclados con la dosis alta de magnesio; mientras que, en el peso fresco y seco de hoja, contenido de potasio y cobre en follaje, cantidad de potasio y magnesio en fruto lo realizó a la misma dosis de los compuestos húmicos, solo que con la mezcla de la dosis baja de magnesio. Con la dosis baja de AF más la dosis alta de magnesio se presentó la superioridad en el contenido de calcio y fierro en follaje.

Palabras claves: *Lycopersicum esculentum Mill, sustancias húmicas.*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill), es el segundo producto de consumo en el mundo que junto con la papa aportan el 50 por ciento de la producción mundial de hortalizas. El tomate es una de las hortalizas más importantes, no solo a nivel nacional, sino a nivel internacional debido a la gran cantidad de divisas que genera a los países que lo cultivan y lo exportan. La superficie mundial plantada es de 2.85 millones de hectáreas, con un rendimiento de 77.5 millones de toneladas. En los estados de Florida y California de los Estados Unidos de América se siembran 200,000 hectáreas. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP, 2010).

En México, en el 2010, se sembraron 54,510 hectáreas, la superficie cosechada fue de 52,088.59 hectáreas, con rendimiento de 43.73 ton.ha⁻¹; en sus diferentes tipos, con producción de 2,277,791 toneladas (SIAP, 2010). Por la superficie que se siembra, el tomate es una de las hortalizas de mayor importancia económica en México, así como por la generación de divisas, por venta en el comercio exterior (Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica-SNIEG, 2009). En lo social, que se mide por la cantidad de empleos generados durante el cultivo y comercialización, esta hortaliza se cultiva en toda la República Mexicana (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta-SIACON, 2010).

Aunque se cultiva en 27 estados de la República Mexicana solo cinco concentran en promedio 74.2 por ciento de la producción, donde destacan Sinaloa, Jalisco y Nayarit (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA,- 2010). Sin embargo, anualmente se tienen grandes pérdidas de cosecha debido a fenómenos meteorológicos catastróficos.

En los últimos años han aparecido en el mercado algunos productos llamados bioestimulantes, los cuales incluyen en su formulación entre otras sustancias: nutrimentos foliares, ácidos húmicos y fúlvicos, hormonas, algas

marinas y extractos vegetales; estos productos mejoran la eficiencia para aprovechar los elementos nutritivos disponibles a la planta (en el suelo y/o en el follaje), esto eleva el rendimiento y la calidad de los frutos.

Las sustancias húmicas (SH), son macromoléculas orgánicas muy complejas, de alto peso molecular y un poco más estables que las moléculas de compuestos orgánicos, de donde provienen; es decir, de donde se originan (Schnitzer, 2000). Las SH, se clasifican de acuerdo a su solubilidad y/o precipitación en compuestos alcalinos y/o ácidos en: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H) (Stevenson, 1994); las más estudiadas son las dos primeras sustancias.

Las SH, dentro de sus características principales, es que poseen alta capacidad de intercambiar cationes y por lo tanto, son capaces de complejar muchos cationes metálicos, por lo que son fuente de nutrimentos. Los nutrimentos principales que complejan son: el nitrógeno (N), el fósforo (P) y/o azufre (S) (Varanini y Pinton, 2001); además mejoran el crecimiento de raíz y pelos radiculares (Pinton *et al.*, 1999), incrementan la superficie radicular y favorecen la disponibilidad de elementos como potasio (K), fósforo (P) y/o hierro (Fe) (Cesco *et al.*, 2002). La unión de los AF con cualquier nutrimento como fertilizante, se denomina fulvato; mientras que los AH, se nombran humatos.

El magnesio en la planta tiene como funciones principales, formar la molécula de clorofila, activar algunas enzimas, formar el ATP, sirve como puente entre enzimas y el ATP y en la síntesis de proteínas (Marschner, 1995). Este catión mezclado con los AF, se denomina fulvato de Mg el que sirve para aumentar la absorción de algunos nutrimentos.

Los productores han tenido la necesidad de producir plántula sana y vigorosa, esto con la finalidad de garantizar un buen desarrollo y crecimiento para obtener mejor rendimiento en la producción, por lo que la generación de tecnología para su elaboración es un requerimiento necesario (Guzmán, 2002).

OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento de fulvatos de magnesio, en la absorción de algunos nutrimentos por el tomate, en invernadero.

Objetivo Específico

Establecer la dosis optima de un fulvato de magnesio, en la absorción de algunos nutrimentos por el tomate, en invernadero.

HIPÓTESIS

Al menos una dosis de los Fulvatos de magnesio, aumentan la absorción de algunos nutrimentos por el tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen e Historia del Tomate (*Solanum lycopersicum Mill*)

El tomate (*Solanum lycopersicum Mill*), de la familia de las solanáceas, es una planta nativa de América Tropical, cuyo centro de origen se localiza en la región de los Andes, integrada por Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, donde existe la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres.

La diversidad varietal encontrada en la zona mexicana de Veracruz y Puebla llevó a Jenkins a considerar a México como el centro de origen del tomate cultivado de frutos grandes. El término tomate fue utilizado desde 1695 por los viajeros botánicos, quienes tomaron las palabras xitomate–xito-mate, con los que los aztecas designaban a esta planta. México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del tomate.

La evidencia histórica favorece a México como el centro de origen, ya que su uso de manera doméstica tiene bastante antigüedad y sus frutos ya eran conocidos y empleados como alimento por las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México antes de la llegada de los españoles. En Europa, el cultivo del tomate se calcula su inició en Italia hacia 1560, y fue en ese país donde se realizaron los primeros trabajos de mejoramiento en la utilización del tomate, como planta de interés agrícola, es relativamente reciente, cultivándose escasamente como tal producto agrícola hacia 1800 (León, 1980).

El tomate mexicano fue enviado a España en el siglo XVI, donde se utilizó de la forma indígena para sazonar y condimentar platillos especialmente para carnes. De ahí fue a Italia donde se adicionó a los macarrones chinos, que constituían ya el principal platillo italiano. En el siglo XVIII, el tomate Mexicano era conocido y consumido en todo el mundo, aclimatándose a casi todos los países. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá.

Para el siglo XIX, llegó a ser el artículo de consumo necesario en todas partes, en otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania (<http://www.infoagro.com>. 2013).

En la actualidad, el tomate se consume fresco como ingrediente preferido de las ensaladas, en forma de jugo, deshidratado, para sopas, en conservas al natural, pasta, salsa, extracto tamizado y condimentos (Ketchup), frutos verdes en vinagre (Pikles) y mermeladas (Nuez, 2001).

Clasificación Taxonómica

Reino..... *Metaphyta*

División..... *Magnoliophyta*

Clase..... *Magnoliopsida*

Orden..... *Solanales*

Familia..... *Solanaceae*

Género..... *Solanum*

Especie..... *lycopersicum Mill.*

Morfología de la Planta del Tomate

Planta de porte arbustivo que se cultiva como anual, puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades que de acuerdo a su hábito de crecimiento se clasifican en determinadas (tallos que al llegar a cierto número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminadas que poseen tallos que no detienen su crecimiento (<http://www.infoagro.com>. 2013).

El sistema radicular del tomate consta de una raíz principal y ramificaciones secundarias. En los primeros 20 cm de la capa del suelo se concentra el 70 % de la biomasa radical (Chamarro, 1995).

El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos, por lo que es importante vigilar su vigor y sanidad. Puede ser de crecimiento determinado o indeterminado (Nuez, 2001).

Las hojas son alternas, sencillas, pecioladas, de limbo muy hendido, parecen compuestas sin serlo, de foliolos lobulados, ovales y acuminadas, con bordes dentados, de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés, al igual que el tallo, también están recubiertas de pelos glandulares. Normalmente aparecen tres hojas por simpodio, es decir entre ramilletes.

Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor interceptación de la radiación. Por ello es importante que el emparrillado para en tutorado, quede simétricamente establecido y además para que no interfiera con las labores culturales del cultivo (Gaona y Juárez 2005).

Tiene flor perfecta, regular e hipógina y consta de cinco o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuesto de forma helicoidal, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencia de tipo racimoso (dicasio). Es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del córtex. Las inflorescencias se desarrollan cada dos a tres hojas en las axilas.

El fruto es una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500 g, de acuerdo a la variedad y las condiciones del cultivo. El fruto está unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. La separación del fruto en la recolección puede realizarse por una zona de abscisión o por la zona pedúnculo de unión del fruto (Nuez, 2001).

Requerimientos Climáticos

Durante el desarrollo de la planta, la temperatura juega un papel importante, ya que el frío, durante las primeras etapas de crecimiento, puede estimular a las plantas a producir más yemas tanto vegetativas como de floración. Las temperaturas bajas y un crecimiento exuberante retardan la floración y provocan flores de difícil fecundación.

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20-30 °C durante el día y entre el 10 y 17 °C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30-35 °C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular (Nuez, 2001).

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. El tomate es exigente en luminosidad; requiere de días soleados, para un buen desarrollo de la planta y poder lograr una coloración uniforme en el fruto. El tomate es un cultivo sensible al fotoperiodo, requiere de entre 8 y 16 horas luz. Poca iluminación reduce la fotosíntesis neta e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Nuez, 2001).

La humedad relativa (HR) del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento. Se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y generan un mayor desarrollo de enfermedades fungosas. Por el contrario sí la HR es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los problemas del mal cuaje. Cada especie tiene una humedad ambiental para desarrollarse en perfectas condiciones. El rango óptimo para el tomate se encuentra entre el 70 y 80 %, aún con temperaturas nocturnas de 13 °C. Valores superiores al 90 % favorecen al desarrollo de enfermedades, especialmente botrytis (Nuez, 2001).

Requerimientos Edáficos

El tomate se desarrolla en suelos livianos (arenosos) y en los suelos pesados (arcillosos), pero los más adecuados para un buen desarrollo son los arenoso y limo-arenosos con buen drenaje. En el caso del tomate está clasificado como una hortaliza tolerante a la acidez, cuyos valores de pH se ubican entre 5.0 y 6.8. El pH ideal es el más próximo a la neutralidad (7), se recomiendan calizas o ácidas si está por debajo o por encima del rango óptimo. El tomate se clasifica como medianamente tolerante a la salinidad de 6400 ppm (Paneque, *et al.*, 2002).

Sustancias Húmicas

Chen y Aviad (1990), Varanini *et al.*, (1995) y Piccolo *et al.*, (1992), a lo largo de sus investigaciones han recogido la influencia de las sustancias húmicas en el crecimiento de las plantas, en la nutrición mineral, en la productividad y el metabolismo, considerando los efectos positivos sobre la germinación de la semilla, la iniciación y el desarrollo radicular, el desarrollo de los brotes, el contenido de nutrientes en numerosos cultivos y la síntesis de ácidos nucleicos o la respiración. En el suelo, estos compuestos mejoran la estructura de los sustratos, incrementan la capacidad de intercambio de cationes y movilizan micronutrientes (Olmos *et al.*, 1998). Además, las

sustancias húmicas se usan para descontaminar suelos, tanto de agentes orgánicos (plaguicidas, insecticidas, fungicidas, lubricantes, disolventes, gasolinas, etc.) como de metales pesados (Rebhun *et al.*, 1996).

La materia orgánica del suelo o humus incluye un amplio espectro de constituyentes orgánicos, muchos de los cuales proceden de tejidos biológicos. Podemos distinguir dos grupos, las sustancias no húmicas y las húmicas (Drozd *et al.*, 1996).

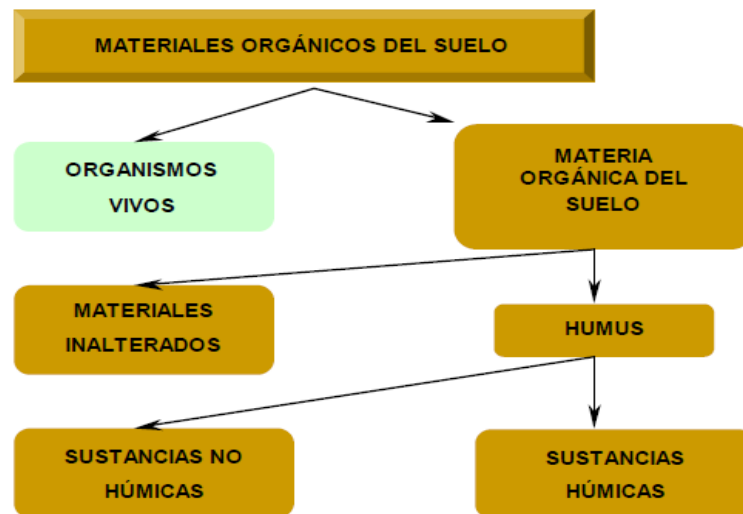


Figura 1. Distintas fracciones orgánicas en el suelo.

Las sustancias no húmicas comprenden aquellos compuestos orgánicos que pertenecen a especies químicamente reconocibles y no son exclusivas del suelo.

Estas sustancias son fácilmente degradables, pueden ser utilizadas como sustrato por los microorganismos del suelo y tienen una existencia transitoria en el mismo (Gaffney *et al.*, 1996).

Schnitzer (1978), divide a la materia orgánica del suelo, en dos grupos: sustancias no húmicas y húmicas. Las sustancias no húmicas son carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, pigmentos y compuestos de bajo peso molecular (ácidos orgánicos) (Schnitzer y Schulten, 1995).

Las sustancias húmicas (SH), son una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura compleja, distinta y más estable que su forma original; provienen de la descomposición de residuos de plantas y animales, así como de la actividad de síntesis de microorganismos (Schnitzer, 1978 y Stevenson, 1982).

La materia orgánica del suelo puede contener cantidades muy diferentes de sustancias húmicas y no húmicas. Así, la cantidad de carbohidratos oscila entre un 5-25 %, las proteínas entre un 15-45 %, los lípidos de un 2 % en suelos forestales a un 20 % en suelos turbosos, y las sustancias húmicas del 33-75 % del total de materia orgánica del suelo. Sin embargo podemos hacer una estimación de la composición media de la materia orgánica del suelo.

El origen de las sustancias húmicas ha mostrado ser determinante de los atributos moleculares como acidez y tamaño (Senesi *et al.*, 1989). Las sustancias húmicas de origen acuático son más pequeñas que las aisladas del suelo. Un caso especial son las sustancias húmicas de leonardita que presentan una estructura más condensada (Thorn *et al.*, 1989), Senesi y Lofredo (1999).

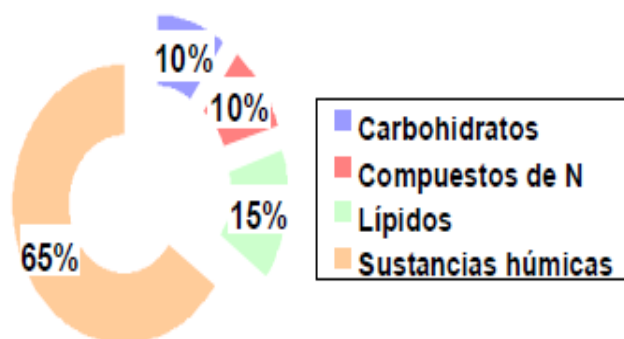


Figura 2. Composición media de la materia orgánica del suelo.

Dentro de estas sustancias heterogéneas, de naturaleza coloidal que hemos llamado sustancias húmicas, encontramos dos grupos de compuestos conocidos como ácidos húmicos y ácidos fúlvicos que podemos definir como:

Ácidos húmicos: material orgánico de color oscuro que puede ser extraído del suelo por álcalis y otros reactivos y que es insoluble en ácido diluido (Stevenson, 1994).

Ácidos fúlvicos: fracción de materia orgánica del suelo que es soluble en álcali y ácidos (Stevenson, 1994).

A pesar de que los ácidos húmicos y fúlvicos comparten en gran medida los efectos en el suelo y en el vegetal, su diferente estructura y propiedades físico-químicas hacen que sean unos u otros más eficaces para determinadas funciones.

Existen numerosos métodos de extracción de las sustancias húmicas del suelo, que podemos agrupar en tres grupos generales: bases fuertes, sales neutras y quelatos orgánicos (Stevenson, 1994).

Cuadro 1. Reactivos usados en la extracción de sustancias húmicas.

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	% MATERIA ORGÁNICA EXTRAÍDA
BASES FUERTES	
NaOH	HASTA 80%
Na ₂ CO ₃	HASTA 30%
SALES NEUTRAS	
Na ₄ P ₂ O ₇	HASTA 30%
NaF	HASTA 30%
Sales de ácidos orgánicos	HASTA 30%
QUELATOS ORGÁNICOS	
Acetilacetona	HASTA 30%
Cupferrón	
8-hidroxiquinolina	HASTA 55%
Ácido fórmico	HASTA 20%
Acetona	

Normalmente se usa NaOH 0.1-0.5 N para extraer la materia orgánica del suelo, a pesar de que este reactivo puede extraer hasta el 80 % de las sustancias húmicas presentes en un suelo, tiene el inconveniente de que puede alterar la materia orgánica a través de hidrólisis y autoxidaciones.

Tras la extracción de las sustancias húmicas, es necesario hacer una subdivisión en distintas fracciones, de acuerdo a las propiedades y composición molecular como un paso previo a los análisis y medidas físico-químicas de las fracciones obtenidas.

Numerosos métodos han sido propuestos para el fraccionamiento de las sustancias húmicas. La mayoría de ellos se basan en diferencias físico-químicas en la solubilidad, reacciones con iones metálicos, tamaño molecular, carga o densidad de carga, y características de adsorción.

De los métodos mencionados, el ajuste de pH con disolventes alcalinos es la técnica más usada para fraccionar las sustancias húmicas extraídas del suelo (Stevenson, 1994).

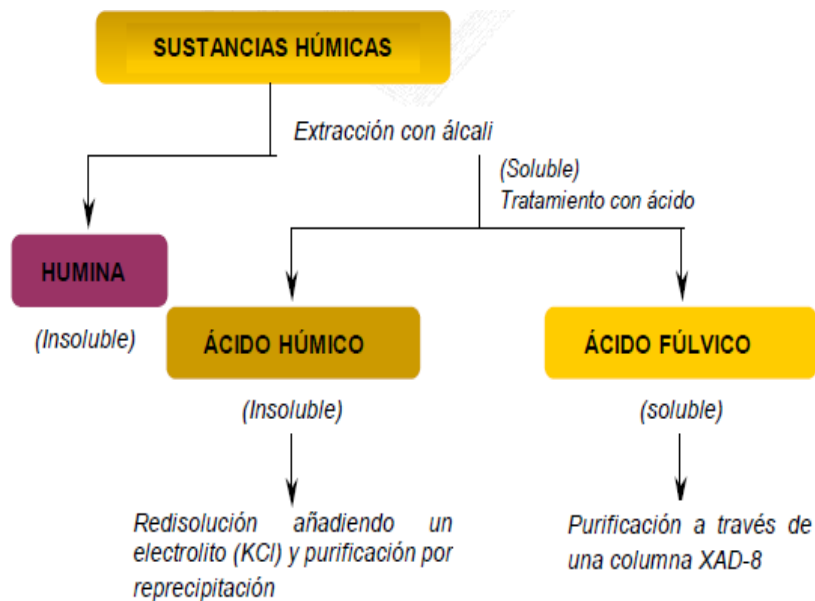


Figura 3. Fraccionamiento de las sustancias húmicas en función de la solubilidad a diferente pH.

La purificación se refiere a la eliminación de sustancias que están físicamente enlazadas en el extracto y que suelen ser polisacáridos, aminoácidos, lípidos, ácidos grasos, etc. En el caso del ácido fúlvico generalmente se usa una resina Amberlita de adsorción/desorción (XAD-8)

(Figura 4) donde es adsorbida la fracción fúlvica, para posteriormente ser eluida con una base (Conte *et al.*, 1999).

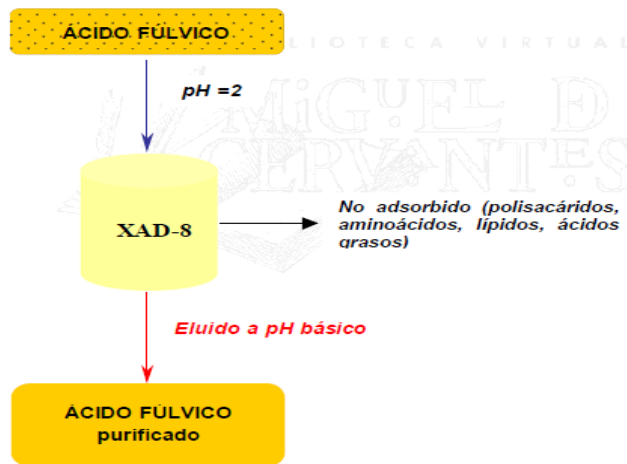


Figura 4. Eliminación de las sustancias no húmicas que acompañan al ácido fúlvico tras su extracción.

Las diversas fracciones de las sustancias húmicas obtenidas tienen distintas propiedades físico-químicas (Figura 5), los ácidos fúlvicos contienen entre 1-3 % de N, mientras los ácidos húmicos contienen entre el 2-6 % (Schnitzer, 1976).

Los ácidos húmicos tienen un peso molecular más alto y heterogéneo (desde 5000 Da, hasta 1,000,000 Da), los ácidos fúlvicos por el contrario tienen menor peso molecular y además es más homogéneo (500-5000 Da) (Aiken *et al.*, 1985).

Según Calace *et al.*, (2000), las estructuras de los ácidos húmicos son más complejas que las de los ácidos fúlvicos, la naturaleza anfifílica (soluble e insoluble en agua) de los ácidos húmicos es mayor que la de los ácidos fúlvicos (Yates III, 1999). Los ácidos húmicos tienen una mayor relación de H/C que los ácidos fúlvicos (De Paolis, 1997).

Según Stevenson, (1994), la acidez total de los ácidos fúlvicos (900 a 1400 cmol/kg) prácticamente duplica a la de los ácidos húmicos (500-870 cmol/kg). Esta mayor acidez de los ácidos fúlvicos se debe a que estas sustancias tienen un contenido mayor de carboxílicos (-COOH) e hidroxílicos (-OH), presumiblemente fenólicos, que los ácidos húmicos.

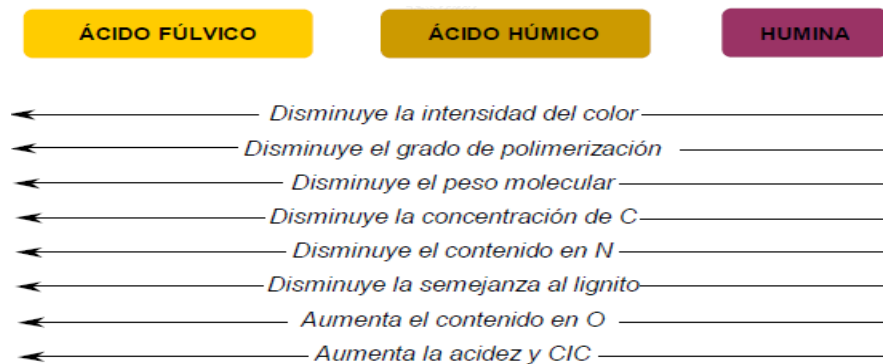


Figura 5. Propiedades de las sustancias húmicas.

Las SH son divididas en tres grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas y son: los ácidos húmicos (AH), los ácidos fúlvicos (AF) y las huminas residuales. Son macromoléculas aromáticas complejas, muy estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer y Schulten, 1995), y ciclos aromáticos, con aminoácidos, amino-azucars, péptidos y compuestos alifáticos (Schnitzer, 2000).

Los AH son moléculas más grandes y complejas que los AF, además, presentan contenidos más altos de nitrógeno (N), pero menor de grupos funcionales libres (Meléndez, 2003).

Los grupos funcionales libres, carboxilos (COOH) e hidroxilos (OH) presentes en las sustancias húmicas, son los principales agentes que pueden adsorber y/o quelatar cationes; de esta manera los ácidos húmicos quelatan con mayor facilidad los cationes metálicos, mientras que los ácidos fúlvicos los alcalinos y los alcalino-térreos (Orlov, 1995). Para Molina, (2003), los ácidos

húmicos y ácidos fúlvicos, también contienen grupos funcionales amino, cargados positivamente y que pueden complejar aniones como fosfatos, sulfatos, nitratos, etc.

Características de los Ácidos Fúlvicos

Los AF, se distinguen de los AH por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 %) y por su alta solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Los AF pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras; además, tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq/100 g de sustancia), actúan destructivamente sobre los minerales, son propensos a formar complejos R_2O_3 que poseen movilidad, por lo tanto parece ser que ya no existen dudas sobre los AF como grupos independientes de materias húmicas con propiedades distintas a la de los AH.

A parte de los AF propiamente dicho se han descubierto hidratos de carbono, glucósidos, sustancias de naturaleza fenólica, ácidos urónicos y ácidos orgánicos nitrogenados. Datos obtenidos de espectroscopia infrarroja, dan testimonio de la presencia de elementos de naturaleza aromática. La baja aromatización de los AF se expresan en los datos de la composición elemental en el cual el porcentaje de carbono es significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los AH (Meléndez, 2003).

Los AF, son la porción soluble en agua bajo todas las condiciones de pH. Estos permanecen en solución después de la separación de los AH por acidificación. Los AF son de color amarillo claro a café-amarillento, de bajo peso molecular (de 170 a 2000 Kda), 45 % de carbono y 48 % de oxígeno (12 % más que los AH); en otras palabras, tienen bajo peso molecular, alto contenido de oxígeno, pero bajo contenido de carbono; contienen más grupos funcionales de naturaleza ácida, particularmente carboxilos (COOH).

La acidez total es de 900 a 1400 meq/100g y considerablemente más altos que los AH (400 a 870 meq/100g) (Stevenson, 1982).

Efecto de Ácidos Fúlvicos en la Planta

Los ácidos fúlvicos incrementan la permeabilidad de las membranas celulares además de participar directamente en la apertura de estomas. Por esta razón es mucho más eficiente cuando se incluye en alguna mezcla, además de mejorar la translocación de los nutrimentos dentro de la planta.

Los AF son más eficientes como potencializadores de aplicaciones foliares que los AH, además que el pH no afecta la solubilidad de los AF en la solución de aspersión, en cambio los AH tienden a precipitarse en soluciones acidas (Grupo Bioquímico Mexicano, 1997).

Gutiérrez (2001), concluye que independientemente del origen de los AF, estos tienen efecto en el crecimiento de plántula de tomate, porque incrementa la longitud de raíz y tallos.

Frías (2000), en un experimento realizado en el cultivo de tomate con la aplicación de los AF, para altura de planta, no encontró significancia estadística, pero numéricamente el mejor resultado se obtuvo con la aplicación de solución nutritiva al 100% + 0.2 cc de AF.

Chen y Aviad (1990), mencionan que los AF y AH pueden estimular el crecimiento del tallo de varias plantas cuando se aplica vía foliar a concentraciones de 50 a 300 mg/L o cuando se aplican en soluciones nutritivas a concentraciones de 25 a 300 mg/L.

Formación de los Fulvatos

Los ácidos fúlvicos y húmicos forman fulvatos y humatos que son los compuestos más característicos de las sustancias húmicas.

Los grupos funcionales carboxilo pierden su protón y se unen a Na^+ , K^+ , Mg^{2+} o Ca^{2+} . Muchas de las sustancias húmicas se encuentran en el suelo mezcladas con hidróxidos de Fe y Al.

Los fulvatos son todas aquellas sales del ácido fúlvico, ácido orgánico de color amarillo, importante componente del humus. Su característica más importante es que es capaz de reaccionar con algunos metales y formar complejos especialmente con Cu^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , con ello aumenta su solubilidad en agua (<http://www.cosmos.com.mx>. 2013).

Importancia del Magnesio

El magnesio es un nutrimento esencial para el desarrollo de las plantas, es un constituyente de la clorofila y está activamente envuelto en la fotosíntesis. Ayuda al metabolismo del fósforo, la utilización de azúcares, y la activación de varios sistemas enzimáticos en la planta (carbohidratos, aceites y grasas). (Manual Internacional de Fertilidad de Suelos, 1997).

Es el activador más común de enzimas asociadas con el metabolismo energético. Además, es el activador de más enzimas que cualquier otro elemento nutritivo, especialmente enzimas respiratorias y otras que actúan sobre sustratos fosforados como el ATP. Es asimilado en el proceso fisiológico de la absorción del dióxido de carbono (<http://www.eltiempo.com>. 2013).

Absorción del Magnesio por las Plantas

El magnesio es muy móvil en el suelo, llega hasta la raíz principalmente por difusión pero también por flujo en masa. La planta lo absorbe como (Mg^{2+}). La cantidad de magnesio que se mueve por difusión está relacionada con la intensidad del elemento en la solución del suelo, con las propiedades físicas (textura, porosidad), temperatura, humedad del suelo, pH y la capacidad de intercambio catiónico.

La asimilación del magnesio por las plantas también está influenciada por la concentración de otros cationes como calcio y potasio. Es fundamental en un programa de fertilización propiciar y conservar una adecuada relación calcio/magnesio, magnesio/potasio y calcio+magnesio/potasio. Estas relaciones contribuyen a un adecuado balance en el suelo para brindar un óptimo equilibrio nutricional a las plantas y por consiguiente excelentes producciones y calidades en las cosechas (<http://www.quiminet.com>. 2013).

Papel de Magnesio en la Fisiología de la Planta y en la Determinación de la Cosecha

El Magnesio (Mg) ocupa la posición central de la molécula de la clorofila. La clorofila es un pigmento verde de la planta que interviene en la producción de materia orgánica utilizando la energía solar. Un adecuado suministro de Mg a las plantas intensifica claramente la actividad fotosintética de las hojas (<http://www.traderargentina.com>. 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área Experimental

El experimento se llevó a cabo en un Invernadero del Área Experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila México, a los 25° 23' de latitud Norte y los 101° 00' de longitud Oeste y altitud de 1742 msnm (Figura 6).

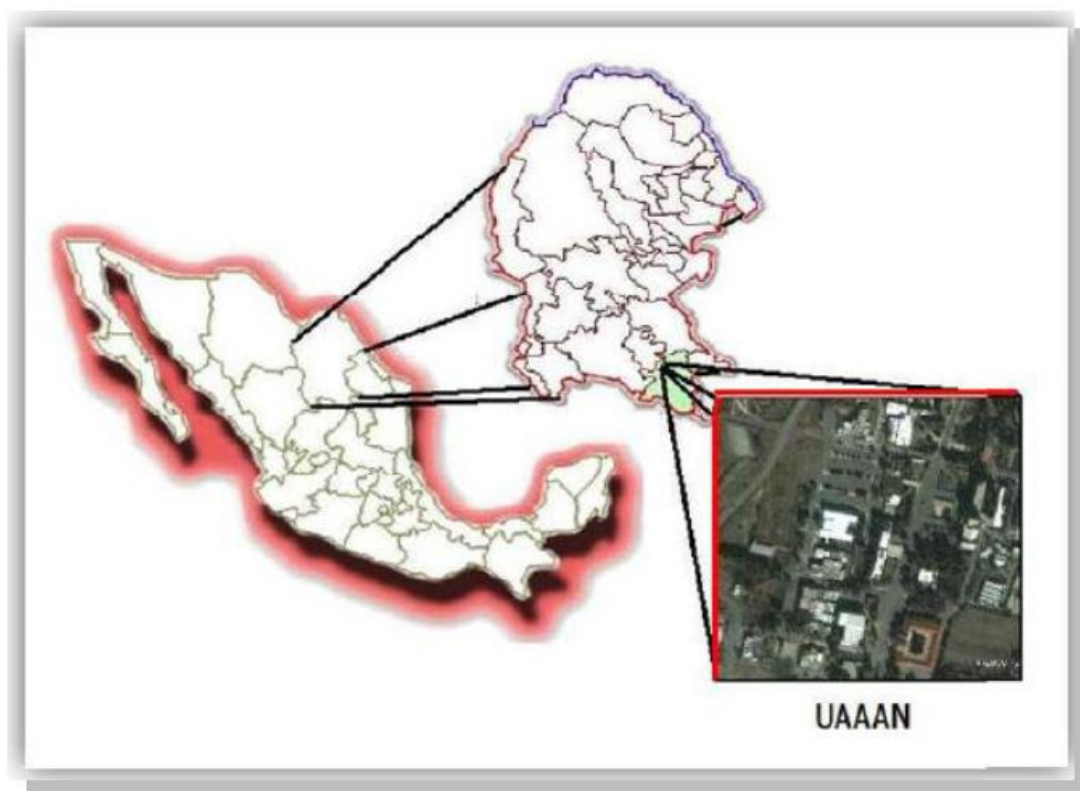


Figura 6. Localización de área experimental.

Metodología

En charolas de poliestireno de 200 cavidades, con la mezcla de peat moss y “perlita” (relación 1:1 – p/p), se sembraron semillas de tomate tipo Saladette de la variedad “Río grande” y de esta forma se obtuvo la plántula. Cuando ésta tenía un par de hojas verdaderas (aproximadamente 10 cm de longitud), fueron trasplantadas a macetas que contenían 250 g del mismo sustrato (“picado”, cambio de charola para que crezca y se fortalezca la raíz, Camacho, 2010). Una vez que la planta alcanzó entre 25 y 30 cm de altura, fue trasplantada en macetas de plástico con 10 kg de un sustrato compuesto de suelo de la región, hojarasca de cedro (*Cedrela odorata L.*) y aserrín de madera de pino.

Después de 4 y 12 días del trasplante, se fertilizó 500 ml. de una solución preparada con 15 g de nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 10 g de fosfato monoamónico (MAP), 7 g de sulfato de potasio (K_2SO_4), 5 g de sulfato ferroso (FeSO_4), 5 g de sulfato de zinc (ZnSO_4), 5 g de sulfato de cobre (CuSO_4), por 10 litros de agua. Lo anterior se consideró como el 100 por ciento de la fertilización.

Una semana después se aplicaron los siguientes tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5 ml.litro^{-1} de ácido fúlvico más magnesio al 1 %; además, del mismo ácido fúlvico más magnesio al 2 % (Cuadro 2) y un control (Fertilización química).

Cuadro 2. Distribución de Tratamientos y Dosis de fulvatos de Magnesio (Mg), adicionados a tomate.

Tratamientos	Dosis
F1Mg1	AF+ Mg 1% 1 ml.Litro ⁻¹
F2Mg1	AF+ Mg 1% 2 ml.Litro ⁻¹
F3Mg1	AF+ Mg 1% 3 ml.Litro ⁻¹
F4Mg1	AF+ Mg 1% 4 ml.Litro ⁻¹
F5Mg1	AF+ Mg 1% 5 ml.Litro ⁻¹
F1Mg2	AF+ Mg 2% 1 ml.Litro ⁻¹
F2Mg2	AF+ Mg 2% 2 ml.Litro ⁻¹
F3Mg2	AF+ Mg 2% 3 ml.Litro ⁻¹
F4Mg2	AF+ Mg 2% 4 ml.Litro ⁻¹
F5Mg2	AF+ Mg 2% 5 ml.Litro ⁻¹
Control	Fertilización química

La distribución del experimento, fue de acuerdo al Diseño Experimental de Bloques al Azar, con arreglo factorial A x B, donde. El factor A son los fulvatos de magnesio y el factor B son las dosis y el control (Tratamientos). El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias de Tukey ($p = 0.05$), para lo cual se empleó el paquete estadístico para computador MINITAB versión 16 en español.

A las dos semanas después de la aplicación de los tratamientos (formación y “amarre” del fruto), se midieron las siguientes variables: Número de fruto (NF), Peso fresco de fruto (PFF) y Peso seco de fruto (PSF); Peso fresco de hoja (PFH) y Peso seco de hoja (PSH). También, se determinó el contenido de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en tejido vegetal de follaje y en frutos (Espectrofotómetro de Absorción atómica – Marca Varian, modelo A 5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología de la Planta Evaluada

En el número de fruto, hay efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para el Número de fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	92.182	9.218	3.93	0.004 **
Bloques	2	8.424	4.212	1.8	0.192 NS
Error	20	46.909	2.345		
Total	32	147.515			

En relación al número de fruto hubo diferencias altamente significativas. Estas se observan en los tratamientos (Figura 7); en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg2 comparado con F1Mg2, F3Mg2 y F5Mg2. Sin embargo, en término agronómico y costo, da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1, F4Mg2 y Control, por lo que es recomendable elegir el de costo bajo (ver Figura 7).

En la Figura 7, se observa que al aumentar la dosis de fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 1, 2, 3, ml los valores se mantienen estables al no sobrepasar los 4 frutos; sin embargo al adicionar 4 ml no supera los 4 frutos, con aplicación al dos por ciento y al adicionar 1, 3, 5 ml, se observa que no sobrepasan los 4 frutos. Se obtiene con la aplicación de 5 ml F5Mg1 y 4 ml F4Mg2 una ventaja al control, sin embargo para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml (F2Mg2), el cual superó al control en 54.25 %.

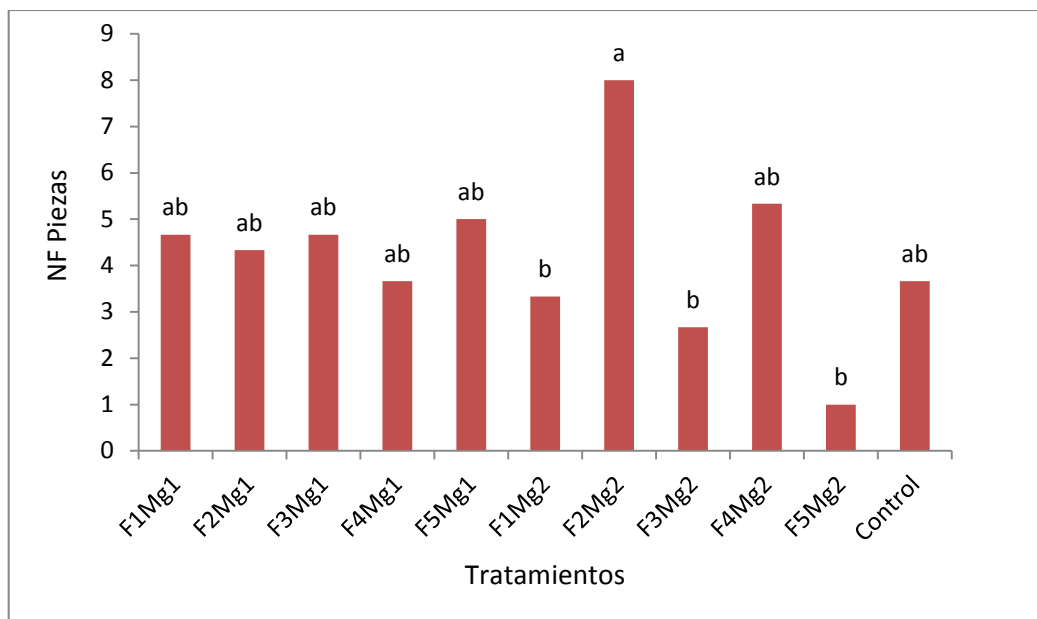


Figura 7. Número de fruto de tomate con la adición de fulvatos de magnesio.

En el peso fresco de fruto hay efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 4.)

Cuadro 4. Análisis de varianza para el Peso Fresco de Fruto (PFF) de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	15559.2	1555.9	2.88	0.021*
Bloques	2	472.3	236.1	0.44	0.652 NS
Error	20	10801.6	540.1		
Total	32	26833			

En relación al peso fresco de fruto hubo diferencias significativas. Estas se observan en los tratamientos (Figura 8); el peso fresco de fruto fue mayor para el tratamiento F2Mg2 comparado con F1Mg2, F3Mg2 y F5Mg2. Sin embargo, en término agronómico y costo, da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg2, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1, F4Mg2 y Control, por lo que es recomendable elegir el de costo bajo (ver Figura 8).

En la figura 8, se observa que al aumentar la dosis de fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 1 ml se aventajó a los demás tratamientos con un peso de 69.96 g, con la aplicación al dos por ciento y al adicionar 2 ml alcanzó el peso superior de 75.04 g, se obtiene con la aplicación de 2 ml F2Mg1, 3 ml F3Mg1 y 4 ml F4Mg2, una ventaja al control, sin embargo para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg2 el cual superó al control en 42.64 %.

En el peso seco de fruto hay efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el Peso Seco de Fruto (PSF) de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	56.669	5.667	3.53	0.008 **
Bloques	2	2.262	1.131	0.71	0.506 NS
Error	20	32.066	1.603		
Total	32	90.997			

En relación al peso seco de fruto hubo diferencias altamente significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 8) el peso seco de fruto fue mayor para el tratamiento F2Mg2, comparado con F1Mg2, F3Mg2, y F5Mg2. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1, F4Mg2 y Control, por lo que es recomendable el de costo bajo (ver Figura 8).

En la figura 8, se puede observar que al aumentar la dosis de fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 1 ml superó a los demás tratamientos alcanzando un peso de 3.8 g, con la aplicación al dos por ciento y al adicionar 2 ml alcanzó un peso superior de 5.29 g, se obtiene con la aplicación de 3 ml F3Mg1 y 4 ml F4Mg2, una ventaja al control, sin embargo para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg2 el cual superó al control en 46.50 %.

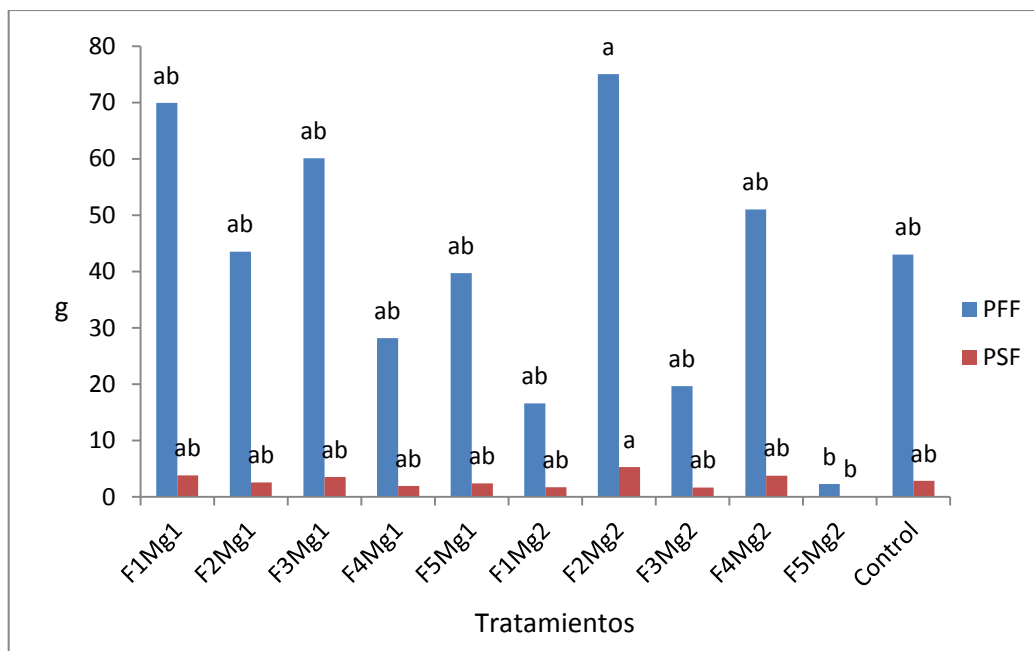


Figura 8. Peso fresco y seco del fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En el peso fresco de hoja (PFH) hay efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para el Peso Fresco de Hoja (PFH) de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	3911.2	391.1	2.92	0.020 *
Bloques	2	156.1	78.1	0.58	0.567 NS
Error	20	2676.2	133.8		
Total	32	6743.5			

En relación al peso fresco de hoja hubo diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 9) en el peso fresco de hoja fue mayor para el tratamiento F2Mg1 comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1 y F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control, por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 9).

En la figura 9, se puede observar que al aumentar la dosis de fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml superó a los demás tratamientos con un peso de 51.77 g, con la aplicación al dos por ciento, conforme aumentó la dosis no superaron al control y este se aventajó en 15.56 %, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1 el cual se aventajó al control en 22.29 %.

En el peso seco de hoja (PSH) hay efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza para el Peso Seco de Hoja (PSH) de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	76.909	7.691	2.56	0.035 *
Bloques	2	2.33	1.165	0.39	0.684 NS
Error	20	60.139	3.007		
Total	32	139.378			

En relación al peso seco de hoja hubo diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 9) en el peso seco de hoja fue mayor para el tratamiento F2Mg1, comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1 y F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 9).

En la figura 9, se puede observar que al aumentar la dosis de fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml obtuvo un peso superior de 9.48 g, con la aplicación al dos por ciento, conforme aumentó la dosis no superaron al control y este se aventajó en 10.66 %, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1 el cual se aventajó al control en 26.56 %.

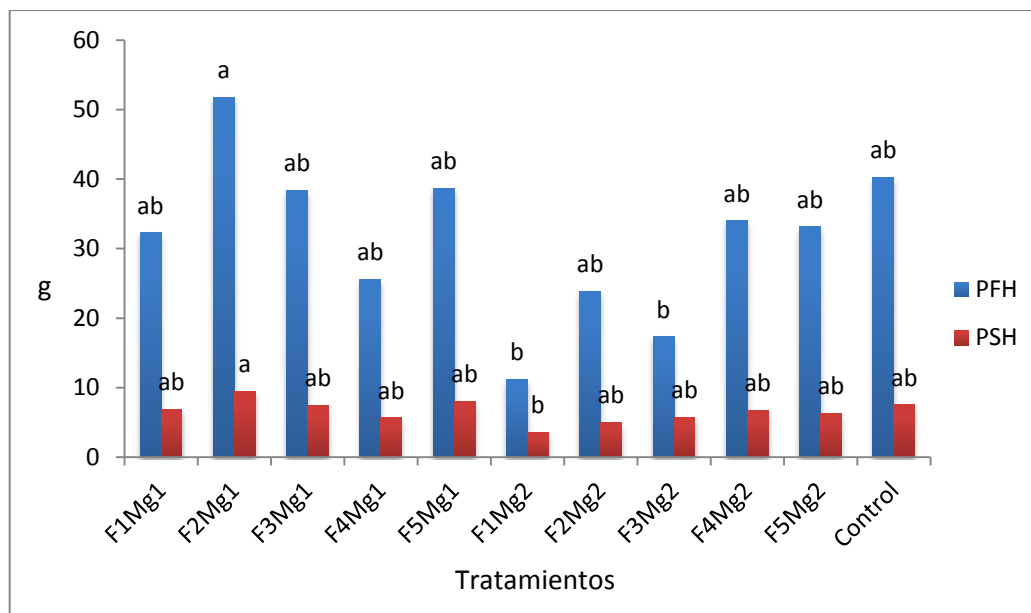


Figura 9. Peso fresco y seco de hoja de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

Contenido Nutricional en Follaje

En el contenido de potasio en follaje no hubo efecto significativo ($p > 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos y Bloques) (ver Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza para el potasio (K) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	150220152	15022015	1.48	0.218 NS
Bloques	2	10141970	5070985	0.5	0.614 NS
Error	20	202823030	10141152		
Total	32	363185152			

En relación al contenido de potasio en follaje no hubo diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 10) en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg1 comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1 y F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 10).

En la Figura 10, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml superó a los demás tratamientos obteniendo un valor superior de 1.71 %, con la aplicación al dos por ciento, conforme aumentó la dosis no superó al control y este se aventajó al valor más cercano en un 10.56 %, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1, el cual se aventajó al control en 16.95 %. Aunque en este último caso no hay diferencia significativa.

En esta variable la cantidad de potasio fue menor en follaje que en fruto, porque su función es regular la cantidad de agua manteniendo la turgencia celular, favorece la síntesis de alta energía, activa numerosas enzimas que participan en la fosforilación oxidativa.

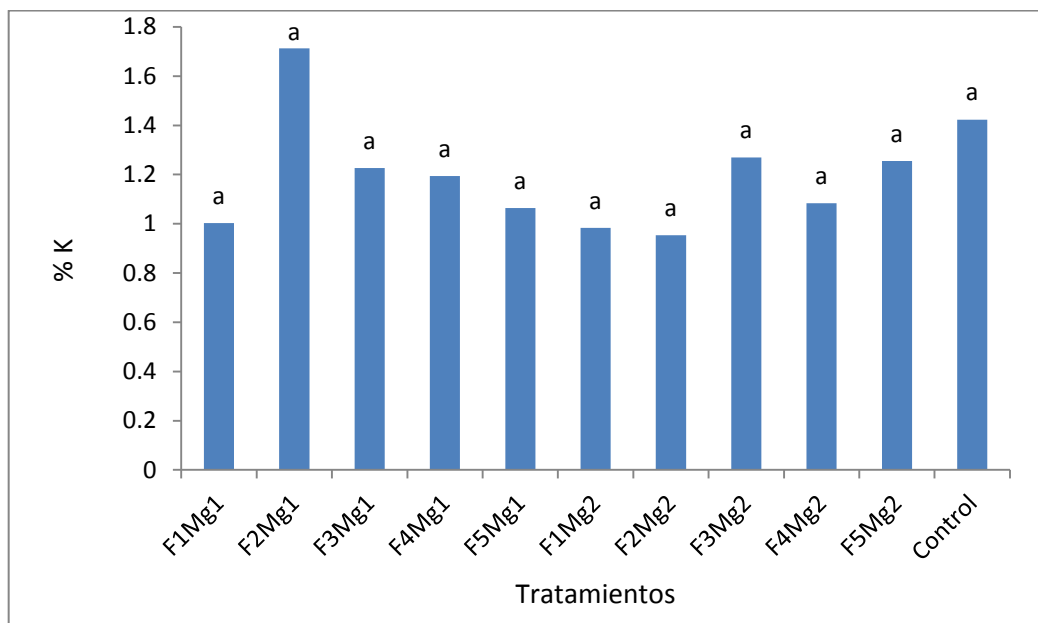


Figura 10. Contenido de Potasio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En el contenido de calcio en follaje hay efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para el calcio (Ca) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	287700455	28770045	3.61	0.007 **
Bloques	2	10867424	5433712	0.68	0.517 NS
Error	20	159250909	7962545		
Total	32	457818788			

En relación al contenido de calcio en follaje hubo diferencias altamente significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 11) en esta variable fue mayor para los tratamientos F1Mg2 y F2Mg2 comparado con F3Mg2, F4Mg2 y F5Mg2. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 11).

En la figura 11, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 3 ml superó a los demás tratamientos obteniendo el valor superior de 3.82 %, con la aplicación al dos por ciento, conforme aumentó la dosis y al adicionar 1 ml alcanzó el valor superior de 4.23 %, para esta variable dio buenos resultados el de 1ml F1Mg2 el cual superó al control en 10.16 %.

En esta variable se presentó mayor la cantidad de calcio en follaje que en fruto porque es un elemento que estimula la formación de raíces y hojas, es esencial para las paredes celulares, provee energía a las células y regula el flujo de nutrientes hacia ellas.

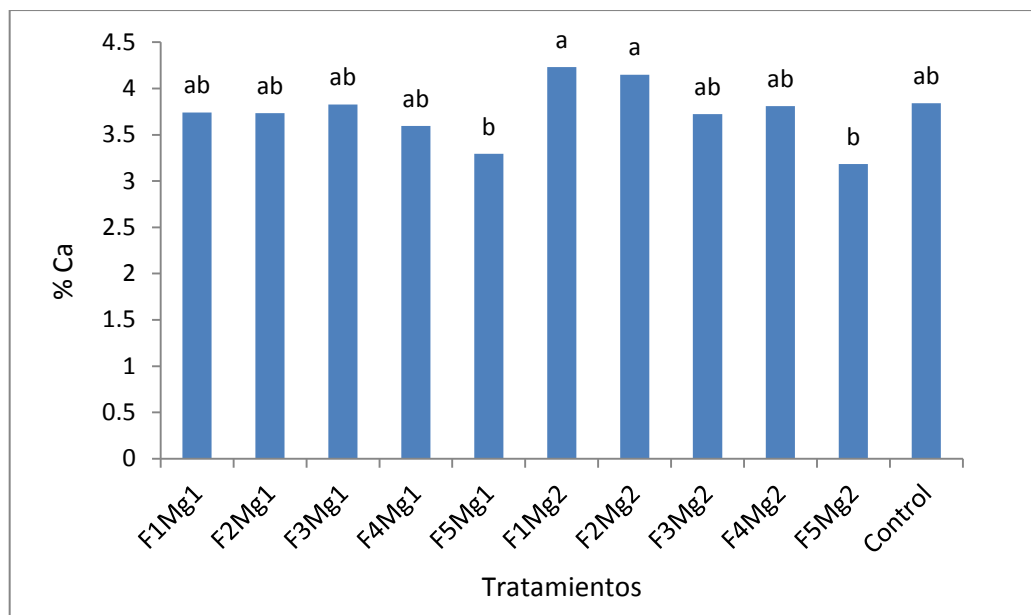


Figura 11. Contenido de Calcio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En el contenido de magnesio (Mg) en follaje hubo efectos significativos ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para el magnesio (Mg) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	738030	73803	3.16	0.014 *
Bloques	2	124697	62348	2.67	0.094 NS
Error	20	466970	23348		
Total	32	1329697			

En relación al contenido de magnesio en follaje se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 12), en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg2 comparado con F1Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2. Sin embargo en termino agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 12).

En la figura 12 se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 1 ml superó a los demás tratamientos obteniendo el valor superior de 0.60 % conforme aumenta la dosis, disminuyen los valores de los demás tratamientos, con la aplicación al dos por ciento, conforme aumenta la dosis se van elevando los valores al adicionar 2 ml alcanzó un valor superior de 0.61 %, existen valores que se igualaron al control tanto del uno y dos por ciento, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg2, el cual superó al control en 1.62 %.

En esta variable se presentó mayor la cantidad de magnesio en follaje que en fruto ya que este elemento es un componente de la clorofila en donde se lleva a cabo todo el proceso de la fotosíntesis en el cual las plantas combinan dióxido de carbono y agua para formar azúcares.

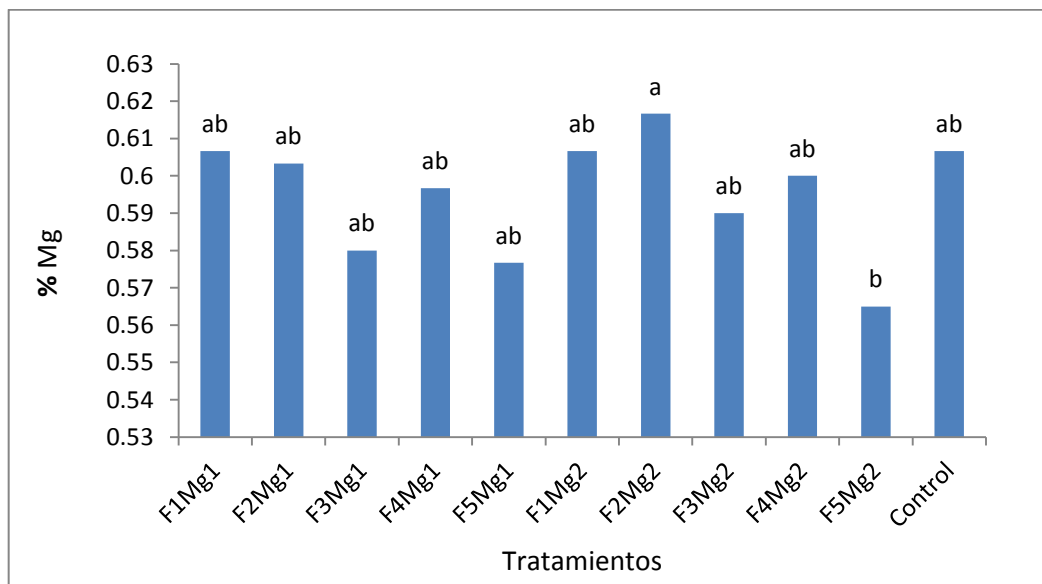


Figura 12. Contenido de Magnesio en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En la cantidad de hierro (Fe) en follaje no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos y Bloques) (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para el hierro (Fe) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	20873	2087	1.67	0.157 NS
Bloques	2	2855	1427	1.14	0.338 NS
Error	20	24945	1247		
Total	32	48673			

En relación a la cantidad de hierro en follaje no se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 13) en esta variable fue mayor para el tratamiento F1Mg2 comparado con F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (Figura 13).

En la figura 13, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml y 3 ml obtuvieron un valor superior de 160 mg.kg^{-1} , con la aplicación al dos por ciento, conforme aumenta la dosis se van elevando los valores al adicionar 1 ml alcanzó un valor superior de $173.33 \text{ mg.kg}^{-1}$, para esta variable dio buenos resultados el de 1 ml F1Mg2 el cual superó al control en 13.45 %. Aunque en este último caso no existe diferencia significativa.

En esta variable fue más alto la cantidad de hierro en follaje que en fruto ya que el hierro es un elemento inmóvil dentro de la planta. Actúa en las reacciones lumínicas de fotosíntesis formando parte de la ferredoxina, participa en la síntesis de la molécula de la clorofila, forma parte de los citocromos en la fosforilación oxidativa. Aparte de que es inmóvil la planta lo absorbe para llevar a cabo sus funciones vitales es por ello que en el fruto se concentra muy poco.

En la cantidad de cobre (Cu) en follaje se presentó efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza para el cobre (Cu) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	139.394	13.939	2.42	0.044 *
Bloques	2	18.182	9.091	1.58	0.231 NS
Error	20	115.152	5.758		
Total	32	272.727			

En relación a la cantidad de cobre en follaje se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 13) en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg1 comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1. Sin embargo en termino agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes. F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (Figura 13).

En la Figura 13, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml obtuvo un valor superior de 16.66 mg.kg^{-1} superando a los demás tratamientos incluso las aplicaciones al dos por ciento, el control se aventajó en 24.98 %, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1 el cual superó al control en 19.98 %. En esta variable se observa que si hay diferencia en la cantidad de este elemento en follaje y en fruto, en el tratamiento F2Mg1 y el control, rebasaron los 10 mg.kg^{-1} , mientras que en fruto se mantienen estos valores.

El cobre es un elemento de lenta asimilación, es necesario para la formación de clorofila ya que cataliza varias otras reacciones en las plantas a pesar de no ser parte del producto que se forman con esas reacciones.

En la cantidad de zinc (Zn) en follaje no se presentó efecto significativo ($p > 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos y Bloques) (ver Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza para el zinc (Zn) en follaje de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	p
Tratamientos	10	3672.7	367.3	0.6	0.793 NS
Bloques	2	751.5	375.8	0.62	0.55 NS
Error	20	12181.8	609.1		
Total	32	16606.1			

En relación a la cantidad de zinc en follaje no se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 13) en esta variable fue mayor para el tratamiento F5Mg1 comparado con F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (Figura 13).

En la figura 13, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 5 ml superó a los demás tratamientos obtuvo un valor de 73.33 mg.kg^{-1} con la aplicación al dos por ciento, todos los tratamientos fueron superados por el control aventajándose en 11.11 % al valor más cercano, para esta variable dio buenos resultados el de 5 ml F5Mg1 el cual superó al control en 18.17 %. Aunque en este último caso no existe diferencia significativa.

En esta variable se observa que si existe diferencia en la cantidad de este elemento en follaje y en fruto ya que se presentaron valores más altos en la hoja. El zinc es un elemento de gran importancia en el crecimiento y producción; puede llegar a actuar como limitante en la realización de las funciones si la disponibilidad es escasa.

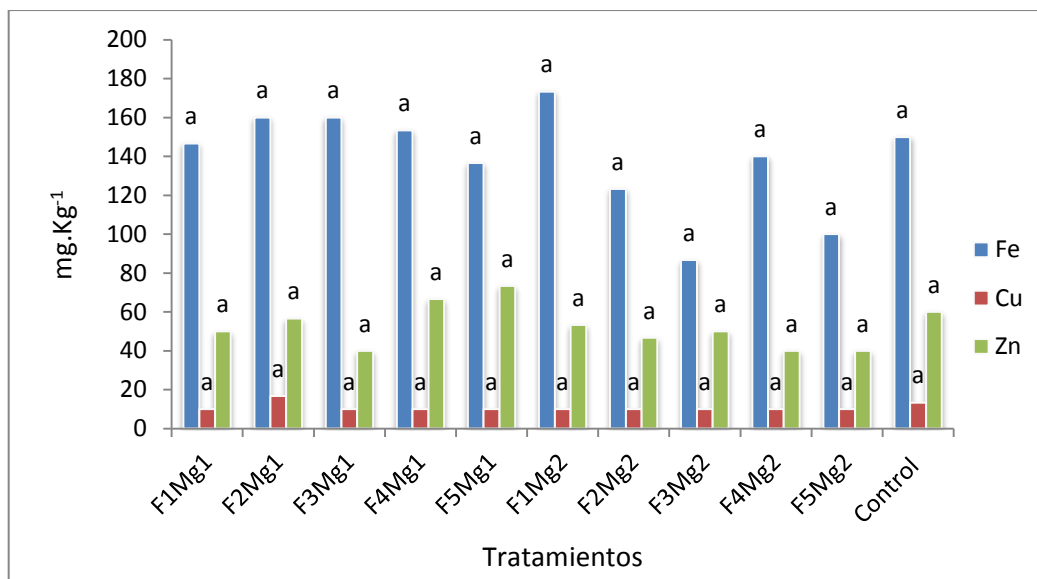


Figura 13. Cantidad de Hierro, Cobre y Zinc en follaje de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

Contenido Nutricional del Fruto

En el contenido de potasio (K) en fruto se presentó efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y Control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para el potasio (K) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	2502855152	250285515	20.04	0.000 **
Repeticiones	2	55587273	27793636	2.23	0.134 NS
Error	20	249739394	12486970		
Total	32	2808181818			

En relación al contenido de potasio en fruto se presentó diferencias altamente significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 14) en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg1 comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo

mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 14).

En la figura 14, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml obtuvo un valor superior de 3.62 % con la aplicación al dos por ciento, todos los tratamientos fueron superados por el control aventajándose en 9.37 % al valor más cercano, para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1 el cual superó al control en 11.60 %.

El potasio es un elemento necesario en el tomate para la formación de tallos y frutos, síntesis de carbohidratos, aumento de sustancias sólidas, coloración y brillantez de los frutos. Ayuda a eliminar la acción perjudicial de otros elementos favoreciendo la asimilación de los minerales esenciales. Juega un papel muy importante en la cantidad de azúcares que acumula el fruto.

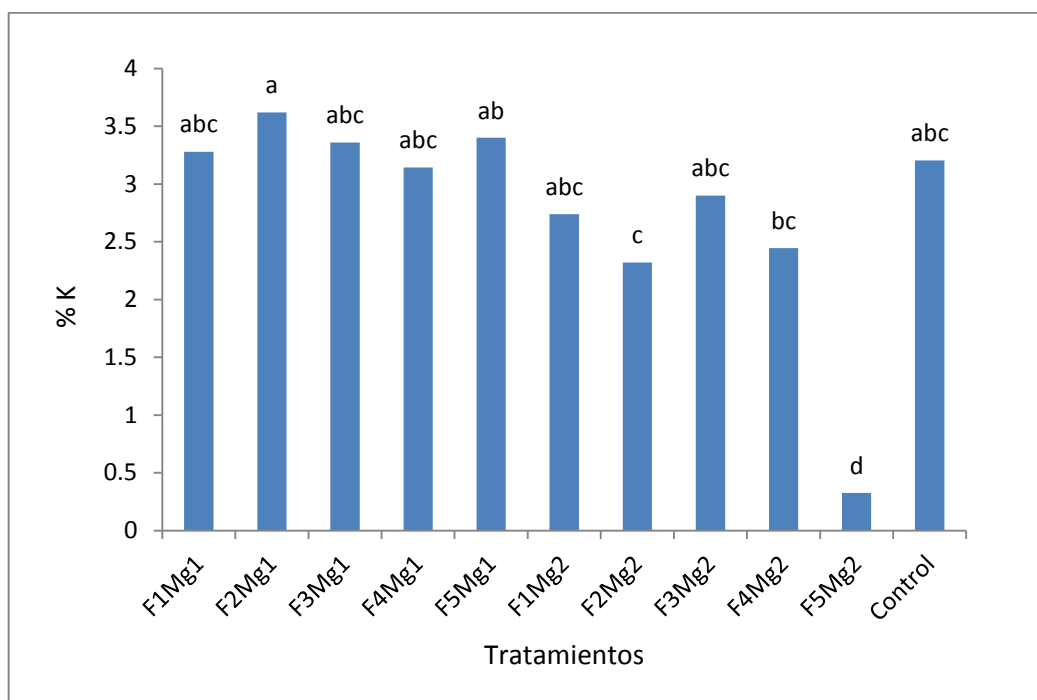


Figura 14. Contenido de Potasio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En el contenido de calcio (Ca) en fruto se presentó efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de varianza para el calcio (Ca) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	6123030	612303	4.43	0.002 **
Bloques	2	322424	161212	1.17	0.332 NS
Error	20	2764242	138212		
Total	32	9209697			

En relación al contenido de calcio en fruto se presentó diferencias altamente significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 15) en esta variable fue mayor para el tratamiento F5Mg1 comparado con F1Mg1, F2Mg1, F3Mg1, F4Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 15).

En la figura 15, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 5 ml obtuvo un valor superior de 0.19 %, con la aplicación al dos por ciento, al adicionar 2 y 3 ml alcanzaron un valor de 0.14 % fueron superados por el control en 22.22 %, para esta variable dio buenos resultados el de 5 ml F5Mg1 el cual superó al control en 5.26 %.

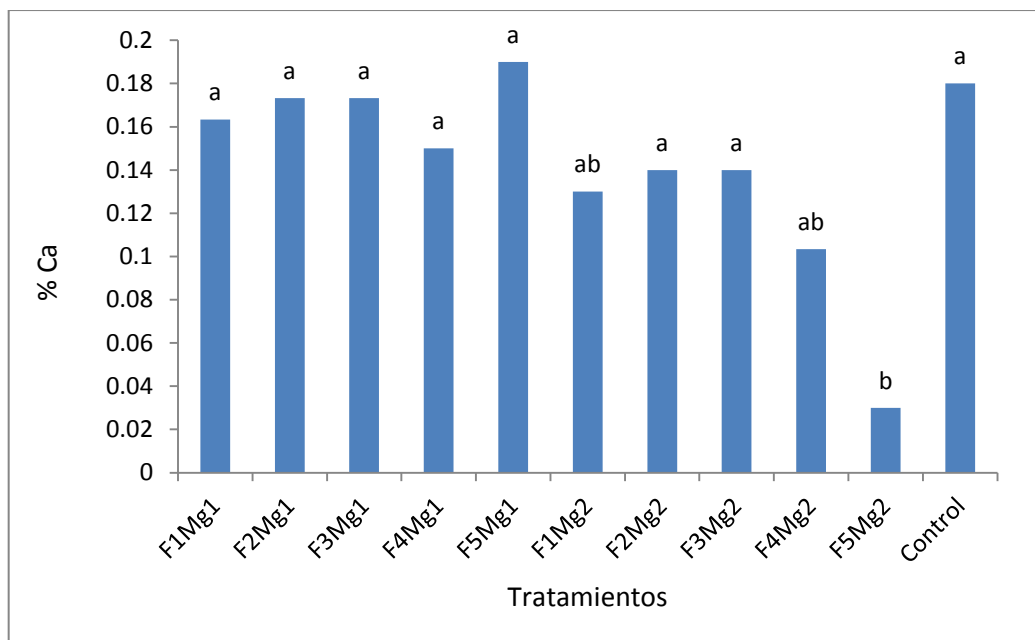


Figura 15. Contenido de Calcio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En el contenido de magnesio (Mg) en fruto se presentó efecto altamente significativa ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza para el magnesio (Mg) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	1653485	165348	19.44	0.000 **
Bloques	2	33182	16591	1.95	0.168 NS
Error	20	170152	8508		
Total	32	1856818			

En relación al contenido de magnesio en fruto se presentó diferencias altamente significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 16) en esta variable fue mayor para el tratamiento F2Mg1 comparado con F1Mg1, F3Mg1, F4Mg1, F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 16).

En la figura 16, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 2 ml obtuvo el valor superior de 0.096 %, con la aplicación al dos por ciento, al adicionar 1 ml alcanzó un valor de 0.085 % aventajándose el control en 5.55 % para esta variable dio buenos resultados el de 2 ml F2Mg1 el cual superó al control en 6.25 %.

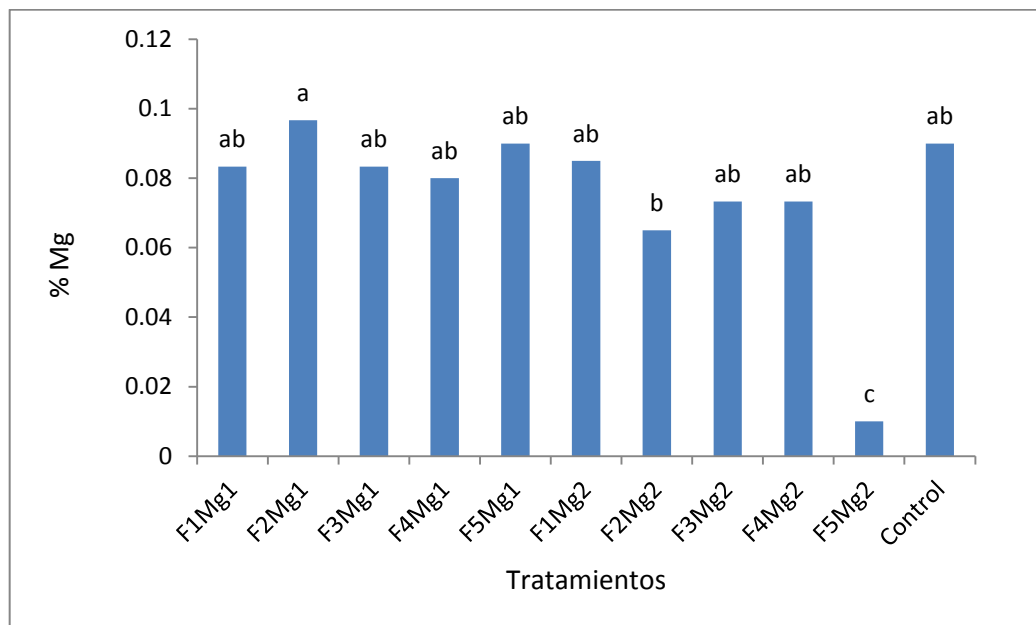


Figura 16. Contenido de Magnesio en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

En la cantidad de Hierro (Fe) en fruto se presentó el efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en Bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza para el hierro (Fe) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	4739.4	473.9	3.31	0.011*
Bloques	2	72.7	36.4	0.25	0.778 NS
Error	20	2860.6	143		
Total	32	7672.7			

En relación a la cantidad de fierro en fruto se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 17) en esta variable fue mayor para el tratamiento F3Mg1 comparado con F1Mg1, F2Mg1, F4Mg1, F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 17).

En la figura 17, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento, al adicionar 3 ml obtuvo un valor superior de 53.33 mg.kg^{-1} , con la aplicación al dos por ciento, al adicionar 3 ml superó a los demás tratamientos y alcanzó un valor de 46.66 mg.kg^{-1} se aventajó el control en 28.56 %, para esta variable dio buenos resultados el de 3 ml F3Mg1 el cual superó al control en 37.50 %.

En la cantidad de cobre (Cu) en fruto se presentó el efecto altamente significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 18).

Cuadro 18. Análisis de varianza para el cobre (Cu) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	121.212	12.121	4	0.004 **
Bloques	2	6.061	3.03	1	0.386 NS
Error	20	60.606	3.03		
Total	32	187.879			

En relación a la cantidad de cobre en fruto se presentó efecto altamente significativo estas se observan en los tratamientos (Figura 17).

En la figura 17, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno y dos por ciento, el valor superior promedio fue de 10 mg.kg^{-1} incluyendo al control y el valor inferior fue en donde se adicionó 5 ml F5Mg2 obteniendo un valor de 3.33 mg.kg^{-1} este fue superado en 66.7 %.

En la cantidad de zinc (Zn) en fruto se presentó el efecto significativo ($p < 0.05$) de las diferentes dosis y control (Tratamientos). Sin embargo, en bloques no hay efectos significativos (ver Cuadro 19).

Cuadro 19. Análisis de varianza para el zinc (Zn) en fruto de tomate.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	p
Tratamientos	10	1856.06	185.61	2.84	0.023 *
Bloques	2	59.09	29.55	0.45	0.643 NS
Error	20	1307.58	65.38		
Total	32	3222.73			

En relación a la cantidad de zinc en fruto se presentó diferencias significativas estas se observan en los tratamientos (Figura 17) en esta variable fue mayor para el tratamiento F1Mg1 y F3Mg1 comparado con F2Mg1, F4Mg1, F5Mg1. Sin embargo en término agronómico y costo da lo mismo experimentar con los tratamientos siguientes: F1Mg2, F2Mg2, F3Mg2, F4Mg2, F5Mg2 y Control por lo que es recomendable el de bajo costo (ver Figura 17).

En la figura 17, se puede observar que al aumentar la dosis de los fulvatos de magnesio al uno por ciento al adicionar 1 ml y 3 ml obtuvieron valores altos de 30 mg.kg^{-1} , con la aplicación al dos por ciento, al adicionar 3 ml superó a los demás tratamientos y alcanzó un valor de 23.33 mg.kg^{-1} superó al control en 14.27 % para esta variable dio mejor resultado el de 1 ml F1Mg1 y 3 ml F3Mg1 el cual superaron al control en 33.33 %.

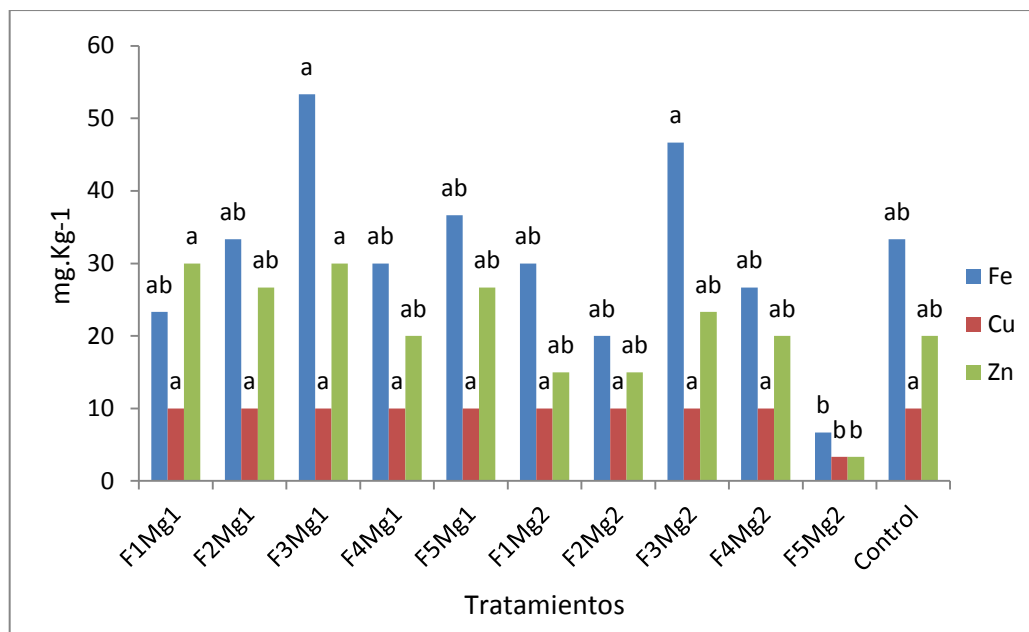


Figura 17. Cantidad de Hierro, Cobre, y Zinc, en fruto de tomate, con la adición de fulvatos de magnesio.

A manera de discusión, se tiene que en las variables medidas a la planta, como son: número de fruto, peso fresco y seco de fruto y contenido de Mg en follaje, se observó efecto positivo al adicionar la dosis de 2 ml.litro⁻¹ de ácidos fúlvicos (AF), mezclados con la dosis más alta del magnesio.

De acuerdo a los trabajos elaborados por Aza (2001), en dos experimentos con tomate, en invernadero, determinó el efecto de AF de dos orígenes, uno de leonardita y el otro extraído de composta, encontró que estos tienen efectos positivos al incrementar el número y peso del fruto, en más del 25 %, con respecto al testigo, al que solo se le aplicó solución nutritiva.

Con la aplicación de los AF se han obtenido incrementos de producción de hasta 50 % en diferentes cultivos. Se les atribuye el mejoramiento de la calidad de cultivos, como en papa, donde mejora la distribución de los almidones y el tamaño más uniforme; en trigo aumenta los contenidos de proteínas; en el tomate, chile y otras hortalizas aumenta el porcentaje de fruto (<http://www.2000agro.com.mx>. 2013).

En el peso fresco y seco de hoja, contenido de K y Cu absorbido en follaje, contenido de K y Mg en el fruto, se muestra efecto positivo al adicionar 2 ml.litro⁻¹ de AF mezclado con la dosis más baja del magnesio. En el contenido de Ca y Fe en follaje, presentó efecto positivo al adicionar la dosis baja de AF mezclado con la dosis más alta del magnesio. En el contenido de Zn en follaje y contenido de Ca en fruto hay efecto positivo al adicionar la dosis más alta de AF, mezclado con la dosis baja del magnesio. En el contenido de Fe y Zn en fruto el efecto fue positivo al adicionar la dosis media de AF en ambos elementos y dosis baja en zinc, mezclados con la dosis baja del magnesio.

Una de las principales propiedades que se les atribuyen a los AF y AH, es que mejoran la estructura del suelo reduciendo la compactación, incrementa la retención de agua, facilitan la absorción de nutrimentos y reducen las pérdidas por lixiviación, esto beneficia a las plantas en condiciones adecuadas de nutrición vegetal. Asimismo los AF inducen el crecimiento vegetal al aplicarlos al suelo y plantas, además permite reducir las dosis de algunos agroquímicos al elevar la eficiencia de su asimilación, transporte y metabolismo (Narro, 1997).

Los elementos que no presentaron efecto significativo en follaje fueron el K, Fe y Zn; mientras que en el contenido de fruto sí, cabe recalcar que la absorción de estos elementos es muy importante en el fruto ya que cada uno aporta diferentes propiedades por ejemplo; el K le da color y brillo, acumulación de azúcares y vitamina C, el Fe le da coloración a los frutos.

Durante la maduración del fruto de tomate se producen cambios importantes en el color, la composición, aroma, sabor y textura que hacen el fruto atractivo para el consumo humano. Si bien el fruto fresco es rico en vitamina C, el poder calórico del tomate es bastante modesto debido a su escaso contenido de materia seca y grasas. Tanto el contenido en agua como en los restantes componentes depende tanto de la variedad, nutrición, condiciones del cultivo.

El potasio es el mineral más abundante y el que tiene una mayor influencia en la calidad del fruto y junto con nitratos y fosfatos, constituye el 93 % de las sustancias minerales del tomate. El calcio debe estar por encima del 0.12 % para evitar el riesgo de la aparición de la pudrición apical. El 70 % del Ca total de la planta es retenido por las hojas, mientras los frutos solo contienen 5 por ciento y a diferencia del potasio, una vez asimilado por las hojas, la translocación del Ca al fruto es muy escasa. Entre las causas que pueden dar lugar a una deficiencia de Ca en el fruto se encuentran una nutrición inadecuada, el crecimiento rápido del fruto, salinidad elevada en la zona radical, el abono excesivo con nitrógeno amónico, etc. El cloruro cálcico aplicado por pulverización es fácilmente absorbido por las hojas y el fruto. El Mg se distribuye de manera uniforme en las hojas y frutos, tiene efectos beneficiosos sobre las alteraciones de la maduración especialmente cuando los niveles de potasio son bajos. En una planta adulta el 25 % del nitrógeno y potasio totales se encuentran en las hojas, mientras que en el fruto contiene el 60 % (Chamarro, 1995).

CONCLUSIÓN

Los ácidos fúlvicos mezclados con magnesio, produjeron efecto positivo en el número de fruto, peso fresco y seco de fruto y contenido de magnesio en follaje con la dosis de 2 ml.litro⁻¹ de AF mezclados con la dosis alta de magnesio; mientras que, en el peso fresco y seco de follaje, contenido de potasio y cobre en follaje, cantidad de potasio y magnesio en fruto lo realizó a la misma dosis de los compuestos húmicos, solo que con la mezcla de la dosis baja de magnesio. Con la dosis baja de AF más la dosis alta de magnesio se presentó la superioridad en el contenido de calcio y hierro en follaje.

LITERATURA CITADA

- Aiken, G. R., Mcknight, D. M., Wershaw, R. L., MacCarthy, P. 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. Pp. 1-9. *In* Humic substances in soil. Sediment, and water: Geochemistry, isolation and characterization. G. R. Aiken et al. (Ed). Wiley- Interscience, New York.
- Aza A. E. 2001. Efecto de Ácidos Fúlvicos de dos Orígenes en el Tomate. Tesis de Licenciatura, Ing. Agrónomo en horticultura. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. P42.
- Calace, N., Furlani, g., Petronio, B. M., Pietroletti, M. 2000. Sedimentary humic and fulvic acids: Structure, molecular weight distribution and complexing capacity. *Annali di Chimica*, 90: 25-34.
- Camacho, F. F. 2010. Nutrición de Hortalizas bajo cubierta en 3er Diplomado Internacional de Horticultura Protegida. Universidad de Almería, Almería España.
- Cesco, S. M. Nikolic, V. Römheld, Z. Varanini, and R. Pinton. 2002. Uptake of ⁵⁹Fe from soluble ⁵⁹Fe- humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil* 241: 121- 128.
- Conte, P., Piccolo, A. 1999. Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on association of humic molecules. *Environ. Sci. Technol.* 33: 1682-1690.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En Nuez, F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa Barcelona, España. 43-91 p.
- Chen, Y., Aviad, T. 1990. Efectos de las sustancias húmicas en el crecimiento de la planta. PP. 161-186. En sustancias húmicas en el suelo y cultivo de las ciencias: seleccionado readigns. P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, P. R. Bloom (Eds.). Actas de un simposio por el IHSS, Chicago, Illinois, diciembre de 1985.

- De Paolis, F., Kukkonen, J. 1997. Binding of pollutants to humic and fulvic acids: Influence of pH and the structure of humic material. *Chemosphere*, Vol. 34, No. 8, pp. 1693-1704.
- Drozd, J., Webwr. 1996. El papel de las sustancias húmicas en el ecosistema y en la protección del medio ambiente. In: VIII Reunión de la IHSS. Wroclaw.
- Frías M. S. 2000. Efecto de dos tipos de Ácidos Fúlvicos en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Gaffney, J.S., marley, N.A., Clark, S.B. 1996. Humic and Fulvic acids and organic colloidal materials in the environment. pp. 2-17. *In* Humic and Fulvic Acids. Isolation, structure and Environmental Role. J. S. Gaffney, N.A. Marley, S. B. Clark (Eds). Developed from a symposium sponsored by the Division of Industrial and Engineering Chemistry, Inc. American Chemical Society, Washington, DC.
- Gaona, B. y Juárez, L 2005. Evaluación de variedades de jitomate (*Solanum Lycopersicum Mlii*), bajo invernadero en Aquixtla, Puebla. Fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. México 68 p.
- Gutiérrez J. J. J. 2001. Efecto de Ácidos Fúlvicos de Dos Orígenes, en la Dinámica de Crecimiento de Plántula de tomate. Tesis de licenciatura, Ing. Agrícola y Ambiental.
- Guzmán, P. M. 2002. Acondicionamiento nutritivo en semilleros y respuesta postrasplante en hortalizas. Universidad de Almería España.
- Grupo Bioquímico Mexicano. 1997. Disponible en la página: <http://www.infoagro.com>.
- Hartmann, H. y Kester, D. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- León, G.HM.1980. El cultivo de tomate para consumo fresco- en el Valle de Culiacán. Edición: INIA de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México. 345 p.

- Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. 1997. Ed. Potash y Phosphate Institute. P135.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2th edition. Academic Press Inc. London, England.
- Meléndez, Gloria. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Taller de Abonos Orgánicos.
- Molina, E. A. 2003. Quelatos como fertilizantes. Centro de investigaciones agronómicas. Universidad de Costa Rica. Taller de Abonos Orgánicos.
- Narro, F. E. 1997. Nutrición y Sustancias Húmicas en el Cultivo de Papa. In: Foro de Investigación. Investigaciones en el cultivo de papa. Saltillo, Coahuila, México
- NUEZ, F. 2001. El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. Pp. 163-167.
- Olmos, S., Esteban, e., Lucena, j. j. 1998. Micronutrient extraction in calcareous soils treated with humic substances. J. Plant Nutrition, 21 (4): 687.697.
- Orlov, D. S. 1995. Humic Substances of the Soil and General Theory of Humification. A. A. Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT. USA.
- Paneque, P.V., Calderón, M., Calaña, N.J., Caruncho C, M., Hernández, P. y Borges, Y. 2002. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, materia orgánica y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 96 pp.

- Piccolo, A., Nardi, S., Concheri, G. 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil. Biol. Biochem.* 24,373-380.
- Pinton, R. S. Cesco, S. Santi, F. Agnolon, and Z. Varanini. 1999. Water – extractable humic substances enhance iron deficiency responses by Fe – deficient cucumber plants. *Plant and Soil* 210: 145-157.
- Rebhun, M., De Smedt, F., Rwetabula, J. 1996. *Wat. Res* 30. 2027.
- SAGARPA. 2010. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Senesi, N., Miano, T. M., Provenzano, M. R., Brunetti, G. 1989. Spectroscopic and compositional comparative characterization of I. H. S. S. reference and standard fulvic and humic acids of various origin. *Science of total Environmental*, v. 81/82, p. 143-156.
- Senesi, N., Lofredo, E. 1999. The Chemistry of soil organic matter. Pp. 239-370. *In Soil physical chemistry*. D. L. Sparks (Ed). Newark, Delaware.
- 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.
- Schnitzer, P. 1978. Humic substances: Chemistry and reactions. *En soil Organic Matter*. Edit. Schnitzer, M. y S. U. Khan. Elsevier Amsterdam. pp. 1-64.
- Schnitzer, M. And Schulten, H-R. 1995. Analysis of organic mater in soil extracts and whole soils by pyrolysis-mass spectrometry. (Ed). D.L. Sparhs. *Advances in Agromomy*, volume 55: 167-217. Academic Press.

Schnitzer, M. Life 2000. Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.) Schnitzer and Klan. Soil Organic Matter. Elsevier, Amsterdam.

SIACON. 2010. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta

SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SNIEG. 2009. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica

Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. Wiley, New York.

Stevenson, F. J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. John. Wiley and Sons, New York, NY. USA.

Thorn, K., Folan, D., MacCarthy, P. 1989. Characterization of the IHSS standard and reference fulvic and humic acids by solution state carbon-13 and hydrogen-1 nuclear magnetic resonance spectrometry. Water Resources Investigations Rep. 89-4196. US Geological Survey, Denver, Co.

Varanini, Z., Pinton, R. 1995. Humic substances and plant nutrition. Prog. Bot. 56: 97-117.

Varanini, Z. and R. Pinton. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In the rhizosphere: Biochemistry and organic substances at the soil plant interface, eds. R. Pinton, Z. Varanini, and P. Nannipieri, 141- 158. New York: Marcel Dekker.

Yates III, M. L., von Wandruszka, R. 1999. Efectos del pH y de metales en la tensión de curface de materiales húmicos acuosas. Edafología de diario de América. Vol. 63, 6, 1999.

Fuentes de Internet

<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html>

(Consultada el 15 de enero de 2013)

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-497697>

(Consultada el 25 de enero de 2013)

<http://www.traderargentina.com.ar/Papa.pdf>

(Consultada el 25 de enero de 2013).

<http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>

(Consultada el 25 de enero de 2013).

<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13283/19/SOM.ppt>

(Consultada el 14 de marzo de 2013)

<http://www.cosmos.com.mx/d/tec/1hfn.htm>

(Consultada el 15 de marzo de 2013)

<http://www.quiminet.com/articulos/la-absorcion-del-magnesio-por-las-plantas-17604.htm>

(Consultada el 15 de marzo de 2013)