

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



TESIS

Efecto de un Fulvato de Calcio en la Calidad del Maíz

POR

EVODIO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2018

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

Efecto de un Fulvato de Calcio en la Calidad del Maíz

POR:

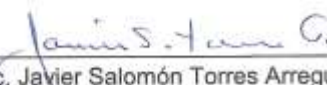
EVODIO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ


TESIS


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

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Aprobado por el Comité de Asesoría


M.C. Javier Salomón Torres Arreguín
Asesor Principal


Dr. Rubén López Cervantes
Coasesor


MC. Fidel M. Peña Ramos
Coasesor

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Coordinación de la División
de Ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Febrero de 2018

AGRADECIMIENTOS

A ti Dios por haberme dado la vida y las fuerzas de seguir adelante durante todos mis estudios, gracias por las pruebas que has puesto en mí salí adelante.

Mis agradecimientos en primera fila a mis queridos y amados padres:

A *Alejandra Sánchez Rojas* **mi MADRE** y A **mi PADRE** *Victorino Hernández González*, por haberme enseñado todos los valores de la vida hacer respetuoso, honesto, humilde, por darme las alas para poder volar y conseguir mis sueños por darme la libertad de vivir mis propias experiencias y conocer por mí mismo como es el mundo fuera del hogar, gracias por todo su cariño y amor. Gracias por su apoyo y cariño.

A mis más fieles amigos y compañeros de toda la vida “mis HERMANOS”, por su apoyo incondicional, por su confianza, por creer en mí.

A Lucia Hernández Sánchez, por su apoyo en todos los aspectos desde que empecé la carrera hasta terminar.

Ismael Hernández Sánchez, por sus ánimos y motivaciones.

Floríberta Hernández Sánchez por su apoyo incondicional, motivaciones y ánimos para terminar la carrera.

Víctor por su apoyo dentro y fuera de la universidad por convivir con él 2 años en la universidad.

María Yanely Hernández Sánchez, Rufina Hernández Sánchez, Ángela Hernández Sánchez, Gerardo Hernández Sánchez y Jesús Alejandro Hernández Sánchez por su cariño incondicional y por confiar en mí y tenerme presente.

Al ingeniero Javier Salomón Torres Arreguin, maestro y amigo en los 5 años de la carrera, por todo el apoyo recibido dentro y fuera de la universidad.

Al Dr. Rubén López Cervantes permitir y dármele oportunidad de presentar la tesis bajo su supervisión y también por todo el apoyo como maestro y amigo.

Y por último el agradecimiento al mi “Alma Terra Mater” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

DEDICATORIAS

Este trabajo se lo dedico a ti Dios por darme lo más hermoso que tengo en la vida mi familia.

Dedicado a mis padres que son lo más grande y sagrado que tengo en la vida: a mi madre Alejandra Sánchez rojas por todo el esfuerzo y el apoyo durante toda la carrera, por esta siempre hay en los momentos más difíciles de la carrera, por enseñar a no rendirme y seguir adelante, por ser el motivo de mi educación y de mi vivir

A mi padre Victorino Hernández González quien con sus consejos pude lograr esta meta, por enseñarme a nunca rendirme y a tener el orgullo siempre presente. Por permitir buscar y enfrentarme solo a la realidad. Mi más grande dedicatoria a ustedes papa y mama.

A todos mis hermanos por el apoyo y motivación mostrados en toda la carrera, por estar presentes cuando más los necesite.

Lucia Hernández Sánchez, Ismael Hernández Sánchez, Floríberta, Víctor, María Yanely, Rufina, Ángela, Gerardo y Jesús Alejandro Hernández Sánchez.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
II.OBJETIVO	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Generalidades del Maíz	4
4.2 Las Sustancias Húmicas	5
4.3 Importancia de las Sustancias Húmicas	7
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
5.1 Localización del Área Experimental	10
5.2 Metodología	10
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
6.1 Grosor de Tallo (GT)	13
6.2 Peso Seco de Planta (PSP).....	13
6.3 Volumen (VR), Peso Seco (PSR), Densidad de Raíz (DR) y Peso de Mazorca (PM)	14
6.4 Altura de Planta (AP), Número de Nudos (N°N) y Peso de 100 Granos (P100G).....	17
6.5 Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) del Tejido Vegetal de Follaje	19
VII. CONCLUSIÓN.....	23
VIII. LITERATURA CITADA	23

ÍNDICE DE CUADROS

1. Cuadro 1. Distribución de los tratamientos adicionados a maíz.....11
2. Cuadro 2. Valores promedio de algunas variables medidas a planta y mazorca de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio..... 12
3. Cuadro 3. Valores promedio de algunas variables medidas a plantas de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.....12
4. Cuadro 4. Valores promedio de los nutrimentos medidos a tejido vegetal de follaje de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio..... 19
5. Cuadro 5. Análisis nutrimental con base en los índices D.O.P. de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.....21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grosor del tallo de maíz al adicionar Fulvato de calcio.	13
Figura 2. Peso seco de la planta de maíz, al adicionar un Fulvato de calcio.	14
Figura 3. Volumen de raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.	15
Figura 4. Peso seco de la raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.....	15
Figura 5. Densidad de la raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.	16
Figura 6. Peso de la mazorca de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.....	16
Figura 7. Altura de planta de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.	17
Figura 8. Número de nudos de planta de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.....	18
Figura 9. Peso de 100 granos de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.....	18
Figura 10. Nitrógeno, Fósforo y Potasio en tejido vegetal de follaje de maíz, al adicionar un Fulvato de Calcio	20
Figura 11. Magnesio y calcio en tejido vegetal de follaje de maíz, al adicionar un Fulvato de Calcio (FCa).....	20

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de un fulvato de calcio (FCa), elaborado con la mezcla de un ácido fúlvico de leonardita y nitrato de calcio, en la calidad del maíz; semillas de la Variedad "VAN-210", fueron sembradas en macetas de plástico que contenían 10 kg de un suelo de origen volcánico y al momento de la siembra, cuando la planta contenía dos pares de hojas verdaderas y al inicio de la formación de la espiga, les fueron adicionados 500, 750 y 1000 mg.kg⁻¹ del FCa por litro de agua adicionada y como testigos fertilización química al 50 y 100 % (FQ50 y FQ100). Las variables medidas a la planta: altura (AP), grosor de tallo (GT), número de nudos (N°N) y peso seco (PSP); a la raíz: volumen (VR), peso seco (PR) y densidad (DR) y también, peso de 100 granos (P100G) y peso de mazorca (PM); al tejido vegetal de follaje, la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Se encontró que al adicionar 1000 mg.kg⁻¹ del FCa, se superó al 100 % de la FQ en la AP, N°N, P100G y PM, porque la sobrepasó en 4, 2, 12 y 39 %, respectivamente; mientras que, en el resto de las variables medidas a la planta, con la adición de 500 mg.kg⁻¹, se aventajó a la FQ y con la dosis alta, se superó a la FQ en los nutrimentos medidos al tejido vegetal de follaje, con excepción del Ca y con el DOP, se encontró que con la adición de las dosis baja y media solo el Ca y el Mg no fueron deficientes, situación que con el resto de los tratamientos, los elementos medidos, fueron deficientes. Se concluye, que en las variables medidas a la parte aérea de la planta y a la raíz, la dosis baja del FCa, realizó efecto positivo; mientras que, en todas las demás variables lo efectuó la dosis más alta del compuesto orgánico-mineral.

Palabras clave: Ácidos fúlvicos; *Zea mays*, Calcio.

I. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz forma parte de la alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Polanco y Flores, 2008).

El 80 por ciento de la producción mundial de maíz, se concentra en 10 países: Estados Unidos ocupa el primer lugar con 40 por ciento, China el segundo con el 20 por ciento, Brasil es el tercero con el 6 por ciento y México en cuarto con el tres por ciento de la producción. Los otros seis países son Argentina, Francia, La India, Indonesia, Italia y Sudáfrica, que en conjunto agruparon el 11 por ciento (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP, 2008).

Este mismo organismo, menciona que los cambios en volúmenes de producción más acelerados correspondieron a Brasil y La India, cuya tasa media anual de crecimiento (TMAC) fue de 6.5 por ciento, respectivamente e implicaron que en 10 años su producción se incrementará en más del 70 por ciento; en el caso opuesto, Francia e Italia tuvieron una TMAC cercana a cero. Estados Unidos y México se comportaron de manera similar al del promedio mundial, con TMAC de 1.9 y 2.5 por ciento, respectivamente. En cada caso, representaron incrementos de alrededor del 30 por ciento en el volumen de producción entre 1998 y 2008.

Por lo comentado y la importancia del maíz en México, es necesario mantener y aumentar su calidad y la producción, por lo que es determinante que haya modos de producción óptimos; los productores saben que con el uso de fertilizantes químicos se logra lo anterior, pero a son costosos y la mayoría de estos compuestos son elaborados a base de recursos naturales no renovables. Es necesaria la búsqueda de insumos económica y ecológicamente factibles, con los que se logre aumentar la calidad de los frutos de los cultivos una alternativa por esta razón el uso de sustancias húmicas (SH), pero empleadas de manera racional, en función de las características del suelo y de la etapa fenológica del cultivo en donde se apliquen.

En los últimos años, en México, con el auge de la Agricultura Orgánica y Sustentable, el uso de SH aumentó considerablemente, por ser una alternativa ecológica y económicamente factible para aumentar la producción; además, por las bajas cantidades que se emplean y por el efecto positivo que realizan en la producción, se consideran como Bioestimulantes (David *et al.* 2014) y La Sociedad Internacional de Substancias Húmicas (IHSS) (2013), define que las SH, son una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (proceso denominado Humificación). Y para Stevenson (1994), se dividen en tres fracciones: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (HR) y si se combinan con elementos químicos, se denominan Humatos, para el caso de los AH y Fulvatos para los AF.

A los AH y los AF, se les atribuye que pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados. En los primeros dominan los grupos funcionales oxhidrilos fenólicos (OH) y en los segundos, los grupos carboxílicos (-COOH), porque más de 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, está formado por los grupos funcionales mencionados y el resto, pueden ser grupos nitrogenados (-NH, -NH₂) (Schnitzer, 2000); además, estos grupos producen alta capacidad de intercambio catiónico. Gracias a lo anterior, cuando a estos compuestos se les adicionan nutrientes, son denominados Humatos y/o Fulvatos del elemento químico dominante. En el caso del presente trabajo, los AF al unirse al calcio (Ca) es llamado fulvato de calcio (FCa).

En los últimos cinco años, en todo el mundo, las investigaciones sobre este tema se han enfocado en determinar el efecto de la mezcla de las SH con elementos químicos encontrando que la calidad y rendimiento de una gran variedad de cultivos aumenta; sin embargo, el o los procesos mediante los cuales las mezclas realizan el efecto mencionado, aun no son dilucidados con claridad. Por ello, se propone el presente trabajo.

II. OBJETIVO

Determinar el efecto de un fulvato de calcio, en la calidad del maíz.

III. HIPOTESIS

Una dosis de las dosis del fulvato de calcio, incrementara la calidad del maíz.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Generalidades del Maíz

En México, el maíz está muy ligado a la cultura y a los hábitos alimenticios; además, es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta (Kato et al., 2009; Arlsan, 2011), y es un recurso genético de suma importancia para la seguridad alimentaria (Ureta *et al.*, 2012). En total, 59 razas y miles de variedades han sido reconocidas en México, estas razas se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas y con diversos usos (Ureta *et al.*, 2012). El territorio nacional cuenta con 198 millones de hectáreas de diversos cultivos, de las cuales cerca de 30 millones son tierras de cultivo (FAO, 2009). En la actualidad el 77 por ciento de la superficie territorial del país, es apto para el cultivo de por lo menos una raza de maíz.

La descripción botánica, de acuerdo con Jugenheimer, (1988), es una planta de porte robusto y de hábito anual, el tallo es simple, erecto, de elevada longitud ya que alcanza alturas de uno a cinco metros, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña de azúcar, por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjoso. Las hojas nacen de manera alterna a lo largo del tallo, se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelven el entre nudo cubriendo la yema floral, de tamaño y ancho viable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambos tienen la misión de tener a la planta erecta. Es una planta monoica de flores unisexuales, que presentan flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta. Las inflorescencias masculinas son terminales, se conocen como panículas o espigas. Las inflorescencias femeninas (mazorca), se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u elote, donde se insertan las dos flores pistiladas, una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en líneas paralelas. La inflorescencia femenina (mazorca), puede formar de 400 a 1000 granos en un promedio de 24 hileras de la mazorca. Todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas.

4.2 Las Substancias Húmicas

La composición química de la materia orgánica, incluye a muchos anillos aromáticos que interactúan entre sí y con cadenas alifáticas, dando lugar a macromoléculas con diferente masa. La génesis de las SH, implica una combinación de varios caminos de reacción y una gran variedad de sistemas químicos vinculantes, es muy difícil definir un concepto claro de su composición. Los residuos orgánicos, vegetales y animales, manejados o depositados en diferentes ambientes, tales como suelo, compostas, biodigestores, turbas, pantanos, carbones, se ven sometidos a un proceso de transformación esencialmente microbiana (Hayes, 1997). Este proceso consta fundamentalmente de dos vías: la mineralización y la humificación.

La mineralización consiste en el paso de los nutrientes de sus formas orgánicas a formas inorgánicas aprovechables por los cultivos. En el proceso de humificación, la explicación más aceptada se maneja en la denominada TEORIA DEL POLIFENOL (Rodríguez, 1991). Esta teoría incluye dos mecanismos cuya diferencia es el origen de los polifenoles. En uno de los mecanismos, los aldehídos y ácidos fenólicos, que se generan durante la degradación de ligninas por los microorganismos del suelo, producen quinonas por reacciones enzimáticas, las que se polimerizan para formar macromoléculas del tipo de las SH. El otro mecanismo es similar, excepto que los compuestos polifenólicos son sintetizados por microorganismos a partir de sustratos distintos de la lignina (por ejemplo, celulosa). Los polifenoles son luego oxidados enzimáticamente a quinonas y posteriormente convertidas en SH. De acuerdo a estos conceptos, las quinonas provenientes de la lignina, son sintetizadas por los microorganismos, son los bloques principales a partir de los cuales se forman las SH. La formación de compuestos de color oscuro a partir de reacciones en las que participan quinonas ya fue observado en la formación de melanina (Stevenson, 1994).

El término SH, suele utilizarse como nombre genérico para describir al material coloreado del suelo o a las fracciones que se obtienen en base a sus características de solubilidad. De acuerdo con Stevenson (1994), se clasifican en: ácidos húmicos

(AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), de acuerdo a su solubilidad en ácidos o álcalis. De forma general, están compuestas por aproximadamente 50 por ciento de carbono, entre 35-45 por ciento de oxígeno, 5 por ciento de hidrogeno, 3 por ciento de nitrógeno y azufre (MacCarthy 2001) y La Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas. (IHSS – 2013), las define como una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (proceso denominado humificación).

Coyne (2000), clasifica las SH de la siguiente manera: ácidos húmicos, son la fracción de las SH que no es soluble en soluciones acuosas ácidas ($\text{pH} < 2$), pero sí es soluble a valores mayores de pH ; puede extraérselas del suelo con reactivos alcalinos, son la mayor fracción extraíble de las SH del suelo y presentan una coloración entre marrón oscuro y negro. Los ácidos fúlvicos, son la fracción soluble en soluciones acuosas a cualquier valor de pH , se las separa de los AH por acidificación, permanecen en solución y son de color amarillo-amarronado. Las huminas, son la fracción insoluble en agua a cualquier valor de pH y son de color negro. (Karanfil *et al.*, 1996).

4.3 Importancia de las Sustancias Húmicas

La complejación y/o quelatación es el papel más importante de las sustancias húmicas, ya que se deduce que quelatan los cationes y los coloca disponibles para la raíz de la planta; además, previene su precipitación pero esto aún no está completamente comprobado. Los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinotérreos, ya que por ejemplo se compleja hierro y zinc más rápido que el sodio (Stevenson, 1994). Las SH estimulan la absorción de iones en muchas plantas a una concentración de 10 a 100 ppm (Zachariakis *et al.*, 2001).

Durson (2007), afirma que las SH tienen efectos benéficos en la absorción de nutrientes por las plantas y particularmente el transporte y disponibilidad de microelementos; cuando se aplican en soluciones minerales ayudan al crecimiento

de varias especies vegetales lo que hace creer que dichas sustancias actúan como hormonas de crecimiento vegetal (Chen *et al.*, 1990). Aplicaciones prolongadas de manera foliar de AH, estimulan mayor eficiencia fotosintética a partir de la quinta aplicación al principio de la cosecha de fruta en la planta de fresa (Neri *et al.*, 2002).

Los efectos Bioestimulantes de las SH, es que se caracterizan tanto por los cambios estructurales y fisiológicos en las raíces y brotes relacionados con la absorción de nutrientes, la asimilación y distribución (rasgos de la eficiencia del uso de nutrientes). También, pueden inducir cambios en el metabolismo. Por lo tanto, la aplicación exógena de SH dentro de los sistemas agronómicos, se puede utilizar para ayudar al desarrollo de la intensificación sostenible. Como la mayoría de las SH utilizados en la agricultura, actualmente se derivan de recursos no renovables como el carbón y la turba, la promoción de esta tecnología también requiere el desarrollo de nuevas fuentes sostenibles de productos húmicos (Canellas *et al.*, 2015).

La aplicación de SH se observa un aumento en la nutrición mineral, es decir, aumenta la absorción de macro y micro elementos que podrían estar relacionados con la estimulación del crecimiento de plantas. La aplicación de extractos húmicos mejora la absorción de potasio, calcio, fósforo, nitrógeno, manganeso y hierro; además, se ha observado mayor concentración de nutrimentos en los tejidos radicales. En condiciones hidropónicas, se ha observado que inducen a una precocidad en la floración y modifican el desarrollo de la raíz, es decir, hay mayor cantidad de raíces. (Eyheranguibel *et al.*, 2008).

Para Orlov (1995), los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinotérreos, ya que se compleja fierro (Fe) y zinc (ZN) más rápido que el sodio; por lo que al adicionar AF y Fe, la cantidad de este elemento es más abundante en tejido vegetal de follaje de tomate y resulta muy favorable para corregir la clorosis férrica en el cultivo de altramuz. Además, Ramos (2000), dice que la presencia de las SH, promueven el crecimiento de plantas de vid al aumentar el número de brotes laterales, mayor altura, mayor contenido de materia seca de hojas, tallos, raíces y de la clorofila total. Adicionalmente se ha identificado un aumento en la concentración foliar de clorofilas totales, conforme aumenta la dosis de aplicación de las SH, ya que además, de promover mayor contenido de carbohidratos y

concentración de clorofila en hojas y brotes, aumenta los niveles de fósforo (P) y potasio (K) en raíces, también los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y zinc (Zn) en hojas (Ramos, 2000).

Aunque la influencia de las SH, es más acusada sobre las raíces, existen numerosos estudios de su efecto sobre la parte aérea; así, (Rauthan *et al.*, 1981), estudiaron la incidencia de la aplicación de los AF a la disolución nutritiva Hoagland, en plantas de pepino y como resultado, se muestra que el óptimo crecimiento de los tallos fue a la dosis de entre 100 a 300 mg.litro⁻¹. Mientras que, (Chen *et al.*, 1990), mencionan que las SH, mezcladas con soluciones minerales, ayuda al crecimiento de varias especies vegetales lo que hace creer que las sustancias orgánicas, actúan como hormonas de crecimiento vegetal.

Los ácidos fúlvicos (AF), son la fracción de las SH que permanece en solución a cualquier condición de pH; estos compuestos poseen como características fundamentales, alta acidez total, gran cantidad de grupos funcionales carboxilo (-COOH), alta adsorción de iones y por ello, alta capacidad de intercambiar cationes (Calvo *et al.* 2014) y gracias a esto, son responsables de la quelatación y/o complejación de cationes (Lobartini *et al.*, 1998).

Existe multitud de reportes sobre el efecto de la quelatación de iones por los AF (Zimmerli *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010); por ejemplo, García-Márquez (2017) evaluó el efecto de un Fulvato de potasio en la calidad y producción de tabaco en un suelo alcalino, encontrando que el Fulvato de K (FK), tuvo un efecto altamente significativo sobre el peso fresco y seco del vástago y la raíz de la plántula del tabaco, en las etapas de plántula y “Repique”. En la etapa de producción, el FK realizó efecto positivo al aumentar el peso fresco y seco de la hoja, del área foliar y el peso fresco y seco y del diámetro y la longitud del tallo.

Este mismo autor, dice que en el contenido de K en el tejido vegetal de follaje y raíz, el FK no presentó efecto positivo en las etapas de plántula y producción; pero, en la etapa de “Repique” si lo efectuó. Aquí, de acuerdo con los resultados obtenidos del K en la raíz fueron superiores a los presentados en el follaje, lo que no concuerda también con lo establecido por (David *et al.*, 2014), (Calvo *et al.*, 2014) y Canellas y Olivares (2014), al establecer que los AF sirven como agentes quelatantes de

cationes, estos elementos son llevados al torrente xilemático, a través de las membranas de las células vegetales de la raíz por acción de enzimas como la ATP-asa.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del Área Experimental

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

5.2 Metodología

En el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Sustratos del Departamento de Ciencias del Suelo de la UAAAN, se elaboró el Fulvato de calcio (FCa) de la siguiente manera: Leonardita secada a 110°C durante 12 horas, molida y tamizada a una malla de un milímetro de diámetro; posterior a esto, se le extrajeron los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF) con hidróxido de potasio 1 N (KOH, 1 N) y la solución fue llevada a pH 4.5 con ácido acético al 98 por ciento, para separar ambos compuestos orgánicos. Los AH, fueron desechados y a los AF, se les adicionó nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), como fuente del elemento con el Ca al 2 por ciento.

En el invernadero mencionado, semilla de maíz de la variedad "VAN-210", donado por el Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN, se sembraron en macetas de plástico, que contenían 10 kg de un suelo, colectado en Zamora, Michoacán y cuyas características principales, son: pH de 7.48; conductividad eléctrica de 2.17 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, textura franca, carbonatos totales 3.61 por ciento y 3.46 por ciento de materia orgánica. Al momento de la siembra, se fertilizó con una solución nutritiva completa, con base en los Índices de Steiner y la conductividad eléctrica fue de 2.2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Los tratamientos adicionados fueron 500, 750 y 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ por litro de agua del FCa y fertilización química al 50 y 100 por ciento (FQ50 y FQ100), como testigos. La solución nutritiva fue similar a la ya mencionada (Cuadro 1).

Las variables medidas a la planta: altura (AP), grosor de tallo (GT), número de nudos (N°N) y peso seco (PSP); a la raíz: volumen (VR), peso seco (PR) y densidad (DR) y también, peso de 100 granos (P100G), peso mazorca (PM) y al tejido vegetal

de follaje, la concentración de nitrógeno (N) (Kjelhdal), fósforo (P) (Fotocolorímetro) y potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Espectrofotómetro de absorción atómica, Modelo Varian A-5). Además, con los datos del contenido de nutrimentos del tejido vegetal de follaje obtenidos, se efectuó el análisis nutrimental al tomar como base el Método de la Desviación Óptima Porcentual (D.O.P.) (Montañés *et al.* 1995).

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos adicionados a maíz.

Tratamientos	Dosis (mg.kg ⁻¹)
Fca5	500
Fca7.5	750
Fca10	1000
FQ50 (testigo)	50 %
FQ100 (testigo)	100 %

Fca.: Fulvato de calcio; FQ: Fertilización química.

El trabajo, se distribuyó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con cinco tratamientos y cinco repeticiones. A los datos obtenidos, se les efectuó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias, con el método Tuckey ($p \leq 0.05$); es decir, al 95 por ciento de confianza y para lo que se empleó el paquete estadístico MINITAB en Español, versión 17.1 para Windows.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las variables Grosor de tallo (GT), Peso seco de planta (PSP), Volumen (VR), Peso seco (PSR) y Densidad de raíz (DR) y Peso de mazorca (PM), los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 2); mientras que, para la Altura de planta (AP), Número de nudos (N°N) y Peso de 100 granos (P100G) no lo efectuaron (Cuadro 3).

Cuadro 2. Valores promedio de algunas variables medidas a planta y mazorca de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.

Tratamientos	Variables					
	GT (cm)	PSP (g)	VR (cm ³)	PSR (g)	DR (g.cm ⁻³)	PM (g)
FCa5	3a	115ab	146a	74a	0.50ab	153a
FCa7.5	2.5a	131,5a	137a	67a	0.50abc	145ab
FCa10	2.5a	124a	94c	26b	0.40bc	160a
FQ50	2b	83bc	48c	16b	0.30c	122bc
FQ100	1c	75c	64b	56a	0.60a	115c
C. V. (%)	9.25	17.58	15.43	30.58	15.96	9.78

GT: Grosor de tallo; PSP: Peso seco de planta; VR: Volumen de raíz; PSR: Peso seco de raíz; DR: Densidad de raíz; PM: Peso de mazorca; (CV %): Coeficiente de Variación.

Cuadro 3. Valores promedio de algunas variables medidas a plantas de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.

Tratamientos	Variables		
	AP (cm)	N°N	P100G (g)
FCa5	218a	10a	34a
FCa7.5	223a	10a	36a
FCa10	225a	10a	36a
FQ50	220a	9a	33a
FQ100	216a	9a	32a
C.V. (%)	13.29	12.41	7.98

AP: Altura de planta; GT: Numero de Nudos (N°N); Peso de 100 Granos; (CV %). Coeficiente de Variación en por ciento.

6.1 Grosor de Tallo (GT)

Con base en la Figura 1, en esta variable se puede establecer que conforme se aumentó la dosis del compuesto orgánico-mineral, los valores disminuyeron y el más inferior fue al adicionar la solución nutritiva al 100 por ciento (FQ100). Aquí, al aplicar 500 mg.kg^{-1} del FCa se aventajó en 200 por ciento a la FQ100 y en 100 por ciento a la solución nutritiva al 50 por ciento (FQ50).

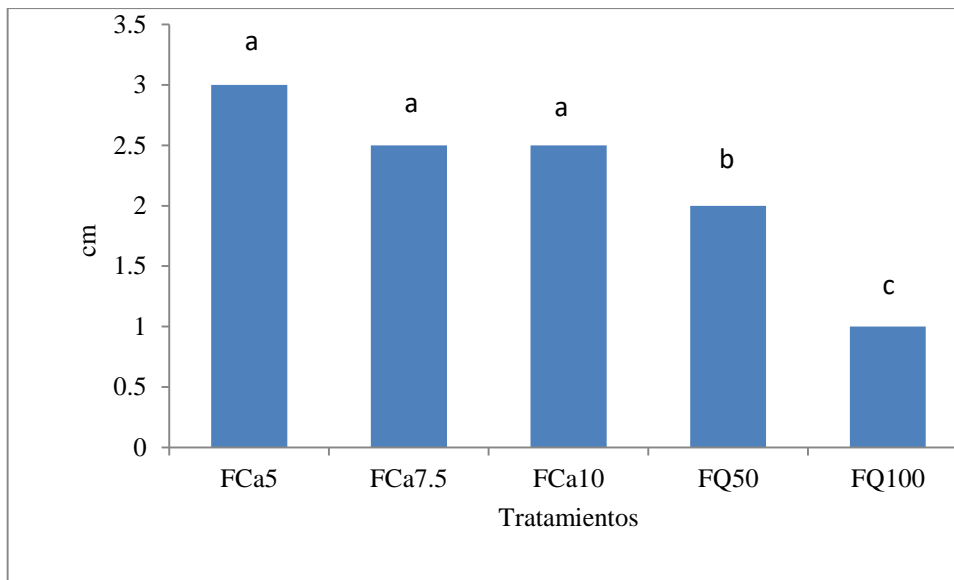


Figura 1. Grosor del tallo de maíz al adicionar Fulvato de calcio.

6.2 Peso Seco de Planta (PSP)

A partir de la Figura 2, se puede comentar que con la agregación de la dosis baja del FCa el valor del PSP no sobrepasó los 120 g; pero, con las dosis media y alta se presentaron las cuantías superiores en esta variable, de tal forma que al aplicar 750 mg.kg^{-1} del compuesto los valores fueron mayores 58 y 75 por ciento mayores que la FQ50 y FQ100, respectivamente.

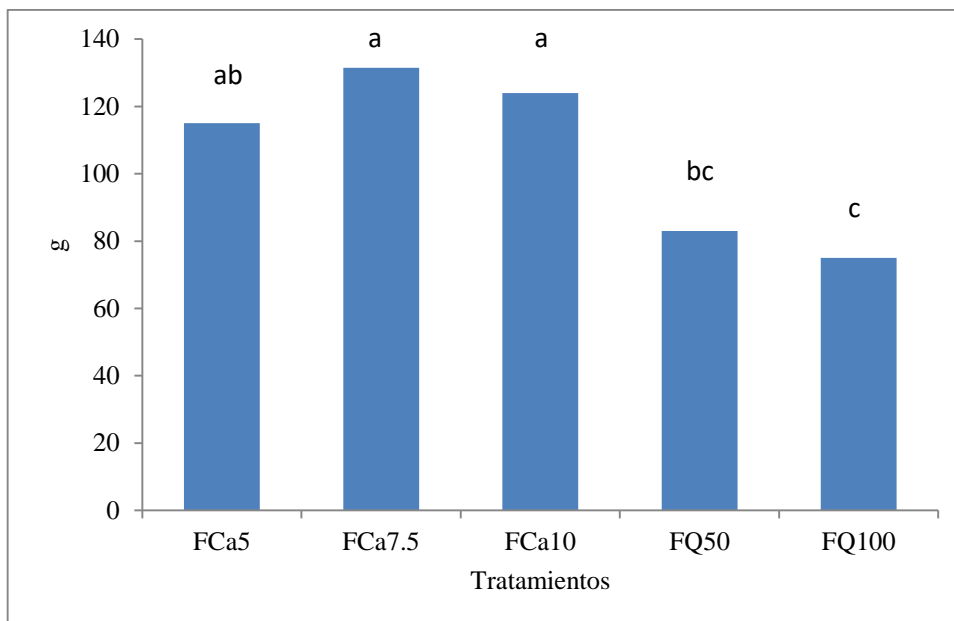


Figura 2. Peso seco de la planta de maíz, al adicionar un Fulvato de calcio.

6.3 Volumen (VR), Peso seco (PSR), Densidad de Raíz (DR) y Peso de Mazorca (PM)

El más alto VR se presentó al aplicar 500 mg.kg^{-1} del FCa y aquí, conforme se aumentó la dosis del compuesto orgánico-mineral, los valores disminuyeron y se superó a la FQ50 en 204 por ciento y a la FQ100 en 55 por ciento (Figura 3). De acuerdo con la Figura 4, situación similar se presentó en el PSR, solo que se adelantó a la FQ50 y a la FQ100 en 362 y 32 por ciento, respectivamente y en la DR (Figura 5), al agregar la FQ100 se aventajó a la FQ50 en 50 por ciento, a la dosis más baja y media en 83 por ciento y a la alta en 67 por ciento; es decir, aquí el tratamiento que realizó el efecto mayor fue la FQ100. En la Figura 6, referente al PM, se puede apreciar que con la adición de las dosis baja y alta del FCa, se presentaron los valores superiores y con la dosis media y las dos cantidades de la solución nutritiva, los valores disminuyeron; de tal forma que, con la aplicación de 1000 mg.kg^{-1} del FCa se adelantó a donde se agregó la FQ50 en 31 por ciento y en 39 por ciento en la FQ100.

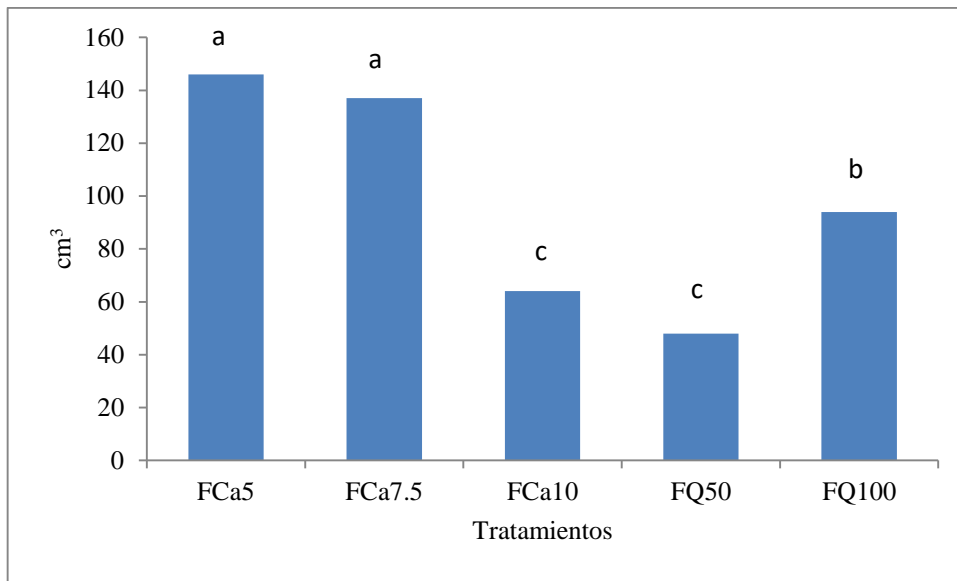


Figura 3. Volumen de raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

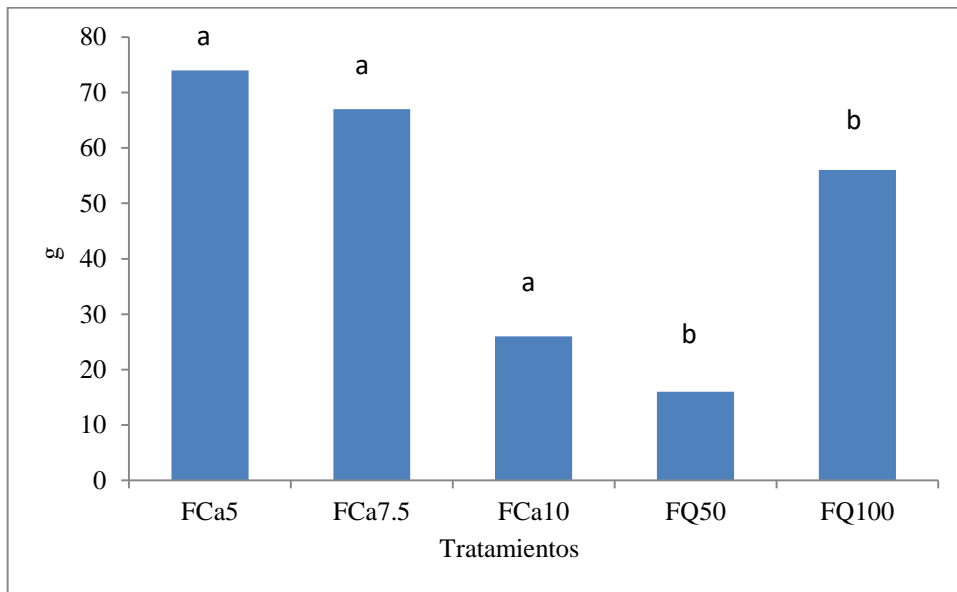


Figura 4. Peso seco de la raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

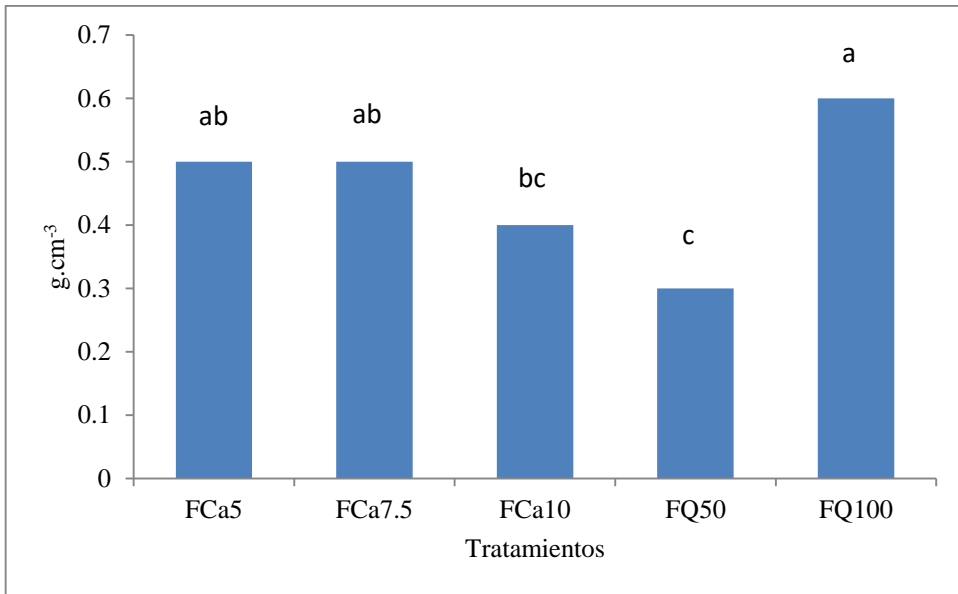


Figura 5. Densidad de la raíz de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

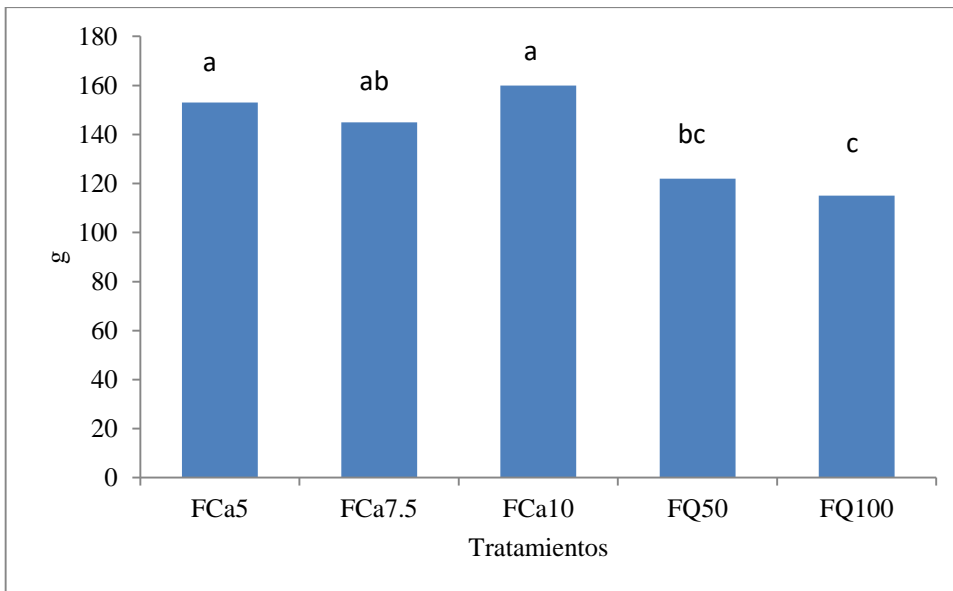


Figura 6. Peso de la mazorca de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

6.4 Altura de planta (AP), Número de Nudos (N°N) y Peso de 100 Granos (P100G)

A pesar de que en estas tres variables, los tratamientos no realizaron efecto significativo, de forma gráfica (Figuras 7, 8 y 9), se puede establecer que el mejor tratamiento en las tres variables fue la aplicación de 1000 mg.kg⁻¹ del FCa, porque superó a donde se agregó la FQ50 en 2, 11 y 9 por ciento, respectivamente y con 4, 11 y 12 por ciento a la agregación de la FQ100 en las tres variables, respectivamente.

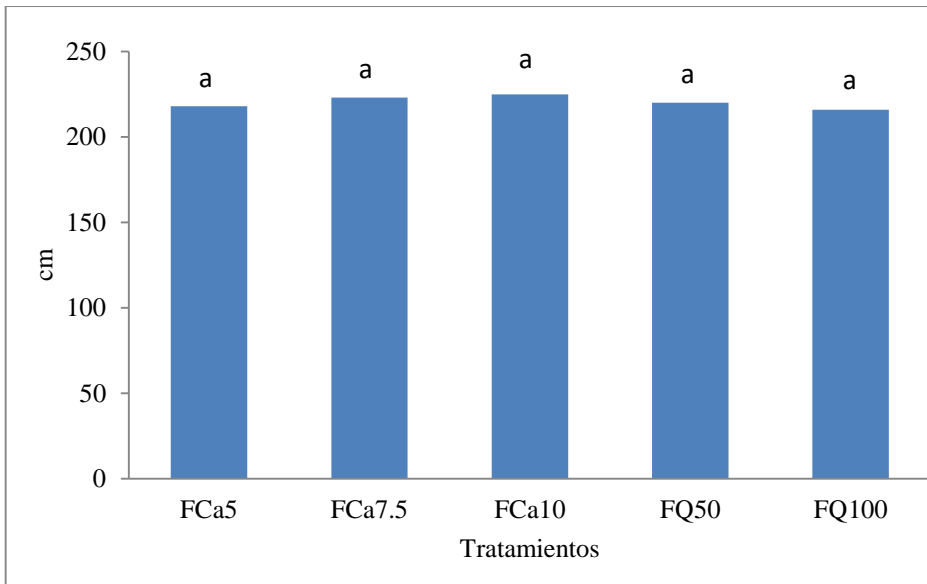


Figura 7. Altura de planta de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

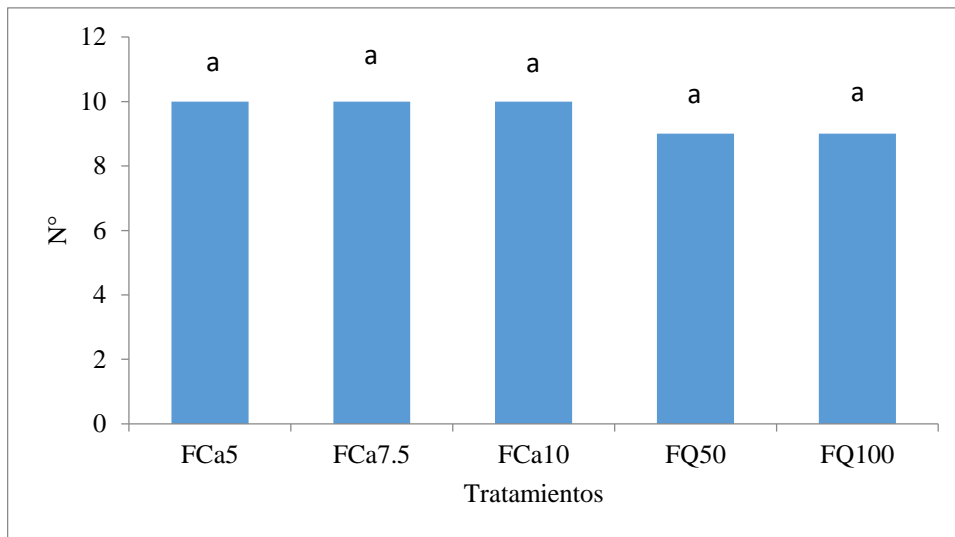


Figura 8. Numero de nudos de planta de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

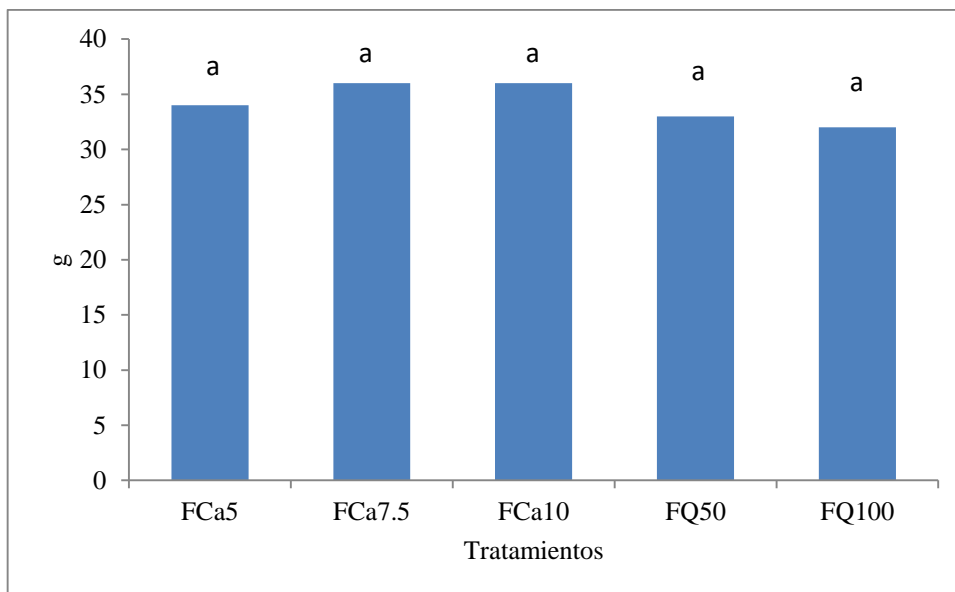


Figura 9. Peso de 100 granos de maíz al adicionar un Fulvato de calcio.

6.5 Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) del Tejido Vegetal de Follaje

En el Cuadro 4, se observa que los tratamientos realizaron efecto significativo en los cinco macronutrientes medidos al tejido vegetal de follaje del maíz. Con base en la Figura 10, se puede establecer que conforme se aumentó la dosis del FCa, los valores también aumentaron en el N, P y K; de tal forma que, con la adición de 1000 mg.kg⁻¹ del FCa se superó a la FQ al 50 por ciento en 166, 78 y 444 por ciento y a la FQ al 100 por ciento con 255, 78 y 457 por ciento, respectivamente. En la Figura 11, se observa en el Mg que conforme se aumentó la dosis del FCa, los valores aumentaron; pero, en el contenido de Ca sucedió lo contrario, así que, en aquel elemento al adicionar 1000 mg.kg⁻¹ del FCa se adelantó a la FQ50 en 107 por ciento y a la FQ100 con 81 por ciento y en este elemento, al agregar 500 mg.kg⁻¹ del FCa (FCa5), se adelantó a la FQ50 en 500 por ciento y a la FQ100 en 1100 por ciento.

Cuadro 4. Valores promedio de los nutrimentos medidos a tejido vegetal de follaje de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.

Tratamientos	Variables				
	N	P	K	Ca	Mg
FCa5	1.9c	0.22b	1.11b	1.2a	0.16b
FCa7.5	2.5b	0.25b	1.27b	1.0a	0.18b
FCa10	3.2a	0.48a	2.23a	0.3b	0.29a
FQ	1.2d	0.27b	0.41c	0.2bc	0.14b
FQ	0.9d	0.27b	0.4c	0.12c	0.16b
C.V (%)	12.47	15.93	12.99	21.09	14.32

N.: Nitrógeno; P: Fosforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; C.V (%): Coeficiente de variación.

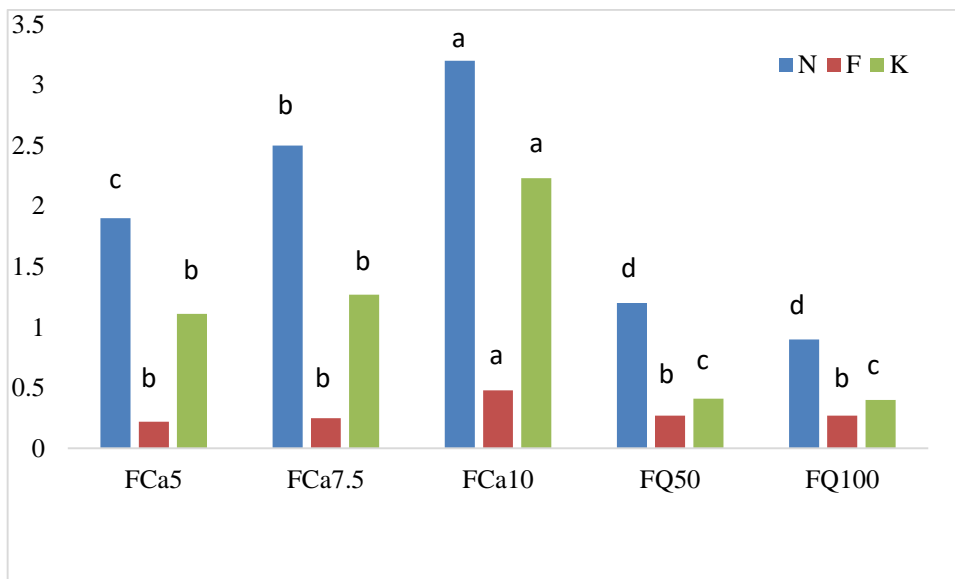


Figura 10. Nitrógeno, Fósforo y Potasio en tejido vegetal de follaje de Maíz, al adicionar un Fulvato de Calcio.

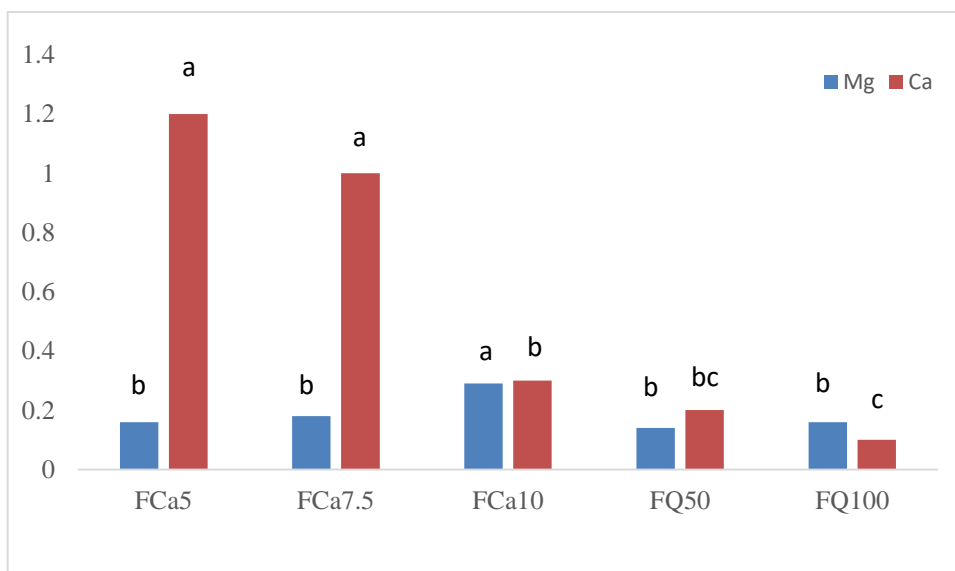


Figura 11. Magnesio y calcio en tejido vegetal de follaje de Maíz, al adicionar un Fulvato de Calcio (FCa).

El análisis nutrimental arrojó que: con la adición de 1000 mg.kg⁻¹ del FCa, las cantidades del tejido vegetal de follaje del maíz de N, P y Mg se presentaron en exceso; también, con la aplicación de las dosis baja y alta, los contenidos de Ca y Mg fueron en exceso y todos los demás elementos analizados, con todos los

tratamientos, fueron deficientes, ya que el signo del índice es negativo. La sumatoria de los índices D.O.P. mas desequilibrada, se presentó al agregar la Fertilización química al 100 por ciento.

Cuadro 5. Análisis nutrimental con base en los índices D.O.P. de maíz, con la adición de un Fulvato de calcio.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Σ
FCa5	-30.66	-24.14	-55.6	33.33	6.67	150.40
FCa7.5	-8.76	-13.79	-49.2	11.11	20.0	102.77
FCa10	16.79	65.51	-10.8	-66.67	93.33	253.10
FQ50	-56.20	-6.89	-83.6	-77.78	-6.67	231.14
FQ100	-67.15	-6.89	-84.0	-88.89	6.67	253.60

FCa: Fulvato de calcio; FQ: Fertilización química.

A manera de discusión, se puede decir que de acuerdo a los resultados obtenidos, en lo relacionado con la raíz, concuerda con lo establecido por Canellas y Olivares (2014), al comentar que la principal evidencia del efecto biológico de las sustancias húmicas (SH), es la inducción y formación de pelos radicales laterales, debido a que las células meristemáticas están en continua actividad metabólica y de ahí, la formación de raíces laterales. También, estos autores dicen que las membranas plásmicas de las células de la raíz, exhiben una clara actividad de la enzima ATP-asa, muy probablemente inducida por las SH y además, estas sustancias contienen en su estructura molecular algunas estructuras químicas muy similares a la de las auxinas, lo que produce un comportamiento fisiológico similar en las plantas donde se agregan las SH de forma exógena.

También, Jindo *et al.*, (2012), concuerdan con lo anterior al concluir que los ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF), aumentan el crecimiento de la raíz de semillas de maíz, porque estas sustancias presentan estructuras muy similares a las auxinas e inducen la actividad de la ATP-asa y aumentan la elongación de la raíz, como resultado de una acidificación del apoplasto, lo que provoca ablandamiento de la pared celular y por consiguiente la reproducción celular y elongación de la pared celular.

En este trabajo, al adicionar el Fulvato de calcio a razón de 1000 mg.kg⁻¹ (FCa100), se aumentó la actividad de la ATP-asa y las auxinas, por lo que la masa

radicular realizó lo propio y redundó en el mejoramiento de la nutrición vegetal al aumentar el transporte de iones, como lo denotan Baldotto *et al.*, (2009), al realizar una investigación en piña, encontraron que al aplicar las SH, se incrementan los contenidos de N, P, K, Ca y Mg del tejido vegetal de follaje, en 52, 71, 50, 58 y 59 por ciento, respectivamente y con respecto al control que fue una solución nutritiva completa.

Además, aquí desde el punto de vista de la nutrición vegetal, se puede decir que los AF, son la fracción de la materia orgánica que permanece en solución a cualquier condición de pH. Los AF tienen alta acidez total, gran cantidad de grupos funcionales carboxilo (-COOH), alta adsorción de iones y por ello, alta capacidad de intercambiar cationes (Calvo *et al.* 2014); gracias a esto, los AF son responsables de la quelatación de los cationes (Lobartini *et al.* 1998). Una gran cantidad de investigaciones, han reportado el efecto de la quelatación de iones por los AF (Zimmerli *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010); esto, concuerda con lo encontrado en este trabajo al presentar que las dosis baja y alta del Fulvato de calcio (FCa), realizaron efecto altamente significativo en las variables medidas al maíz, al aumentar los valores de ellas con relación a donde no se adicionó el compuesto orgánico-mineral; es decir, a las dos cantidades de la fertilización química empleadas como controles.

Esto también concuerda con lo establecido por David *et al.*, (2014), Calvo *et al.*, (2014) y Canellas y Olivares (2014), al comentar que los AF sirven como agentes quelatantes de cationes, donde los nutrimentos son llevados al torrente xilemático, a través de las membranas de las células vegetales de la raíz por acción de enzimas como la ATP-asa.

VII. CONCLUSIÓN

En las variables medidas a la parte aérea de la planta y a la raíz, la dosis baja del Fulvato de calcio, realizó efecto positivo; mientras que, en todas las demás variables lo efectuó la dosis más alta del compuesto orgánico-mineral.

VII. LITERATURA CITADA

- Calvo, P., Nelson, L. and Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 383:3-41.
- Canellas, L.P. and F. L. Olivares. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 1-11. A Springer Open Journal.
- Chen Y. and T. Aviad, 1990. Effects of humic substances on plant growth. In *humic substances in soil and crop science; selected readings* (pp. 161_/186). Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Coyne, M. 2000. *Microbiología del suelo: un enfoque explorativo*. Ed. Paraninfo, Madrid España Pp. 416.
- David, J., D. Smejkalova, S. Hudecova, O. Zmeskal, R. von Wandruska, T. Gregor and J. Kucerik. 2014. The physic-chemical properties and biostimulative activities of humic substances regenerated from lignite. *Springer Plus a Springler Open Journal*. 3-156.
- Durson A; I. Guven and Turan. 2007. Macro and micro nutrient contents of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and eggplant (*Solatium melongena var. Esculentum*). *Sedling and their effects on seeding in relation to humic acid application pag improved Crop Quality by Nutrient Management Vol.86*.
- Eyheraquibel B., J. Silvestre and P. Morard. 2008. Effects of humic substances derives from waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize *bioresource technology* 99(10): 4206-4212.
- García-Márquez, V. 2017. *Comportamiento de un Fulvato de Potasio en la Calidad del Tabaco*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias del Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México.
- Hayes, M.H.B. 1991. In W.S. Wilson (Ed.) *Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 3-22.
- Karanfil T., M. A. Schlautman, J. E. Kilduff and W. J. Weber Jr. 1996. Adsorption of organic macromolecules by granular activated carbon. 2. Influence of dissolved oxygen. *Environmental Science and Technology*, 30: 2195 – 2201.
- Lobartini, J.C., K.H. Tan and C. Pape. 1998. Dissolution of aluminium and iron phosphate by humic acids. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 29.535-544.

- MacCarthy P. 2001. The principles of humic substances: An introduction to the first principle. Pág. 19- 30. *In: Humic substances. Structures, models and functions.* Editado por E. A. Ghabbour y G. Davies. The Royal Society of Chemistry, Gateshead, UK.
- Neri, D., Lodolini, E. M., Savini, G., Sabbatini, P., Bonanomi, G., & Zucconi, F. 2002. Foliar application of humic acids on strawberry (cv Onda). *Acta Horticulture.* 594.
- Ramos, R. 2000. Aplicación de sustancias húmicas salino. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Rauthan, B.S. and Schnitzer, M. 1981. Effects of a soil fúlvico acid on the grown and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant and Soil.* 63: 491-495.
- Rodríguez, J. 1991. Sustancias Húmicas: origen, caracterización y uso en la agricultura. INTAGRI, Celaya, Guanajuato, México.
- Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS), 2013. Producto de alface cultivado en solucao nutritiva completa com adicto a substancias húmicas extraídas de sete carvones minerales. Universidad Federal de Santa María. Programa de posgraduados en agronomía. Santa María, Brasil. Pp. 343-345.
- Stevenson, F. J. 1994 *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction.* Jhon Wiley & Sons, New York, USA.
- Zachariakis, M., Tzorakakis, E., Kritsotakis, I., Siminis, C. I. and Manios, V. 1999. Humic substances stimulate plant growth and nutrient accumulation in grapevine rootstocks. In *International Symposium on Composting of Organic Matter 549.* pp. 131-136.
- Zhang, X., K. Wang and E.H. Ervin. 2010. Optimizing dosages of seaweed extract-based cytokinins and zeatine bioside for improving creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Sci.* 50:316-320.
- Zimmerli, L., B.H. Hou and C.H. Tsai. 2008. The xenobiotic beta-aminobutyric acid enhances *Arabidopsis thymotolerance.* *Plant J.* 53:144-156.