

**Subsecretaría de Educación Superior
Dirección General de Educación Superior Tecnológica
Instituto Tecnológico de la Zona Maya**

“Monitoreo de potasio (K) y calcio (Ca) en extracto de hojas de chile habanero (*Capsicum chinense* L.)”

**Informe Técnico de Residencia Profesional que
presenta el C.**

José Reyes Álvarez Hernández

N° de Control
10870010

Carrera: Ingeniería en Agronomía

Asesor Interno: M en C. Víctor Eduardo Casanova Villarreal

Juan Sarabia, Quintana Roo

Diciembre 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA

El Comité de revisión para Residencia Profesional del estudiante de la carrera de INGENIERÍA EN AGRONOMÍA, **José Reyes Álvarez Hernández**; aprobado por la Academia del Instituto Tecnológico de la Zona Maya integrado por; el asesor interno M en C. Víctor Eduardo Casanova Villarreal, el asesor externo el Ing. Nahúm Santos Chacón, habiéndose reunido a fin de evaluar el trabajo titulado **“Monitoreo de potasio (K) y calcio (Ca) en extracto de hojas de chile habanero (*Capsicum chinense* L.)”** que presenta como requisito parcial para acreditar la asignatura de Residencia Profesional de acuerdo al Lineamiento vigente para este plan de estudios, dan fé de la acreditación satisfactoria del mismo y firman de conformidad.

ATENTAMENTE

Asesor Interno


M en C. Víctor Eduardo Casanova Villarreal

Asesor Externo


Ing. Nahúm Santos Chacón

Juan Sarabia, Quintana Roo, Diciembre, 2014.

Índice

I.- Introducción.....	5
III.- Objetivos.	7
3.1.- Objetivo general.....	7
3.2.- Objetivos específicos.	7
IV.- Caracterización del área donde participo.....	8
4.1.- Macro localización	8
4.2.- Micro localización.....	9
V.- Problemas a resolver.	10
VI.- Alcances y limitaciones.....	11
6.1.- Alcances.	11
6.2.- Limitaciones.	11
VII. Fundamento teórico.	12
7.1.- Importancia del chile habanero	12
7.2.- Importancia de la nutrición en la plantas.....	13
7.3.- Movilidad de calcio y potasio en la planta.	15
7.4.- Funciones del potasio (K) en la planta.	15
7.5.- Trastornos y síntomas por deficiencia y toxicidad del potasio en la planta.17	
7.6.- Funciones del calcio (Ca) en la planta.	18
7.7.- Trastornos y síntomas de deficiencia y toxicidad del calcio en la planta. ...	20
7.8.- Niveles de abastecimiento nutrimental.	21
7.9.- Análisis de savia.	21
7.9.1.- Características y ventajas.	21
7.10.- Análisis químico de savia.....	23
7.10.1.- Toma, preparación de muestras y análisis.	23
7.11. Análisis electrónico de savia.	24
7.11.1.- Características del equipo de análisis de potasio.	24
7.11.2.- Características del equipo de análisis de calcio.	25
VIII.- Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.	26
8.1.- Siembra.	26
8.2.- Trabajo realizado en invernadero.	26

8.3.- Preparación del sustrato de siembra.	27
8.2.- Trasplante.	27
8.4.- Programación de riego.	28
8.5.- Programa de fertilización.	28
8.6.- Diseño experimental.	29
8.7.- Mediciones de tallo y altura.	29
8.8.- Toma de muestras y análisis de savia.	30
IX.- Resultados y discusiones.	31
9.1.- Comparación de medias de altura.	31
9.2.- Comparación de medias del tallo.	32
9.3.- Comparación de medias del contenido de K.	33
9.4.- Comparación de medias del contenido de Ca.	34
9.5.- Comparativo de crecimiento de la altura por semana entre T1 y T2.	35
9.6.- Comparativo de crecimiento del tallo por semana entre T1 y T2.	36
X.- Conclusiones y recomendaciones.	37
10.1.- Conclusión	37
10.2.- Recomendación	37
XI.- Fuentes de información.	38
XII.- Anexos.	40

I.- Introducción.

La nutrición vegetal tiene por objetivo mantener o en su caso aumentar la productividad de los cultivos a fin de satisfacer la creciente demanda de alimentos. Los nutrientes son indispensables para la constitución de las plantas, para la realización de varias reacciones bioquímicas y para la producción de materiales orgánicos como resultado de la fotosíntesis. Existen elementos que son considerados esenciales ya que están involucrados directamente en la nutrición de la planta y en el que caso de que exista deficiencia de alguno de ellos, las plantas no podrán completar su vida; por lo que esta deficiencia podrá ser corregida suministrando este elemento. Estos nutrientes están divididos en macronutrientes y micronutrientes, en el primero se encuentran el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), el magnesio (Mg), azufre (S) y calcio (Ca), y en el grupo de los micronutrientes se encuentran el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y boro (B) (Alcantar y Trejo 2007). Dos elementos que sin duda son de gran importancia en el desarrollo fenológico de la planta son el calcio y el potasio. Una deficiencia de potasio se observa en reducción general del crecimiento, los tallos y la consistencia general de la planta son de menos resistencia física y presentan un menor vigor de crecimiento, los frutos y semillas reducen su tamaño y calidad, por su parte una deficiencia de calcio se ve reflejada en una menor capacidad de síntesis de proteínas en la plantas, menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas principalmente jóvenes, poco crecimiento de los tallos y hojas, produciéndose además, una muerte de los meristemas, la planta se muestra menos crecida y desarrollada (Rodríguez, 1996). Hasta hace pocos años determinar el contenido de estos dos elementos en la planta era una tarea de laboratorio muy laboriosa y costosa de llevar a cabo, asimismo el uso de reactivos resultaba indispensable para poder realizar los análisis, sin embargo el desarrollo y la innovación tecnológica han permitido la creación de equipos electrónicos con los que el tiempo para su determinación se ha visto reducido a tan solo unos minutos, pudiendo con ello determinar su deficiencia, y así poder corregirla a la brevedad.

II.- Justificación académica.

La determinación de la cantidad de nutrientes presentes en la planta así como de otros parámetros que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta a través de los métodos convencionales como son los análisis de laboratorio resulta muy costosa y requiere de mucho tiempo para poder llevarlo a cabo, actualmente el avance tecnológico ha permitido la creación de diferentes equipos que son de gran ayuda en la agricultura para determinar los niveles de determinados elementos presentes en la planta, el suelo y el agua de riego. Dos de estos elementos que son muy importantes para el óptimo crecimiento y desarrollo de la planta es el calcio y el potasio, estos están directamente relacionados con el potencial productivo de la planta, por ello resulta de vital importancia conocer en qué grado están presentes en la misma, para así determinar si existe alguna deficiencia o algún exceso y en su caso de ser así corregirla. Mantener un balance nutrimental adecuado en la planta es sinónimo de altos rendimientos y por ende mayores ganancias para el productor, además con la utilización de estos equipos electrónicos se pueden conocer la cantidad de calcio y potasio presente en la planta en cuestión de minutos, y al no utilizar reactivos para su determinación se contribuye a la búsqueda de una agricultura cada vez más sustentable, que es la misión que tenemos como agentes de cambio en el ente agronómico. Todo lo anterior se resume en la búsqueda de una mayor productividad en los cultivos ante la creciente demanda de alimentos para ir acorde con el dinamismo poblacional del mundo globalizado. Al mismo tiempo el desarrollo de este proyecto me ha de servir para poner en práctica los conocimientos obtenidos a lo largo de estos años en esta institución de la que me siento orgulloso de pertenecer.

III.- Objetivos.

3.1.- Objetivo general.

- Monitoreo del contenido de Calcio (Ca) en el desarrollo fenológico del chile habanero (*Capsicum chinense*. L.) bajo condiciones de invernadero utilizando equipo electrónico.
- Monitoreo del contenido de Potasio (K) en el desarrollo fenológico del chile habanero (*Capsicum chinense*. L.) bajo condiciones de invernadero utilizando equipo electrónico.

3.2.- Objetivos específicos.

- Obtener la influencia del contenido de Calcio en el diámetro del tallo de la planta de chile habanero.
- Obtener la influencia del contenido de Calcio en la altura de la planta de chile habanero.
- Obtener la influencia del contenido de Potasio en el diámetro del tallo de la planta de chile habanero.
- Obtener la influencia del contenido de Potasio en la altura de la planta de chile habanero.

IV.- Caracterización del área donde participo.

4.1.- Macro localización

El presente trabajo se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de la Zona Maya localizado en el ejido Juan Sarabia sobre el kilómetro 21.5 de la carretera federal 181 de Chetumal-Escárcega, en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, en las coordenadas geográficas 18°-30-58.00 latitud norte y 88°-29-19.00 longitud oeste. El clima oscila entre el cálido húmedo con lluvias abundantes en verano y el cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual se encuentra entre los 24.7 y los 26.7 °C. Se registra temperaturas de 24 y 27.8 °C La precipitación promedio fluctúa entre 1,246.8 y 1,416 milímetros. Se han registrado precipitaciones extremas de 595.5 milímetros, en el año más seco, y 2,664.5, en el más lluvioso. (Figura 1)

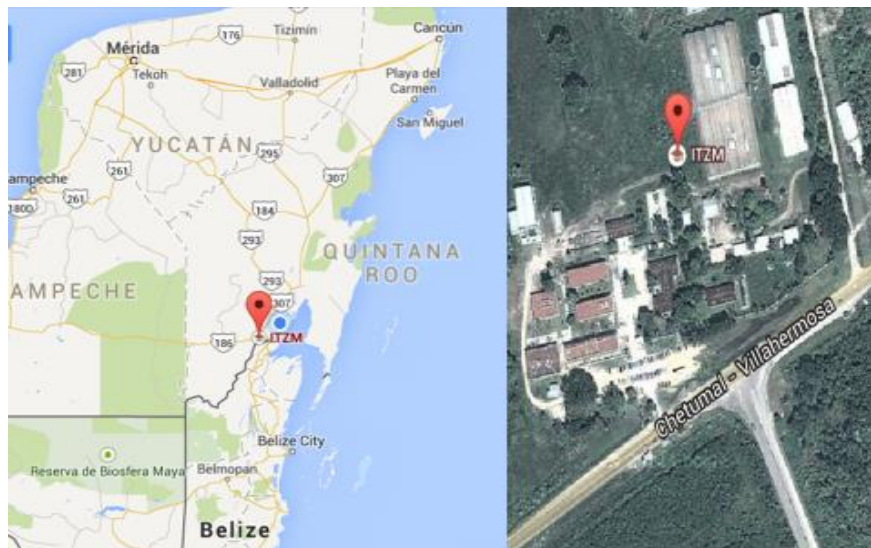


Figura 1. Mapa de la macro localización del proyecto.

4.2.- Micro localización

El experimento se llevó a cabo en el invernadero tipo túnel que se encuentra dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Tiene una extensión de 8 metros de ancho por 20 metros de largo y una altura máxima de 4 metros, haciendo un total de 160 metros cuadrados. Cuenta con un pasillo central de concreto, sistema de riego por goteo, tapete fitosanitario y capsula de limpieza. (Figura 2).



Figura 2. Invernadero tipo túnel del ITZM.

V.- Problemas a resolver.

Los problemas nutricionales en la planta son un factor importante en la pérdida productiva de la planta, disminuyendo los rendimientos de la misma y en consecuencia la ganancia percibida por el productor es menor. De nada servirá tener un buen Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades si tenemos una planta con deficiencias nutricionales, que conduzcan a una disminución considerable del rendimiento del cultivo. Con el presente trabajo se pretende resaltar la importancia que tiene un buen manejo nutricional del cultivo en las diferentes etapas fenológicas del mismo, ya que como bien lo menciona Alcantar y Trejo (2007) la nutrición vegetal se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción y asimilación de nutrimentos por las plantas superiores, así como de los factores que las afectan y su relación con la producción y la calidad de las cosechas. Lo anterior nos expresa la íntima relación que hay entre la nutrición vegetal y la producción y calidad de las cosechas de nuestro cultivo, además una planta bien nutrida es una planta sana que resistirá mejor el embate de una plaga o enfermedad. Dada, también, la importancia económica que tiene el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* L.) en la región es de gran ayuda contar con un plan de fertilización basado en los análisis de agua-suelo-planta que nos permitan optimizar recursos e incrementar, con ello el margen de ganancia del productor.

VI.- Alcances y limitaciones.

6.1.- Alcances.

Dada la importancia que tiene el chile habanero a nivel estatal y regional se pretende tener un alto alcance, que permita que el productor se base, también, en los análisis de savia para la toma de decisiones de acuerdo a la fertilización de su cultivo que, como lo mencione anteriormente, permitirá que se tengan altos rendimientos y cosechas de calidad. Permitiendo de esta manera la creación de planes de fertilización acorde a las etapas fenológicas del cultivo y la fecha de siembra, optimizando recursos y mano de obra, lo que se verá reflejado en el margen de ganancia del productor y un producto de calidad para el consumidor final.

6.2.- Limitaciones.

Es importante señalar que para tener un adecuado programa de fertilización del cultivo es necesario tomar en cuenta otros elementos que están directamente involucrados en desarrollo fenológico y productivo de la planta. Debido a que el monitoreo llevé a cabo se enfoca solo en dos elementos, que son el potasio y el calcio, esto se convierte en una gran limitante, ya que solo se podrían hacer correcciones nutrimentales de estos dos elementos basados en el análisis de savia, y haciendo para los demás solo un diagnostico visual. Alcantar y Trejo (2007) señalan que un diagnostico visual presenta una serie de limitantes como:

- 1.- No diagnosticar el “hambre oculta” de las plantas.
- 2.- La dificultad de distinguir entre varios síntomas presentes en la planta.
- 3.- Confundir un síntoma de deficiencia con algún daño causado por alguna plaga o enfermedad.

Es por ello que el monitoreo de solo estos dos elementos limita la corrección acertada y precisa de los demás elementos que son necesarios para el éxito productivo de la planta.

VII. Fundamento teórico.

7.1.- Importancia del chile habanero

De acuerdo a Ramírez y Vásquez (2007), los chiles se han convertido en la hortaliza de mayor crecimiento en los últimos años a nivel mundial, dentro de éstos está el chile habanero, que se ha expandido de su área tradicional de consumo, la península de Yucatán ha conquistado los mercados del resto del país y del resto del mundo.

Según algunos datos relevantes, la superficie mundial sembrada de chiles asciende a 1,696,891 hectáreas, con una producción de 25,015,498 toneladas, con un rendimiento medio de 14.74 ton/ha (Ramírez y Vásquez 2007).

En México, el 90% de la superficie se ubica en estados de la Península de Yucatán en un área que fluctúa entre las 750 y las 900 hectáreas (Trujillo y Pérez, 2004). De 1993 a 2004 el volumen de las importaciones se incrementó 128% mientras que su valor lo ha hecho en 196%. Las exportaciones han aumentado, en ese mismo periodo en un 106% mientras que su valor económico ha ascendido en un 193% (Ramírez y Vásquez 2007).

Para 2004, México se fue el principal exportador de chiles del mundo, con un volumen de 432,960 toneladas, seguido de España y Holanda; juntos abarcaron más del 64% del volumen y 73% del valor económico de las exportaciones mundiales (Trujillo y Pérez 2004).

7.2.- Importancia de la nutrición en la plantas.

La nutrición vegetal, nutrición de cultivos o nutrición mineral es una disciplina de la fisiología vegetal y de la ciencia del suelo que se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción y asimilación de nutrimentos por las plantas superiores, así como de los factores que las afectan y su relación con la producción y la calidad de las cosechas (Alcantar y Trejo 2007).

Las plantas sintetizan sus compuestos metabólicos y estructurales con determinados elementos que se encuentran en el medio que los rodea como el suelo, el aire y el agua, de esta manera estos elementos que utiliza la planta para sus distintas síntesis y funciones vitales constituyen los nutrientes (Rodríguez, 1996).

Para el crecimiento normal de las plantas se consideran en la actualidad únicamente a 17 elementos como esenciales, incluyendo, por supuesto, al carbono oxígeno e hidrogeno (Alcantar y Trejo 2007). Para que un elemento sea considerado como esencial (nutrimento), debe cumplir con los siguientes requisitos según Arnon y Stout (1939):

- a. Con la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y esta es incapaz de completar su ciclo vital
- b. Los síntomas de deficiencia deben de ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente (el elemento en cuestión no puede ser sustituido o reemplazado por otro).
- c. Las funciones o su influencia sobre el metabolismo de la planta deben ser conocidos.
- d. El elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta.

Tomando en consideración los criterios anteriores, los elementos que son considerados como indispensables para las plantas son, además del carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O): el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cloro (Cl). Estos a su vez están divididos en macronutrientes y micronutrientes de acuerdo con la cantidad absorbida por las plantas (Raven, Evert y Eichhorn, 1992). Los macronutrientes se subdividen a su vez en primarios y secundarios, los primarios son: N, P, K, y los secundarios son: Ca, S y Mg. Los micronutrientes son elementos absorbidos en menores proporciones, los cuales son; Cl, B, Zn, Mn, Cu, Mo y Fe, estos se miden en miligramos por litro (mg/l) o en partes por millón (ppm) que representan la misma concentración.

Las funciones de los elementos esenciales en la planta varía para cada nutrimento, pero todos ellos tienen, al menos un papel esencial en algún proceso fisiológico como activador de una enzima o como constituyente de algún metabolito. Alcantar y Trejo (2007) señalan que las funciones que realizan los elementos nutritivos en la vida de la planta pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

1. Estructural: el elemento forma parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos.
2. Constituyente de enzima: esta función se trata de un caso particular del primer, ya que se refiere a elementos, generalmente metales o elementos de transición que forman parte del grupo prostético de enzimas y que son esenciales en las actividades de las mismas.
3. Transporte y regulación osmótica: el nutrimento forma enlaces de baja energía con moléculas orgánicas de bajo peso molecular, para favorecer su movilidad de un órgano a otro.

De esta forma la Nutrición Vegetal, como disciplina agronómica, contribuye al incremento de la producción agrícola y conduce a la obtención de productos de alta calidad, mediante un uso racional de los fertilizantes sintéticos y de los abonos orgánicos, promueve el aprovechamiento óptimo de éstos y del agua, con lo cual se evita el impacto ambiental de los mismos.

7.3.- Movilidad de calcio y potasio en la planta.

Alcantar y Trejo (2007) mencionan que una de las principales características del potasio es que es un elemento móvil, es decir, que puede movilizarse fácilmente de las hojas maduras a las que están en pleno crecimiento, esto es, a las más jóvenes. Por su parte Rodríguez (1996) señala que la carencia de un elemento móvil, como el potasio, puede ser detectada en las hojas viejas de la planta, esto debido a que la planta ya trasladó sus propios nutrientes desde las hojas más viejas hacia las más jóvenes u otros órganos recientes, denunciando la carencia del elemento.

El calcio, por su parte, es un elemento inmóvil que se fija a ciertas partes de la planta y no se traslada desde las hojas viejas a las hojas nuevas, de esta forma la carencia de calcio se verá reflejada en las hojas más jóvenes de la planta (Rodríguez, 1996).

7.4.- Funciones del potasio (K) en la planta.

El potasio representa el catión que es absorbido en mayor cantidad por las plantas (Alcantar y Trejo 2007). Este interviene fisiológicamente en los siguientes procesos: síntesis de azúcar y almidón, traslado de azúcares, síntesis de proteínas, interviene en la estimulación enzimática (Rodríguez, 1996).

Una parte considerable del K total en la planta se presenta como ion libre a nivel de vacuola y citoplasma, el cual en conjunto con los demás productos en solución genera una presión osmótica, lo cual propicia que el agua de los vasos del xilema, debido al gradiente osmótica penetre la célula y origine así el turgor en ella, siendo esta una de las principales funciones del K en la planta de disminuir rápidamente este turgor influirá de forma negativa en el metabolismo general de la planta y viéndose reflejado esto en el rendimiento final del cultivo (Alcantar y Trejo 2007).

Existen, igual, evidencias que el potasio se acumula en la superficie de los cloroplastos y que durante el proceso de la fotosíntesis penetra en ellas, esto nos indica que el K constituye un factor indispensable en el proceso de la fotosíntesis (Pier y Berkowitz, 1987). Además, tanto la fosforilacion fotosintética como la oxidativa requieren de potasio para poder realizarse (Wu et al., 1991).

El K promueve una eficiente translocación de fotosintatos desde las hojas y por otro lado la fotosíntesis disminuye cuando los asimilados se acumulan en la hoja, por lo que una rápida exportación de fotosintatos, unidos al potasio podría ser importante para mantener una alta tasa de fotosíntesis neta en las hojas (Kilmer et al., 1968).

En la actualidad se conocen más de 50 sistemas enzimáticos diferentes que son activados, en mayor o menor medida de especificidad por el potasio (Epstein, 1992). El K actúa como factor asociado principalmente a las enzimas (cinasas y oxidoreductasas) que involucran el ATP o bien al NAD o NADP como coenzimas. El potasio, también, favorece la liberación de las proteínas sintetizadas en los ribosomas y facilita la unión de ARNm con el ribosoma.

El potasio es probablemente el elemento que alcanza las concentraciones más altas en la plantas, exceptuando el carbono y el oxígeno. Cuando su concentración en el suelo es muy alta, puede llegar a representar el 10% del peso de la planta secada al horno (Raven, Evert y Eichhorn, 1992). Aunque por lo general su concentración más usual en las plantas sanas en porcentaje del peso en seco va del .5 al 6%.

7.5.- Trastornos y síntomas por deficiencia y toxicidad del potasio en la planta.

Deficiencias de potasio pueden ocasionar los siguiente trastornos: disminución de la fotosíntesis, disminución del traslado de los azúcares a la raíz, acumulación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, pues no se produce una síntesis de proteínas, aparición en las células de las hojas de sustancias catabólicas, como la putrescina, que inicia los procesos de muerte celular y de tejidos, es decir la necrosis de los tejidos vivos, se promueve la susceptibilidad al ataque de los hongos pues disminuye la presión osmótica de las células, favoreciendo la entrada de los patógenos (Rodríguez, 1996).

Los síntomas que presentan los vegetales ante la deficiencia de potasio se pueden generalizar en reducción general del crecimiento, los tallos y la consistencia general de la planta son de menos resistencia física y presentan un menor vigor de crecimiento, los frutos y semillas reducen su tamaño y calidad por una deficiencia en la síntesis, las hojas tienden a “enruñarse”, amarillean los márgenes y luego se necrosan, las manchas avanzan hacia el centro de hoja tornándose marrones, los síntomas aparecen primero en las hojas inferiores y luego en las superiores (Rodríguez, 1996).

La abundancia de este elemento según Rodríguez (1996) se manifiesta en las siguientes características: mayor crecimiento y vigor, buen desarrollo de flores, frutos y semillas, resistencia al frío y enfermedades criptogámicas, aumento en la calidad de los frutos.

Sin embargo según Mills y Jones (1996) las plantas con exceso de K presentan frecuentemente deficiencias de Mg y Ca, debido a que se inducen desbalances nutrimentales, los cuales interfieren en la relación óptima de K/Mg y K/Ca si estos dos nutrimentos están por debajo de sus rangos de suficiencia.

7.6.- Funciones del calcio (Ca) en la planta.

El calcio forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células regulando la presión osmótica de la misma. Interviene en la formación de la lecitina, que es el fosfolípido importante en la membrana celular, siendo un factor importante en la permeabilidad de estas membranas. Igualmente actúa en la división mitótica de las células, en el crecimiento de los meristemos y en la absorción de nitratos (Rodríguez, 1996).

El calcio puede presentarse en las plantas como ion libre o en forma absorbida, aunque además se conocen varias sales de Ca, las cuales se encuentran en la vacuola o como incrustaciones en la pared celular. En general las necesidades de calcio son bajas en comparación con el potasio, y en la célula se distribuye de la siguiente manera: vacuola > pared celular > retículo endoplasmático > plasmalema > citoplasma (Alcantar y Trejo 2007). El calcio puede participar notablemente en el equilibrio electrostático de la célula debido a la alta cantidad que normalmente se encuentra en las vacuolas, contribuyendo al balance de aniones-cationes.

Es importante resaltar la tendencia del ion Ca^{2+} a formar compuestos quelatados. Por ejemplo, el incremento en la elasticidad de las paredes celulares favorecido por el Ca^{2+} , es debido a que este forma un complejo quelatado muy estable unido a los pectatos de la lamela media (Marschner, 2002).

El calcio también es activador en la elongación y multiplicación celular en los tejidos meristemáticos. Según Marschner y Richter (1973) cuando se suspende el suministro de calcio, en unas cuantas horas se detiene el crecimiento de la raíz de la planta, además es necesario en la germinación y crecimiento de los tubos polínicos. El calcio desempeña, por lo general, funciones estructurales, así el pectato calcio es un elemento formativo de la lamela media, estructura sobre la cual se construye la propia pared celular (Marschner, 2002). De igual forma el Ca es importante en la formación de membranas celulares y estructuras lipídicas. El calcio, además, es requerido por el mecanismo selectivo de absorción del plasmalema, ya que aparentemente mantiene la integridad de la membrana (Hewit, 1983).

Según Hewit (1983) el calcio es necesitado en pequeñas cantidades para que se realice la mitosis, sugiriendo la posibilidad de que este intervenga en la organización de la cromatina o del huso acromático del aparato mitótico. El calcio también actúa como segundo mensajero en, entre los factores del ambiente y las respuestas de la planta en términos de desarrollo y crecimiento.

Lucena (1992) hizo referencia que el calcio se encuentra en mayor proporción en hojas y tallos que en semillas y frutos y que sus contenidos dependen directamente del calcio asimilable presente en el entorno radical y de la presencia de otros cationes en la disolución (que interaccionan en su absorción). Los altos contenidos presentes en plantas superiores están más relacionados con los elevados niveles presentes en la disolución del suelo que con la eficacia del mecanismo de absorción cálcica por las células de la raíz (Kazda y Weilgony, 1988).

7.7.- Trastornos y síntomas de deficiencia y toxicidad del calcio en la planta.

Las carencias de calcio se manifiestan según Rodríguez (1996), con una menor capacidad de síntesis de proteínas en la plantas, menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas principalmente jóvenes, poco crecimiento de los tallos y hojas, produciéndose además, una muerte de los meristemos, la planta se muestra menos crecida y desarrollada.

Alcantar y Trejo (2007) coinciden con lo anterior al señalar que la deficiencia de calcio está caracterizada por una reducción en el crecimiento de los tejidos meristemáticos. La deficiencia ocurre primeramente en los meristemos apicales y hojas jóvenes debido a que el calcio es muy poco móvil en la planta. Las hojas que presentan deficiencia de calcio son deformes y cloróticas, y en etapas posteriores estas pueden necrosarse en los márgenes. Las deficiencias temporales de Ca pueden ocurrir cuando los niveles de este elemento en el xilema son bajos, debido a la reducción en la tasa de transpiración ocasionada por la alta humedad relativa, días nublados o poca disponibilidad del agua. Los síntomas por exceso de calcio son poco comunes pero aparecen principalmente como deficiencias inducidas de magnesio y potasio (Alcantar y Trejo, 2007).

Cualquier factor que impida el crecimiento de nuevas raíces (aireación pobre, temperaturas bajas, enfermedades o plagas del suelo, etc.), puede inducir la deficiencia de calcio. Esto puede explicar que desórdenes relacionados con el calcio se produzcan a menudo en suelos adecuadamente provistos de calcio, y que las condiciones agroclimáticas puedan ser el factor decisivo (Bangerth, 1979).

7.8.- Niveles de abastecimiento nutrimental.

La relación entre la disponibilidad nutrimental en el medio de crecimiento y el contenido del nutrimento en la planta, es usada junto con los métodos de análisis foliar y de planta para diagnosticar la disponibilidad nutrimental en el suelo, ya que la planta necesita un cierto nivel de cada nutrimento en sus tejidos para un buen crecimiento y desarrollo. Un concepto básico en la interpretación del estado nutrimental de los cultivos, mediante el análisis de los tejidos es el nivel crítico, definido como aquella concentración de un nutrimento en el tejido justo debajo del nivel de crecimiento óptimo (Alcantar y Trejo 2007).

Los valores límite o críticos se refieren a la concentración del elemento en la planta, por arriba de la cual no habrá respuesta a la fertilización o en algunos casos a la concentración debajo de la cual se presentaran síntomas de deficiencia y por consiguiente la disminución del rendimiento. Según Bennet (1994) el nivel crítico de potasio en la planta es de $<10 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ y un intervalo de suficiencia de $10\text{-}50 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, para el caso del calcio el nivel crítico es de $<1 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, mientras que el intervalo de suficiencia es de $1\text{-}10 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$.

7.9.- Análisis de savia.

7.9.1.- Características y ventajas.

Según Aldrich (1993) el propósito del análisis de las plantas son los siguientes:

- 1.- Diagnosticar o confirmar diagnosis de síntomas visibles.
- 2.- Identificar deficiencias ocultas.
- 3.- Identificar áreas de deficiencias incipientes.
- 4.- Indicar cual nutrimento aplicado entra en la planta.

Una de las formas más efectivas para diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos, lo constituye el análisis de savia, este material denominado savia corresponde al jugo extraído de los tejidos conductores de la planta (Cadahía, 1999), este diagnóstico nos permite establecer el origen de una anomalía en nutrición (deficiencia y/o exceso) en los cultivos de interés agrícola.

Cadahía (1999) realiza en comparativo de las ventajas que ofrece el análisis savia con respecto al análisis foliar, llegando a las siguientes conclusiones:

- 1.- El análisis de savia permite obtener una información precoz y rápida del potencial nutritivo del medio de cultivo.
- 2.- Se da una respuesta rápida a cualquier problema coyuntural de nutrición en el medio de cultivo, con la posibilidad de realizar correcciones de nutrición desde las primeras etapas del ciclo de cultivo.
- 3.- Se tiene un control de deficiencias y excesos de nutrientes en cada etapa fenológica de la planta.
- 4.- Se puede controlar la salinidad según la sensibilidad del cultivo.
- 5.- El análisis de savia permite crear niveles de referencia de formas químicas relacionadas con índices de reservas del cultivo (aminoácidos, proteínas, glúcidos, etc.).
- 6.- Con el análisis de savia se permite relacionar los nutrientes en savia con las características del suelo o sustrato con el fin de conocer la causa de un problema de nutrición.

Por último, también, señala que el análisis de savia esta menos afectado por los efectos de concentración y dilución que el análisis foliar y por tanto ofrece la posibilidad de un diagnóstico más correcto.

Cadahía (2005) sugiere que para la toma de muestras para la realización de un diagnóstico nutrimental de la planta de Chile es conveniente utilizar las hojas más jóvenes totalmente maduras desde la floración. Lo anterior debido a que la composición mineral de la planta varía durante el ciclo del cultivo, es decir, es muy variable en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

7.10.- Análisis químico de savia

7.10.1.- Toma, preparación de muestras y análisis.

Es importante que la muestra a recolectar debe ser representativa de una parcela. Se debe una cantidad suficiente de tejido conductor que nos proporcione unos 10 ml de savia, también es conveniente que desde la toma de muestra hasta su traslado al laboratorio transcurra el menor tiempo posible. Una vez en este, se procederá a separar el tejido conductor de las hojas, para posteriormente limpiarlo con algodón humedecido con agua destilada, se seca con papel de filtro, se trocea en fracciones de uno y dos centímetros, se introduce en éter etílico para cortar el metabolismo y extraer la clorofila y se deposita en el congelador de una nevera a unos -20 o -30 °C, manteniéndolo ahí por un tiempo ilimitado (Cadahía, 1999).

La extracción se realiza después de descongelar la savia del frigorífico. Se separa el éter en embudo de decantación aprovechando la no miscibilidad de la savia y el éter. Se prensan los trozos de tejido en una pequeña prensa de plástico rígido y el jugo así obtenido se añade al embudo de decantación para separar el éter. La savia situada en la parte inferior del embudo de decantación se filtra y se almacena en el congelador para a -20 o -30 C°, para ser analizada posteriormente (Cadahía, 1999).

Cadahía (1999) señala que una vez realizada la extracción de savia, se toman las alícuotas de la savia líquida para la determinación del N total y azúcares totales. Para la determinación de P, K, Ca, Mg, NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- y B se diluye la savia previamente al análisis según las concentraciones correspondientes. Para la determinación de N total, azúcares totales, P y B se utiliza el método de calorimetría, la determinación de K, Ca, Mg, NH_4^+ puede hacerse por absorción atómica o cromatografía iónica, y por último para determinación de NO_3^- Cl^- se puede hacer por electrodos selectivos o cromatografía iónica.

7.11. Análisis electrónico de savia.

7.11.1.- Características del equipo de análisis de potasio.

El medidor de potasio LAQUA Twin (figura 3) es un medidor bolsillo de alta precisión, a prueba de agua, con automática compensación de temperatura, y apagado automático, que puede ser llevado directamente al campo, es un equipo de grado profesional que puede medir el potasio de soluciones de nutrientes, muestras de hojas, agua, muestras de tejido vegetal y hojas (savia), cuyo principio de medición es el de electrodo de iones. Este equipo tiene una capacidad de medición que va desde los 39 a 3900 ppm y cuya exactitud en los resultados está bien correlacionados con los análisis de laboratorio. El diseño de su sensor de punta plana permite medir con precisión muestras tan pequeñas como 0.3 ml. El sensor tiene que almacenarse seco una vez utilizado el equipo y tiene la ventaja que también son reemplazables (www.sbk-mexico.com).



Figura 3. Medidor de potasio LAQUA Twin.

7.11.2.- Características del equipo de análisis de calcio.

El medidor de Calcio LAQUA Twin (figura 4) es un medidor bolsillo de alta precisión, resistente al agua, con calibración digital, con automática compensación de temperatura, y apagado automático, que puede ser llevado directamente al campo, es un equipo de grado profesional que puede medir el calcio de soluciones de nutrientes, muestras de hojas, agua, muestras de tejido vegetal y hojas (savia). Este pequeño equipo puede realizar mediciones desde 40 a 4,000 ppm y cuya exactitud en los resultados está bien correlacionada con los análisis de laboratorio. El diseño de su sensor de punta plana permite medir con precisión muestras tan pequeñas como 0.3 ml. El sensor tiene que almacenarse seco una vez utilizado el equipo y tiene la ventaja que también son reemplazables (www.colsistem.com).

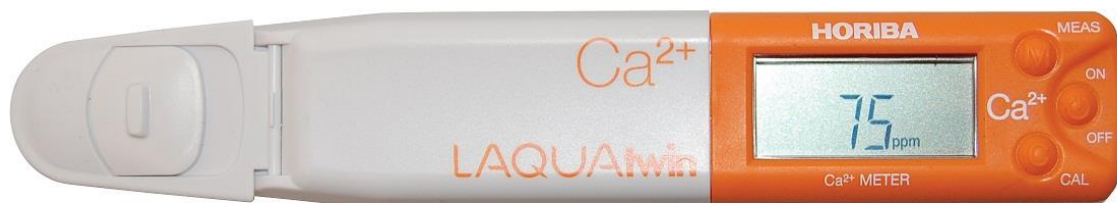


Figura 4. Medidor de Calcio LAQUA Twin.

VIII.- Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

8.1.- Siembra.

La siembra de las semillas se realizó el día 12 de agosto del presente año en tres charolas de poliestireno de 200 alveolos y una más de 120, las cuales fueron rellenas de una mezcla de Peat Mos (Turba comercial) y agua, para después proceder a la siembra de la semilla, se aplicó también un Previcur a una dosis de 2ml por litro de agua para evitar la aparición de hongos (figura 5). Posteriormente las charolas fueron cubiertas con papel periódico y envueltas con una bolsa negra, para acelerar el proceso de germinación y llevadas al laboratorio de agua-suelo-planta del instituto, donde permanecieron por 6 días (figura 6).

Después de este tiempo fueron llevadas al local que ocupa la hidroponía del instituto, donde permanecieron dos semanas y después fueron llevadas al túnel, allí se dejaron el tiempo que restaba para su trasplante. Cada tres días se realizó una fertilización foliar a las plántulas, con un fertilizante arrancador para plántulas y trasplantes a base de cristales solubles en una dosis de dos gramos por litro de agua.

8.2.- Trabajo realizado en invernadero.

Se procedió al chapeo de las malas hierbas que crecían en el interior y exterior del invernadero con azadón y machete. Los restos del interior y de la periferia fueron retirados de la cercanía del área de producción. Posteriormente se realizó la desinfección con cloro de la malla anti-afida y de la malla sombra y se dio un lavado a las mismas con una bomba de presión de agua. En el transcurso del experimento se continuaron realizando deshierbes manuales, para evitar la proliferación de malezas y que estas a su vez fueran hospederos de plagas.

Se instalaron dos líneas de manguera con 15 nebulizadores cada una, una en cada lado del invernadero, con el fin de amortiguar la temperatura en el interior del mismo. Se instalaron llaves de paso en las iniciales de las tuberías secundarias, para tener riegos independientes a los nebulizadores (figura 7). Otra de las técnicas utilizadas para disminuir el impacto de la temperatura fue poner la malla sombra en el exterior del techo del invernadero (figura 8).

8.3.- Preparación del sustrato de siembra.

Se recolectó suelo en el mismo instituto (figura 9), en un área que años atrás fue utilizada para la siembra de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). Se trajo al invernadero, donde se mezcló con gravilla, para posteriormente crear las hileras de siembra (figura 10). Se realizó, también el análisis de este suelo, para conocer su estado nutrimental.

8.2.- Trasplante.

El trasplante se realizó el día 27 de septiembre del año en curso, a los 46 días después de la siembra, cuando las plantas poseían una altura entre 15 y 18 centímetros. Se trasplanto a doble hilera tres bolillo con una distancia aproximada de 50 cm entre planta y 40 cm entre hilera, con 1.2 centímetros entre calles. En total se trasplantaron 290 plantas, a razón de una planta por gotero. (Figura 11)

8.4.- Programación de riego.

Se regó de manera manual dos veces al día por cinco minutos, durante los primeros 20 días después del trasplante, con un gasto aproximado de 300 ml de agua por planta al día. Después de pasado este tiempo, se programó el Timer para efectuar 5 riegos al día por un lapso de 5 minutos, regando a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 con un gasto aproximado de 1 litro de agua por planta al día. En días muy soleados se activaron los nebulizadores a las 12:10 y 14:10 horas para amortiguar la temperatura en el interior del invernadero. En días nublados o con lluvias no se regaron las plantas, debido a la falta de transpiración de la planta, lo que hace inútil el riego de las mismas.

8.5.- Programa de fertilización.

El programa de fertilización fue el siguiente:

DEMANDA DE NUTRIENTES			N	P2O5	K2O	CaO
ESTABLECIMIENTO-FLORACION						
11	30	DIA	1	1.5	1.1	0.5
20		ETAPA	20	30	21	9
DESARROLLO DE FRUTO						
31	60	DIA	2	1	3	1
30		ETAPA	60	30	90	30
MADURACION DE FRUTO-COSECHA						
61	120	DIA	3.5	1	5	1
60		ETAPA	210	60	300	60
COSECHA						
121	180	DIA	3.5	1	5	2
60		ETAPA	209	60	300	120
COSECHA						
181	240	DIA	3.5	1	5	2
60		ETAPA	209	60	300	120

8.6.- Diseño experimental.

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con 20 repeticiones, utilizando dos tratamientos (T1: Humus de lombriz, T2: Acido Húmico). La dosis de humus de lombriz fue de una sola aplicación de 40 g la base del tallo de las plantas a estudiar. Para el tratamiento dos consistente en acido húmico, la dosis fue de una sola aplicación foliar de 250 ml de ácido húmico en 5 litros de agua, aplicadas a las plantas a muestrear. Ambas fertilizaciones se realizaron a los 40 días después del trasplante. Las variables a medir fueron: altura de la planta, grosor del tallo, contenido de potasio y calcio en savia de la hoja.

8.7.- Mediciones de tallo y altura.

Las mediciones del tallo y altura se empezaron a realizar a los 40 días después del trasplante, realizando una medición por semana. Para la medición del tallo se utilizó un vernier digital, se midió el grosor del tallo bajo, medio y superior, posteriormente se promediaron estos resultados para así obtener el crecimiento aproximado. La altura de la planta fue medida con ayuda de una cinta métrica, tomando como referencia la rama más alta de la planta.

8.8.- Toma de muestras y análisis de savia.

La toma de muestras se realizó tomando las hojas más jóvenes totalmente maduras como lo propone Cadahía (2005). Se tomaron suficientes hojas por planta para tener al menos un mililitro de savia bruta por muestra, se procuró, también, que el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y el traslado al laboratorio fuera el menos posible, tal como lo sugiere Cadahía (1999). Una vez en el laboratorio se calibró el equipo de medición de calcio LAQUA Twin y el medidor de potasio LAQUA Twin con una solución estándar de 2000 ppm. Seguidamente se enjuagaron las hojas con agua destilada y se procedió a extraer la savia contenida en ella con ayuda de un mortero. Posteriormente se tomó un mililitro de savia y se diluyó en 9 ml de agua destilada, se agitó y se extrajo la cantidad suficiente de solución para depositarlo en el sensor de lectura de los equipos de medición, el resultado de la medición fue multiplicado por diez, para obtener el valor real de potasio y calcio en la hoja. Se repitió el mismo procedimiento para las 40 muestras. (Figura 12)

IX.- Resultados y discusiones.

Los datos obtenidos en las mediciones se corrieron en el programa estadístico SigmaPlot, utilizando la prueba de comparación de medias de T-student.

9.1.- Comparación de medias de altura.

De acuerdo al análisis de comparación de medias de T-student para la altura se obtuvo un $\alpha=.5592$, por lo que se concluye que no existen diferencias significativas sobre la altura debido a la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico. Lo anterior se puede observar en la figura 13.

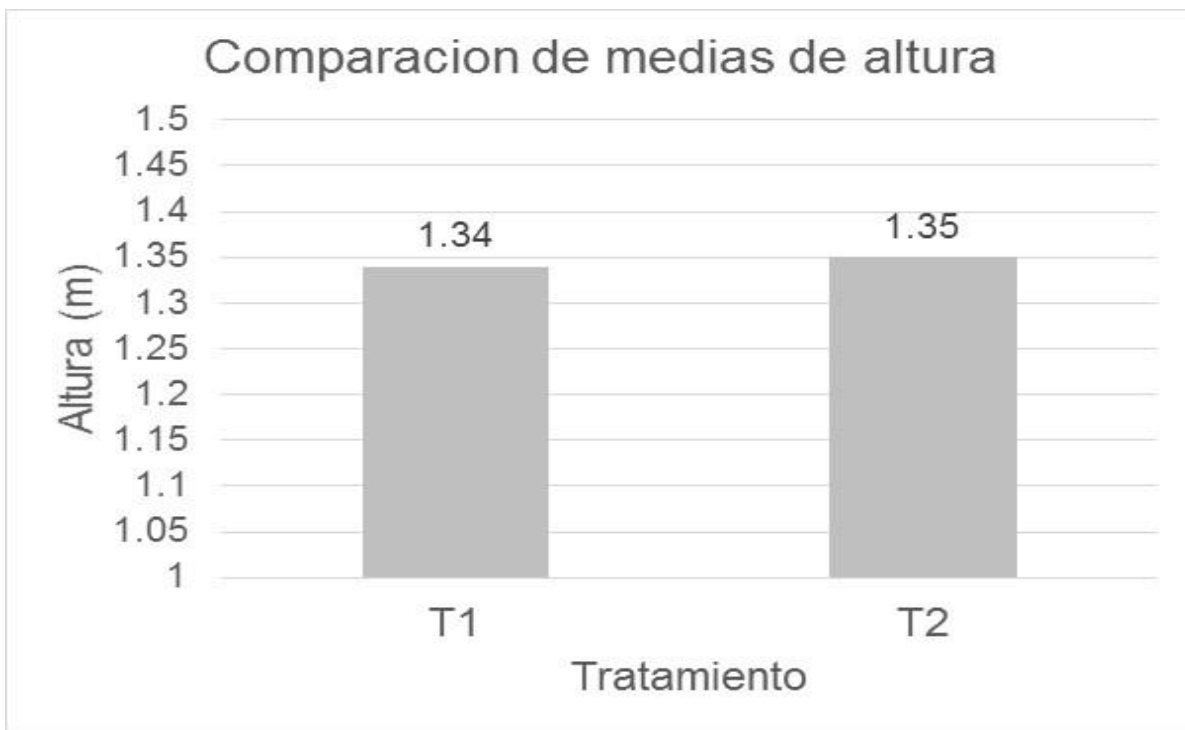


Figura 13. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

9.2.- Comparación de medias del tallo.

Según el análisis de comparación de medias de T-student para el grosor del tallo se obtuvo un nivel de significancia de .5002, por lo que se puede concluir que no existen diferencias significativas en el grosor del tallo de la planta entre la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico. Esto se puede ver en la figura 14.

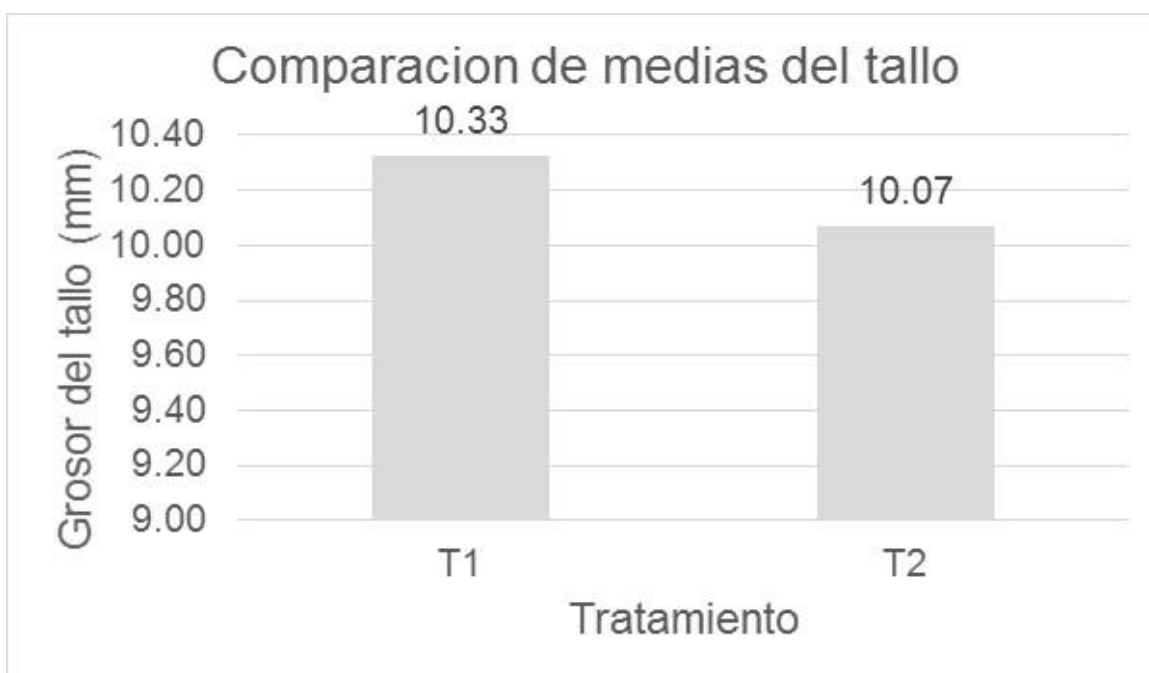


Figura 14. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

9.3.- Comparación de medias del contenido de K.

Una vez realizada la prueba de comparación de medias de T-student para el caso del contenido de potasio en extracto de hojas del chile habanero, se obtuvo un $\alpha=.0080$, por lo que se puede concluir que si existe un efecto en el contenido de K en la planta debido a la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico. Se puede concluir, también, que el humus de lombriz tiene un mayor efecto en la concentración de potasio en la planta (figura 15).

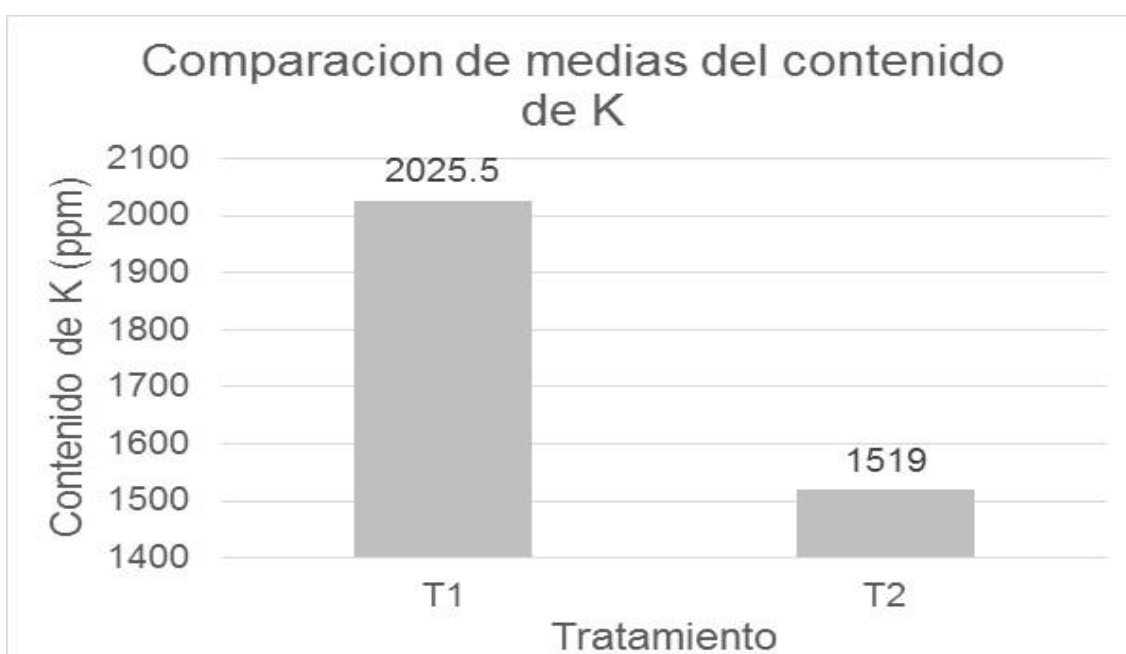


Figura 15. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

9.4.- Comparación de medias del contenido de Ca.

De acuerdo a la comparación de medias de T-student en relación al contenido de calcio en extracto de hojas de chile habanero, se obtuvo un $\alpha=.9382$, por lo que se puede concluir que no existen diferencias significativas en el contenido de Ca por efecto de la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico (figura 16).

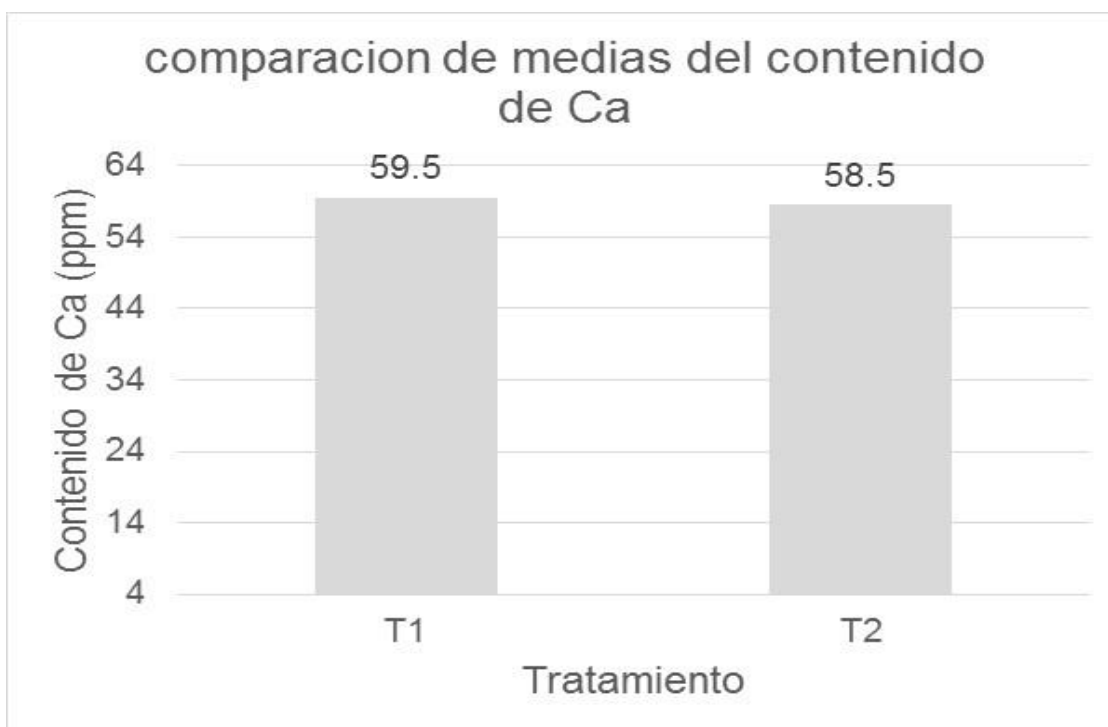


Figura 16. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

9.5.- Comparativo de crecimiento de la altura por semana entre T1 y T2.

Una vez analizado el crecimiento de la altura por semana se puede corroborar, que no existen efectos en el crecimiento en la altura de la planta por efecto de la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico (figura 17)

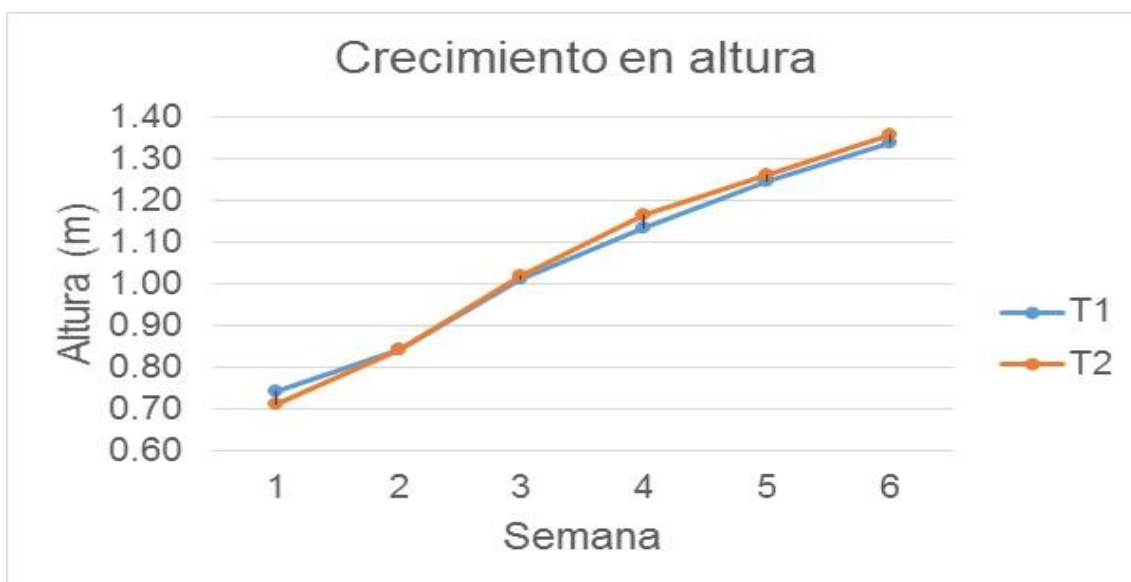


Figura 17. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

9.6.- Comparativo de crecimiento del tallo por semana entre T1 y T2.

Una vez analizadas las medias del crecimiento del tallo por semana, se puede concluir que no existen diferencias significativas por efecto de la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico en el crecimiento del grosor de tallo. (Figura 18)

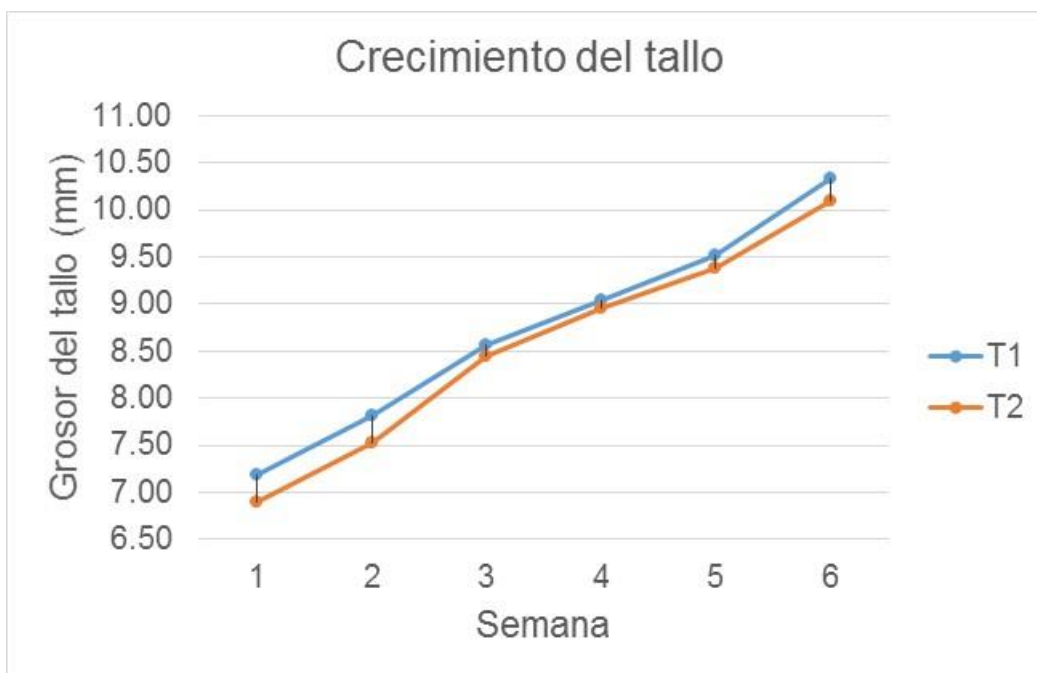


Figura 18. T1. Humus de lombriz, T2: Acido Húmico.

X.- Conclusiones y recomendaciones.

10.1.- Conclusión

Una vez analizados los datos con la prueba de T-student se puede concluir que no existen diferencias significativas en el crecimiento del tallo, la altura y el contenido de calcio en la planta por efecto de la aplicación de humus de lombriz y ácido húmico, sin embargo el contenido de potasio en la planta se ve incrementado por la aplicación de humus de lombriz, esto se puede deber a la movilidad que tiene este elemento dentro de la planta (Alcantar y Trejo, 2007).

10.2.- Recomendación

Con lo anterior se puede decir que la utilización del humus de lombriz podría ser una buena opción de fertilización si lo que se desea es aumentar la concentración de potasio en la planta, pudiendo corregir alguna deficiencia de calcio con una fertilización foliar de Poliquel Ca.

XI.- Fuentes de información.

- Alcántar G. G. y Trejo, T. L. I. 2007. Nutrición de Cultivos. Edit. Mundi Prensa México, S. A. de C. V. y Colegio de Posgraduados. México. 7-243 p.
- Aldrich, S. R. 1973. Plant analysis: Problems and oportunities. In Walsh, L. M. and J.D. Beaton (ed.s) Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wi. 213-223 p.
- Arnon, D. I. y P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants wiht special reference to copper. Plant Physiol. 14: 371-375.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. Annu. Rev. Phytopatol. 17: 97-122.
- Bennett, W. F. 1994. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Cadahía, C. 1999. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 233-237 p.
- Cadahía, C. 2005. Fertilización: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3era ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 223-249 p
- Epstein, W. 1992. Kdp a bacterial P-type ATPpase whose expression and activity are regulated by turgor pressure. Acta Physiol. Scand. Suppl. 607: 193-199.
- Hewit, E. J. 1983. A perspective of mineral nutrition.: essential and functional metals in plants. Pp. 227-323. In: D. A. Robb y W. S. Pierpoint (eds). Metals and Micronutriens: uptake and utilization by plants. Academic Press, New York.
- KAZDA, M. and WEILGONY, P. 1988. Seasonal dynamics of major cations in xylem sap and needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in stands with different soil solution chemistry. Plant & Soil 110(1): 91-100.
- Kilmer V. J., S. E. Younts, y N. C. Brady. (eds.). 1968. The role of potassium in agricultura. Amer. Soc. Agron. Madison, USA.

- Lucena, J. J. 1992. El calcio en la nutrición de las plantas. Hortofruticultura. ISSN: 1130-1678. 10: 76-83.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2da ed. Academic press. London, U. K. 889 p.
- Marschner, H. y C. Ritcher. 1973. Akkumulation und translokation von K^+ , Na^+ und Ca^+ bei Angebot zu einzelnen Wurzeln von Maiskeimpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 135: 1-15.
- Pier, P. A. y G. A Berkowitz. 1987. Modulation of wáter stress affets on photosynthesis by altered leaf K^+ . Plant Physiol. 85: 655-661.
- Ramírez, M. M., Vázquez G. E. 2007. Potencial de producción del chile Ramírez M. M., Vázquez G. E. 2007. Potencial de producción del chile. INIFAP-Campo Experimental Sur de Tamaulipas. Apartado Postal No. 31, Altamira, Tamaulipas., CP 89601, México.
- Raven, P.H., Evert, R.Y. y Eichhorn, S.E. (1992). "Biología de las Plantas". Vol. II. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 518, 519 p.
- Rodríguez, F. 1996. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Tercera reimpresión. México, D.F. 11-103 p.
- Trujillo A., J. J. G. y Pérez L. L., C. 2004. Chile habanero Capsicum chinense. L. Diversidad Varietal. Campo Exp. Uxmal, CIRSEINIFAP. Folleto Técnico. 24 p.
- Wu, W., J. S. Peters, y G. A Berkowitz. 1991. Surface charge mediated affects of mg on K^+ flux accros the chloroplast envelope are associated whit regulation of stromal pH and photosynthesis. Plant Physiol. 97: 580-587.
- Colsistem. (s.f). Catálogo de productos. Recuperado: diciembre 11, 2014, de Colsistem Sitio web: <http://www.colsistem.com/catalogo-de-productos/manejo-de-nutrientes/medidores-de-na-k-ca/medidor-de-calcio-laqua-twin-calcio-ca2-detail>.
- Sbkmexico. (s.f). Catálogo de productos. Recuperado: Diciembre 11, 2014, de Sbkmexico Sitio web:http://www.sbkmexico.com/catalogo/product_info.php?cPath=172_180&products_id=1454.

XII.- Anexos.



Figura 5. Siembra de semillas.



Figura 6. Envoltura de las charolas.



Figura 7. Instalación de la malla sombra



Figura 8. Instalación de llaves de paso.



Figura 9. Recolección de suelo.



Figura 10. Creación de hileras.



Figura 11. Trasplante.



Figura 12. Toma y extracción de muestras