

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto del Balance K, Ca, Mg en la Solución Nutritiva en Pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo un Sistema de Cultivo sin Suelo.

Por:

SERGIO VÁZQUEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Balance K, Ca, Mg en la Solución Nutritiva en Pepino (*Cucumis sativus*
L.) bajo un Sistema de Cultivo sin Suelo

Por:

SERGIO VÁZQUEZ HERNÁNDEZ

TESIS


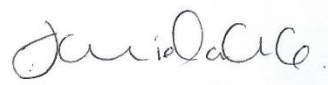

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal


Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor
Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor
Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019



AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por la vida que me ha dado, por permitirme vivir y aprender de cada experiencia que ha sido única en mi vida siempre acompañándome y cuidándome de ellas, por permitirme terminar una meta más en mi vida pero sobre todas las cosas por darme una familia hermosa que no cambiaría por nada.

A mi **ALMA TERRA MATER** la gloriosa **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Por abrirme las puertas de ésta, que fue mi casa a lo largo de mi carrera profesional, por permitirme aprender en cada día, en cada aula, porque gracias a ella he conocido personas extraordinarias, porque aquí en mi **Alma Terra Mater** he pasado momentos que quedaran grabados, momentos que jamás olvidare, gracias por brindarme las herramientas necesarias para contribuir en el desarrollo del sector agrícola, sector donde con sabiduría te representare y con orgullo portare tus colores Oro y Negro de un BUITRE de la NARRO... ¡**ALMA TERRA MATER!** ¡**ALMA TERRA MATER!**!

A mis **PADRES: SERGIO VÁZQUEZ RAMÍREZ Y CECILIA HERNÁNDEZ BARRÓN.**

Primeramente, quiero agradecerles por darme la vida, por educarme y forjarme para ser el hombre que ahora soy, gracias por ser mis mejores maestros de vida, quiero que sepan que sin ustedes este logro no hubiera sido posible, logro que no solo es mío si no también es de ustedes, gracias porque en ningún momento me han abandonado desde el día que decidí salir en busca de cumplir este sueño, mismo que hasta ahora siguen apoyando, por esa motivación de cada día, por todas esas llamadas diarias para saber cómo estoy y yo saber que están ahí presentes, no en persona pero si de corazón.

A MIS ASESORES: *Ustedes serán enriquecidos en todo sentido, para que en toda ocasión puedan ser generosos, y para que por medio de nosotros la generosidad de ustedes resulte en acciones de gracias. (Corintios 9:11).*

A **LUIS ALONSO VALDES AGUILAR**, PhD por darme la oportunidad de ser su tesista, por todos esos cocimientos que me transmitió durante mi formación profesional, le agradezco de ante mano por haberme dado la confianza de desarrollar este trabajo de investigación, por su tiempo invertido y por su amabilidad de cada revisión y corrección que hizo en este trabajo. Muchas gracias Dr.

A la **Dra. DANIELA ALVARADO CAMARILLO**

Por aquel entusiasmo con el que llegaba y nos compartía sus conocimientos en la clase de Cultivos sin Suelo, por aquel compromiso que siempre mostró hacia nosotros, por su apoyo brindado en el transcurso de este proyecto, y por su disponibilidad para aclararme las dudas que surgían en el trayecto. Gracias Dra.

Al **Dr. JOSE ALFREDO HERNANDEZ MARURI**

Por su apoyo y amabilidad, en la colaboración de la revisión de este trabajo, por su tiempo invertido. Gracias Dr.

A mi **AMIGA MARIA ISABEL PÍNA MELQUIADES**

Por tu amistad, por hacer todas esas horas de trabajo más fácil, tú apoyo, tu compañía, por el empeño y responsabilidad que mostraste durante la realización de este trabajo. “Gracias China”.

Al MC. INOCENTE MATA BELTRAN. †

Por esa forma tan particular de transmitir sus conocimientos, fomentando la responsabilidad y el autoaprendizaje.

Al DR. LEOBARDO BAÑUELOS HERRERA.

Por enseñarnos el valor de significa ser un BUITRE, por sus conocimientos compartidos, por fortalecer mi carácter.

Al DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL Por todas esas tutorías al principio de mi carrera, que fueron de gran ayuda.

A mis amigas la **ING. BELEN GUADALUPE MUÑOZ ROCHA, MARIA CRISTINA LARA LUNA y ABIGAIL YAZMIN ESCOBAR ROMERO**, Por su compañía y su amistad durante el transcurso de mi carrera, por sus consejos y por depositar su confianza en mí.

A mi amigo **DON. RODOLFO** encargado del vivero de propagación, donde quiera que se encuentre, le agradezco por la confianza y ayuda que me brindó en su momento

A mi amigo. **DAVID AZAEL MALDONADO MARTINEZ**, Por tu amistad compare desde la preparatoria, en todos esos juegos de beisbol, esos primeros días en Saltillo y durante nuestra carrera.

A mi compañero Y amigo: **ISMAEL SOSA MARTÍNEZ** por tu compañía desde el inicio y durante la carrera y porque sin tu ayuda este trabajo hubiera sido más difícil de sacar adelante.

A mis amigos y compañeros que han estado conmigo en cada experiencia que hemos vivido. **Emmanuel Sánchez Sánchez, Bruce Tayson Ariza Pineda, Eder Iván Guillen Mercado, Daniel Rivera Gracida “Califa”, Alexis Zoe Barranco Peralta, Jaime Adrián García Solano, Miguel Ángel Rincón Vázquez, Juan Carlos González Escobar, José Isidro Pérez Días, Jorge Morales Saavedra.**

DEDICATORIAS

A Mis padres

Con amor cariño y respeto, **A mi padre SERGIO VÁZQUEZ RAMÍREZ y A mi querida madre: CECILIA HERNÁNDEZ BARRÓN**, porque siempre me han apoyado, por sus sabios consejos, su esfuerzo y sus sacrificios, por enseñarme el valor que tiene la familia y porque sé que no habrá en esta vida forma alguna de pagarles todo lo que han hecho por mí. A mi padre por sus ejemplos de perseverancia, responsabilidad y disciplina que es lo que te caracteriza y a mi madre por tus consejos, amor, porque con tu ejemplo has sido mi mejor maestra de emprendimiento, y porque ambos son mis mejores maestros de vida. Quiero que sepan de todo corazón, que éste logro no solo es mío, también es suyo y les estaré eternamente agradecido.

A Mis hermanas:

MONSERRAT VÁZQUEZ HERNÁNDEZ, LESLEY VÁZQUEZ HERNÁNDEZ y ANABEL VÁZQUEZ HERNÁNDEZ: Por todo el apoyo que me han brindado, porque siempre han confiado en mí, por enseñarme a siempre defender y velar por la familia a cualquier costa y porque de ustedes siempre he aprendido cosas nuevas y por ser las mejores hermanas.

A Mis sobrinos:

JESÚS ENRIQUE (Que eres como mi hermano), **JOSE RODOLFO, BRAULIO EMMANUEL, MARIA ITZEL, BRANDON y LUIS RODRIGO.** Aunque soy de pocas palabras quiero que sepan que los aprecio, respeto y quiero mucho y siempre estaré para lo que se les ofrezca.

A mi Novia:

MARIA MERCEDES MACEDA ESCOBEDO Por estar siempre conmigo en esta etapa de mi vida apoyándome y dándome ánimos, porque siempre me has enseñado a ver el lado bueno de la vida, y porque aun en mis malos momentos siempre has sabido sacarme una sonrisa.

A mis **compañeros y amigos de la GENERACION CXXVIII** Seria complejo nombrar a todos y cada una de las experiencias y vivencias compartidas que no olvidaré. Gracias a ustedes mi carrera se hizo demasiado corta.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	IV
INDICE DE CUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	2
General	2
Específicos	2
HIPOTESIS	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
Aspectos Botánicos Del Pepino	4
Origen del Pepino	4
Taxonomía	4
Descripción Botánica	5
Raíz	5
Tallo	5
Hojas	6
Flor.....	6
Fruto	6
Nutrición Mineral	7
Macroelementos	7
Microelementos	8
Calcio	8
Absorción del calcio	8
Síntomas de deficiencia de calcio.	9
Toxicidad de calcio.....	9
Potasio	9
Absorción del potasio	9
Síntomas de deficiencia de potasio.....	10

Síntomas de toxicidad de potasio.....	10
Magnesio	10
Absorción del magnesio.....	10
Síntomas de deficiencia de magnesio	11
Toxicidad de magnesio.....	11
Interacciones de nutrientes	11
Interacción Potasio:Calcio (K:Ca)	11
Interacción Potasio:Magnesio (K: Mg)	12
Interacción Calcio:Magnesio (Ca:Mg)	12
III. MATERIALES Y METODOS	13
Material Vegetal	13
Siembra	13
Descripción de Tratamientos	14
Labores de Mantenimiento	15
Tutorio.....	15
Podas	16
Cosecha.....	16
Variables Evaluadas	16
Rendimiento Total	16
Diámetro Ecuatorial del Segmento 1.....	16
Firmeza del Segmento 1.	17
Longitud de fruto.....	17
Pesos frescos.	17
Pesos Secos.	17
Diseño Experimental	17
IV. RESULTADOS	18
Longitud de Fruto	18
Diámetro Ecuatorial	20
Firmeza	21
Número de Frutos	22
Rendimiento Total	23
Peso Seco de Raíz	24

Peso Seco de Tallo	25
Peso Seco Aéreo	26
Peso Seco Total.....	27
V. DISCUSIÓN	28
VI. CONCLUSIÓN.....	30
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Descripción de la clasificación taxonómica para pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	4
Cuadro 2.- Concentración de tratamientos en meq L ⁻¹ y en porcentaje de cationes de los macronutrientes en las soluciones nutritivas.	15
Cuadro 3.-Modelos que estiman el rendimiento total, longitud de fruto, diámetro, firmeza, peso seco y numero de frutos.	19

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre la longitud de fruto mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	18
Figura 2. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el diámetro ecuatorial del fruto mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	20
Figura 3. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre la firmeza mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	21
Figura 4. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el número de frutos mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	22
Figura 5. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el rendimiento total mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	23
Figura 6. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco de raíz mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	24
Figura 7. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el Peso seco de tallo mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	25
Figura 8. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco aéreo mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	26
Figura 9. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco total mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en un cultivo sin suelo.....	27

RESUMEN

En la actualidad el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las cinco hortalizas de mayor importancia en cuanto al mercado de exportación, lo cual genera un importante ingreso de divisas para el país. Sin embargo, el mercado exige características de calidad como son el buen peso y tamaño de fruto, así como también exigen frutos que no estén huecos en el interior y una coloración verde obscuro. Por su parte, el productor de pepino debe además obtener altos rendimientos que le permitan elevar la rentabilidad de su cultivo. Para conseguir estas características es importante que en la nutrición se manejen niveles adecuados de los elementos esenciales, cuyas funciones principales están relacionadas con estos parámetros de calidad y rendimiento, estos elementos principalmente son el K, Ca y Mg, los cuales son altamente demandados por el cultivo. Estos adquieren una alta importancia ya que deben encontrarse en un adecuado balance dado que la combinación de estos elementos puede ocasionar interacciones positivas, negativas o unidireccionales. Estas interacciones pueden generar un desbalance perjudicial para la calidad del fruto. El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar los efectos que genera la combinación de distintos niveles de K, Ca y Mg en base a una concentración de 20 meq·L⁻¹ sobre el cultivo y su efecto en el fruto de pepino bajo condiciones de un sistema de cultivo sin suelo. Los tratamientos evaluados consistieron en 13 soluciones nutritivas, realizándose bajo un diseño de bloques completamente al azar donde los niveles de K, Ca y Mg fueron; (T1: 30/58/12, T2: 24/53/23, T3: 40/43/17, T4: 36/53/11, T5: 23/60/17, T6: 27/40/33, T7: 38/50/12, T8: 32/51/17, T9: 20/40/40, T10: 20/47/33, T11: 33/44/23, T12: 20/60/20, T13: 40/40/20). Los resultados obtenidos en el estudio indican que con la solución nutritiva con niveles de 33/44/23 permite obtener mayor rendimiento (7.8 kg por planta) y calidad, por lo que se concluye que 33% de K, 44% de Ca y 23% de Mg es el balance óptimo para producir frutos con buena firmeza, buen diámetro, buen tamaño y un rendimiento aceptable.

Palabras Clave: interacción, sinergismo, antagonismo, solución nutritiva, cationes.

I. INTRODUCCIÓN

La horticultura es una actividad muy variada, por su estructura de cultivos y por sus sistemas de producción, es de gran importancia económica para el país pues se producen una amplia gama de cultivos que son acordes a las condiciones climáticas, suelos y sistemas productivos, que se cultivan de acuerdo a su destino de origen sea el caso de un mercado de consumo fresco o a la agroindustria de exportación (Selles, 2019).

La producción de hortalizas adquiere una gran importancia pues se estima que en el mundo se producen más de mil millones de toneladas de estos cultivos, ubicándose en el segundo rubro más importante solo después de los cereales (Selles, 2019). De estas actividades, América Latina y el Caribe representan un porcentaje relativamente bajo en la producción mundial de hortalizas siendo aproximadamente la mitad de lo producido por África, y de este porcentaje México es el principal productor de hortalizas seguido de Brasil, ubicándose en el noveno y duodécimo lugar como productores a nivel mundial (FAO, 2014). Al alcanzar una producción de 14.1 millones de toneladas de alimentos producidos en el territorio. Las cinco principales hortalizas por volumen de producción son: jitomate, chile, cebolla, elote y pepino, que en conjunto aportaron 9.1 millones de toneladas (SIAP, 2015).

Los países que ocupan los 6 primeros lugares en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) son China 77.4%, Irán 2.4%, la Federación de Rusia 2.3%, Turquía 2.2%, EUA 1.2%, y en México 1.1% (FAO, 2017). De este porcentaje de producción de México, Sinaloa es el principal estado que produce y exporta pepino con una producción de 360 mil toneladas y es su segundo cultivo más importante solo después del tomate (Seminis, 2019).

Los 5 principales estados productores de pepino en México son Sinaloa con el 38%, Sonora 20%, Michoacán 11.2%, Baja California 5.7% y Guanajuato con el 5.0% de la producción (SIAP, 2017). Por otro lado, la calidad de frutos de pepino obtenidos de distintos sistemas de producción de cultivos sin suelo e hidroponía están asociados

con los niveles de nitrógeno (Gómez *et al.*, 2003). Y con la absorción de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la solución nutritiva (Jasso *et al.*, 2005).

Muchos estudios se han realizado sobre aspectos de la nutrición del pepino cultivado en condiciones de cultivo sin suelo; sin embargo, la mayoría de estos contemplan el determinar el efecto de uno o de la interacción de dos nutrimentos, siendo prácticamente nulos los estudios que contemplan la interacción entre tres nutrimentos. El balance de cationes, K, Ca y Mg, en la solución nutritiva es de suma importancia ya que entre ellos se presentan relaciones antagonistas en las que el exceso de uno de ellos puede limitar la absorción de uno o los dos restantes a pesar de que estén presentes en forma asimilable y en la concentración adecuada.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad obtener un balance entre K: Ca: Mg adecuado que genere interacciones entre elementos para obtener plantas con mejor calidad y rendimiento de fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de cultivo sin suelo.

OBJETIVOS

General

Determinar un balance adecuado de K: Ca: Mg en la solución nutritiva para el pepino (*Cucumis sativus* L.).

Específicos

- ✓ Evaluar el efecto que tiene la interacción entre los elementos K: Ca: Mg sobre la calidad de fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.).
- ✓ Evaluar la influencia que tienen las distintas concentraciones de cationes sobre la biomasa de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.).

Evaluar un balance óptimo de K: Ca: Mg en la solución nutritiva sobre el rendimiento de fruto en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo un sistema de productivo de cultivo sin suelo.

HIPOTESIS

Las distintas concentraciones de K: Ca: Mg permite obtener un balance con un efecto positivo sobre el rendimiento, biomasa y calidad de frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un sistema de cultivo sin suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

Aspectos Botánicos Del Pepino

Origen del Pepino

El Pepino (*Cucumis sativus* L.) se considera como originario de la India, donde se encontró en diversas formas silvestres no aprovechables por su mala calidad; su domesticación se llevó a cabo en Asia y fue llevado a Europa, donde se seleccionaron los mejores cultivares. Posteriormente fue introducido a América por Cristóbal Colon. Formalmente el Fito-mejoramiento comenzó en Estados Unidos en la década de 1880. Los pepinos más comunes son: el pepino americano, pepino europeo, pepino holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003).

Taxonomía

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta de ciclo anual, herbáceo, con zarcillos, siendo estas principales características de la familia Cucurbitaceae. En variedades precoces las primeras cosechas se pueden obtener a los 30 días después del trasplante (FDA, 1992). La taxonomía de este cultivo se muestra en el (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Descripción de la clasificación taxonómica para pepino (*Cucumis sativus* L.)

Reino	<i>Plantae</i>
Sub-reino	<i>Tracheobionta</i>
Super-division	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Sub-clase	<i>Dilleniidae</i>
Orden	<i>Violales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Genero	<i>Cucumis</i>
Especie	<i>Cucumis sativus</i> L.

Fuente: USDA-NRCS (2019).

Descripción Botánica

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) Es una planta herbácea, de ciclo anual y con un hábito de crecimiento rastrero o indeterminado si se le proporciona un sistema de entutorado adecuado y según sea el cultivar a establecer. Posee una raíz muy ramificada y en los entre nudos del tallo desarrolla hojas, en las axilas de estas crecen frutos, brotes y zarcillos que sirven estos últimos para proporcionar un mejor agarre de la planta en las rafias de tutoreo. En un estado adulto la planta puede tener una gran extensión y frondosidad debido a sus hojas de gran tamaño (Mármol, 2011).

Raíz: El sistema radicular se encuentra enterrada en el suelo o sustrato aunque también se puede desarrollar en el aire o en el agua según sea el sistema de producción, sus principales funciones son proporcionar el anclaje de la planta al suelo y la absorción de agua y nutrientes, esta última función se lleva a cabo la zona de máxima absorción ubicada en los pelos radicales que se generan en las ramificaciones de la raíz y que suelen tener una alta tasa de mortalidad y regeneración dependiendo de la especie y la estación del año. La velocidad de crecimiento de la raíz depende también de las condiciones ambientales, humedad del suelo, temperatura etc. (Mejías *et al.*, 2015).

El pepino posee una raíz bastante desarrollada, dada la capacidad productiva que tiene la planta y está compuesta de una raíz primaria pivotante, que se ramifica en raíces secundarias muy finas, de color blanco y abundantes con la facultad de producir raíces adventicias por encima del cuello de la planta (Sierra *et. al.*, 2005).

Tallo: El tallo y las hojas son los órganos de la planta que comúnmente se desarrollan por encima del suelo y estos constituyen el sistema aéreo de una planta. Las funciones principales del tallo es dar soporte a la planta, en él se desarrollan los haces vasculares por lo que el tallo también conduce el agua, minerales y moléculas orgánicas que se mueven de la raíz a las hojas y viceversa. También el tallo cumple con la función de proporcionar sostén a los órganos de la planta como son hojas, flores, frutos, y brotes (Bartoletti, 1998). El tallo es herbáceo, de crecimiento indeterminado, en sus inicios es un órgano erecto, pero a medida que crece la planta pierde su rigidez debido al

peso, adopta una forma cilíndrica y conforme crece la planta adopta una forma de aspecto cuadrangular, tanto el tallo como los brotes laterales son ásperos y erizos con pubescencias. En los primeros centímetros de crecimiento aéreo el tallo tiene la capacidad al igual que el tomate de emitir raíces adventicias (Mármol, 2011).

Hojas: Las hojas son el órgano más importante de las plantas ya que son las encargadas de realizar la fotosíntesis, respiración y transpiración (Martínez, 2017). La planta de pepino desarrolla en cada nudo una hoja simple botánicamente clasificada como acorazonada, peciolada, son alternas y estas están en disposición opuestas a los zarcillos que desarrolla el tallo, son ásperas y con gran área foliar (López, 2003). En un inicio las hojas son de color verde claro y a medida que las hojas pasan a ser basales se tornan de un color verde oscuro y se vuelven quebradizas, en variedades de tipo “holandés” la planta puede producir hojas muy grandes con una longitud aproximada de 40cm de longitud (Mármol, 2011).

Flor: Las flores del pepino tienen origen en cada axila de las hojas, pueden ser femeninas, masculinas o flores unisexuales en plantas monoicas. Son de color amarillo intenso, aisladas cuando son femeninas y agrupadas cuando son masculinas. En sus inicios, los cultivares de pepino se trataban de plantas monoicas, seguidos de híbridos monoicos (poseían flores masculinas y femeninas en la misma planta y de polinización entomófila), luego se desarrollaron híbridos ginoicos con flores únicamente femeninas que daban origen a frutos partenocarpicos. Generalmente, los frutos cortos o medio largos provienen de plantas monoicas y los largos o de tipo “holandés” provienen de plantas ginoicas, que solo producen flores femeninas (Mármol, 2011).

Fruto: El fruto del pepino se conoce como una falsa baya (pepónide), alargado y de forma cilíndrica, su longitud depende la variedad y oscila entre los 15 y los 35cm. En su interior, es de coloración blanca, carnosa, y en el exterior su coloración es verde oscuro a claro, su aspecto es rugoso y áspero, produce falsas espinas en su estado juvenil que a medida que madura el fruto se caen, este es un indicador de cosecha, y en el estado de madurez presenta una cruz apical de color amarilla (López, 2003).

Nutrición Mineral

La nutrición mineral es la rama de la fisiología vegetal que se encarga del estudio del mecanismo en el cual las plantas absorben y asimilan los elementos minerales esenciales, sus funciones en el metabolismo, los factores ambientales que pueden influir sobre su absorción, asimilación, transporte (Torres *et al.*, 2018). Los estudios de las necesidades nutrimentales de las plantas se han organizado en dos importantes grupos, nutrientes orgánicos e inorgánicos, representando los primeros 90-95% del peso seco de las plantas y están constituidos por Carbono, Hidrogeno y Oxigeno, obtenidos del CO₂ de la atmosfera y del agua. El resto de la composición de la planta está compuesta de un 5-10% por la llamada fracción mineral (Azcón y Talón, 2000).

La detallada composición mineral de las plantas se vuelve de gran importancia cuando a estas se les considera como fuente de alimento, pues la ausencia o exceso de algún elemento puede afectar significativamente su valor alimenticio, también puede detallar la fertilidad del suelo en el que estas se desarrollan (Bidwell, 1993). Sin embargo, la presencia y las concentraciones de los elementos minerales en la planta no son criterios para clasificarles como esenciales, para que un elemento mineral sea considerado como esencial debe cumplir los 3 criterios de escenciabilidad:

- 1.- Una planta será incapaz de completar su ciclo vital en ausencia del elemento mineral considerado.
- 2.-La función del elemento en el metabolismo de la planta no podrá ser remplazada por algún otro elemento.
- 3.- El elemento deberá estar directamente relacionado con el metabolismo de la planta.

Macroelementos

De acuerdo con la cantidad que absorben las plantas, los macronutrientes se clasifican en “Primarios”, entre los que se encuentra el Nitrógeno, Fosforo y Potasio, y en “Secundarios”, como el Calcio, Magnesio y Azufre. Estos elementos forman parte de la estructura de algunas moléculas, como proteínas, lípidos, carbohidratos o actúan en los procesos enzimáticos, de tal manera que lo anterior explica sus distintas

concentraciones en los que la planta requiere los elementos minerales para conseguir su crecimiento adecuado (Azcón y Talón, 2000).

Microelementos

Los microelementos también son conocidos como micronutrientes, elementos traza o elementos menores, y son los elementos esenciales por las plantas en fracciones menores. Dado que son requeridos por las plantas en concentraciones relativamente bajas, no están relacionados con las funciones osmóticas y el equilibrio de anión-cación a nivel celular, sus funciones principales están relacionadas en los procesos catalíticos enzimáticos en algunas ocasiones como componentes de enzimas o moduladores de las actividades de las enzimas (Torres *et al.*, 2018).

Calcio

El calcio se encuentra dentro de la planta principalmente como componente de la lámina media en forma de pectato de calcio, es componente de las paredes celulares y membranas, participa también en la elongación y división celular, otra de las funciones del calcio es generar estabilización de la pared y membranas celulares mediante la interacción con el ácido péctico que está en la pared celular y la lámina media (Marschner, 1986).

Absorción del calcio. El calcio es absorbido desde la solución del suelo como un catión divalente, se mueve principalmente por la vía pasiva (apoplasto) y dentro de la planta tiene una limitada movilidad (Azcón y Talón, 2000). El calcio entra por la raíz entre los espacios intercelulares hasta llegar a la endodermis donde no pueden superar la barrera de la banda de Caspary, atraviesa a través de los canales que le permiten continuar su trayecto hasta el xilema donde fluye hacia las partes aéreas de la planta, se mueve hacia los órganos de la planta con una mayor tasa de transpiración por lo que en un principio estos órganos son los que reciben mayor parte del calcio. A diferencia de otros elementos, el calcio no se puede redistribuir por el floema a los órganos jóvenes en crecimiento o con una menor tasa de transpiración, esto se puede corregir con aplicaciones foliares ya que el calcio puede ser absorbido por hojas,

tejidos leñosos, tejidos jóvenes en crecimiento, pero su movimiento sigue siendo restringido por la vía del xilema (Bataller, 2014).

Síntomas de deficiencia de calcio. El calcio es poco móvil dentro de la planta, por lo que los primeros síntomas de deficiencia se manifiestan en las hojas jóvenes y zonas de crecimiento, las deficiencias de calcio causan necrosis de las hojas jóvenes o provocan un crecimiento enrollado de las hojas, pudrición apical de los frutos, así como un crecimiento lento y hacen susceptible a las plantas al ataque de patógenos (Piedrahíta, 2012).

Toxicidad de calcio El exceso de calcio puede ocasionar defoliación de las hojas, interfiere en la absorción del potasio incluso cuando este se encuentra en concentraciones adecuadas, también puede presentar deficiencias de fierro y la acumulación de cloro se vuelve más pronunciada cuando hay un exceso de calcio en la solución (Schwarz, 1995).

Potasio

El nitrógeno, el fósforo y otros elementos esenciales forman parte de la estructura química de la planta, el potasio difiere de ellos pero tiene un papel importante como regulador dentro de la planta, la mayor parte del potasio se encuentra en el citoplasma en forma soluble, activa enzimas y mantiene la turgencia de celular, mejora la síntesis de proteínas, la translocación de azúcares y ayuda a la absorción del Nitrógeno (Roberts, 1997). Se le atribuye la activación de aproximadamente 50 enzimas y está relacionado con la activación de más de 40 procesos enzimáticos, se le conoce como el elemento mejorador de la calidad del fruto pues incrementa el periodo de llenado, fortifica los tallos y mejora la resistencia a plagas y enfermedades (Larriva, 2003).

Absorción del potasio. El potasio es absorbido de la solución del suelo como un catión monovalente, por flujo de masas o por difusión. Su absorción está relacionada con la actividad metabólica de la planta, y se caracteriza por tener una elevada movilidad dentro de la planta, por su transporte a larga distancia a través de la vía del xilema y floema (Torres *et. al.*, 2018).

Síntomas de deficiencia de potasio. Debido a que el potasio tiene una elevada movilidad dentro de la planta sus síntomas de deficiencia comienzan a manifestarse en las hojas basales, las hojas presentan clorosis que posteriormente se necrosan en los ápices y márgenes, con una curvatura y un moteado blanco amarillento, mientras que las plantas se vuelven sensibles a la presencia de amonio hasta la toxicidad. (Larriva, 2003). En plantas de pepino, los primeros síntomas de deficiencia se muestran en los bordes de las hojas que se tornan con una coloración de color verde claro que se vuelve de color amarillo-marrón y luego muere, el fruto se vuelve curvo y con manchas negras (Schwarz, 1995).

Síntomas de toxicidad de potasio. Las plantas con un exceso de potasio presentan un desbalance entre los cationes de calcio y magnesio, los tallos se vuelven quebradizos con hojas oscuras y sin brillo (Larriva, 2003).

Magnesio

El magnesio corresponde al cuarto catión más abundante y el segundo dentro de importancia dentro de la célula pues interviene en procesos de la fotosíntesis (Aranda *et al.*, 2000). Dentro de las funciones principales del magnesio en la planta se atribuye a que es el átomo componente principal de la molécula de la clorofila, sin embargo, la cantidad que está ligada a la clorofila es aproximadamente el 15% una cantidad relativamente pequeña y que está en función del suministro. El magnesio también participa en la síntesis de xantofilas y carotenos, es activador de una serie de enzimas relacionada con el metabolismo de carbohidratos y proteínas, y es responsable de la regulación de pH dentro de las células ya que está involucrado también en el balance de cationes-aniones (Ross, 2004).

Absorción del magnesio. El magnesio dentro de la planta tiene una elevada movilidad y es absorbido de la solución del suelo en su forma catiónica, Mg, en un 85% está dada por la vía pasiva correspondiente al flujo de masa, la absorción del magnesio por la planta está relacionada con la relación K/Mg, Ca/Mg, y NH₄/Mg, de tal manera que aunque la solución del suelo pueda contener un elevado contenido del elemento pueden manifestarse deficiencias para la planta (Cakman y Yazici, 1994).

Síntomas de deficiencia de magnesio. Dada la alta movilidad del magnesio dentro de la planta, los primeros síntomas de deficiencia aparecen en las hojas viejas, donde se manifiesta una clorosis en los márgenes; esta clorosis se extiende en el margen de la hoja, las nervaduras de la hoja mantienen su color verde obscuro la clorosis toma un color amarillo-anaranjado (Hernández y Pacheco, 1986).

Toxicidad de magnesio. Cuando se presenta un elevado contenido de magnesio en la solución, las hojas se vuelven color verde obscuro y se acurrucan, detienen su crecimiento (Schwarz, 1995).

Interacciones de nutrientes.

Las combinaciones de nutrientes en las soluciones de las plantas pueden interpretarse como positivas o negativas, también puede suscitarse que no exista interacción entre nutrientes. Cuando se combinan las concentraciones de nutrientes en la solución y como resultado obtenemos un mayor crecimiento en comparación con el efecto individual de cada elemento decimos que la interacción es positiva, en este caso a los nutrientes se les llaman sinérgicos, cuando el resultado es menor al esperado entonces la interacción es negativa y a estos nutrientes se les conoce como antagónicos. Estas interacciones están influenciadas por varios factores como son el pH de la solución, temperatura, intensidad lumínica, edad de la planta, tasa de transpiración, especie de la planta y morfología de la raíz. Sin embargo, los estudios de las interacciones entre varios elementos es muy limitada, normalmente se centra en el efecto de un solo elemento (Fageria, 2001).

Interacción Potasio:Calcio (K:Ca). Las interacciones antagónicas entre los elementos K y Ca han sido catalogadas como de origen fisiológico y están relacionadas con el proceso de absorción de nutrientes en la raíz y su posterior translocación a los órganos aéreos de la planta (Shukla y Mukhi, 1979). El K se absorbe a lo largo de la raíz y puede ser transportado por el floema de las hojas hacia la fruta y de regreso a la raíces es decir tiene una elevada movilidad en la planta, mientras que el calcio entra a la raíz por la vía del apoplasto hasta llegar a los haces vasculares donde su movilidad es limitada solo por el xilema, en consecuencia la

restricción de la raíz en la absorción de estos elementos puede generar el efecto el antagónico de K y Ca (Bar-Tal y Pressman, 1996).

Interacción Potasio:Magnesio (K: Mg). Los cationes K y Mg no tienen una sola interacción positiva o negativa si no que presentan una interacción unidireccional, sin embargo los estudios realizados han tenido un mayor enfoque hacia los efectos antagónicos, ya que se ha demostrado que en algunos cultivos la absorción de Mg se ve afectada por los aumentos en las concentraciones de K en la solución mientras que la absorción del K se ve poco afectada incluso en niveles altos de Mg (Omar y El-Kobbia, 1996). La acumulación de Mg en los brotes en crecimiento se reduce cuando el K aumenta en la solución, esto sugiere que el efecto antagónico del K y Mg se ve limitado en el proceso de translocación desde la raíz hasta los brotes (Hannaway *et.al.*, 1982).

Interacción Calcio:Magnesio (Ca:Mg). La relación de Ca y Mg principalmente adquieren su importancia debido a la influencia que tienen sobre la estructura del suelo, mientras el Ca proporciona una mejor aireación del suelo, el Mg mejora la adhesión de partículas de suelo, de esta manera que cuando la relación de Ca sobre Mg es muy baja el suelo pierde permeabilidad, dificultando el drenado del agua, siendo esto perjudicial para el cultivo, por este motivo las relaciones de Ca:Mg siempre suelen ser mayor a 1. La relación de estos elementos dentro de la planta depende de la especie, sin embargo, la concentración en las hojas de algunas especies suele ser 2:1 lo que explica que se tenga que aplicar más cantidad de Ca que de Mg en la solución nutrimental (CANNA, 2019).

III. MATERIALES Y METODOS

El presente experimento se llevó a cabo en un invernadero localizado en el Departamento de Horticultura ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con dirección en Calzada Antonio Narro 1923, CP 25084 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Con coordenadas 25.3562532°, -101.035077°.



Material Vegetal

El material vegetal que se empleó fue semillas de pepino (*Cucumis sativus*) híbrido Centauro caracterizada por ser una planta vigorosa, abierta, con hojas verde oscuro, fruto de excelente conservación postcosecha, color verde oscuro y con muy buena adaptación a condiciones de calor y mucha luminosidad, con resistencia intermedia a *Podospaeria xanthii* y a CVYV (Cucumber vein yellowing virus).

Siembra

Las semillas se sembraron el día 10 de mayo del 2019, la siembra se realizó directa en contenedores de polietileno de color negro con capacidad de 16 litros, las cuales se llenaron con peat moss de la marca PREMIER y perlita de la marca HORTIPERL en una proporción 70:30 v/v respectivamente, la mezcla fue preparada el día 1 de

mayo de 2019, adicionando de bicarbonato de sodio a razón de 1g por litro de sustrato. Las bolsas se llenaron a la capacidad de 14 litros de sustrato por bolsa. Los riegos se realizaban de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo manteniendo un 30% de drenaje aproximado en cada riego, con la ayuda de un micro tensiómetro de la marca IRRROMETER, se aplicaba el riego cada que el mismo marcaba 8 cbar.

Descripción de Tratamientos

Para el desarrollo del experimento de usaron 13 soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de Ca, K, Mg (Cuadro 2) bajo un diseño de bloques completamente al azar. Cada solución nutritiva representa un tratamiento que constó de 4 repeticiones cada uno, dando un total de 52 unidades experimentales. Para satisfacer las 13 soluciones nutritivas se consideró el análisis de la calidad agua de riego con las siguientes propiedades químicas: SO_4^{2-} 3.5, Ca 3.4, K 0.11, Mg 2.5 HCO_3^- meq L^{-1} el pH se ajustó a 6.0 ± 0.2 con H_3PO_4 y HNO_3 a los tratamientos 1 y 2, y con los ácidos H_2SO_4 y HNO_3 , para los tratamientos del 3 al 13. Durante el experimento, la conductividad eléctrica que se manejo fue de 1-1.5 dS m^{-1} n etapa de crecimiento y de 2.0 dS m^{-1} en etapa de producción. Para la nutrición con micronutrientes, a cada tratamiento se agregaban 6 ppm de Fe-EDTA del complejo ULTRASOL-MICROMIX.

Cuadro 2.- Concentración de tratamientos en meq L⁻¹ y en porcentaje de cationes de los macronutrientes en las soluciones nutritivas.

Tratamiento	Macronutrientes meq L ⁻¹						Balance K:Ca:Mg %		
	NO ₃ ⁻	H ₃ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
1	13	1.5	5	6.3	12	2.5	30	58	12
2	13	1.5	5	4.88	10.6	4.52	24	53	23
3	13	1.5	5	8	8.6	3.4	40	43	17
4	13	1.5	5	8	12	2.5	36	53	11
5	13	1.5	5	4.6	12	3.4	23	60	17
6	13	1.5	5	5.48	8	6.52	27	40	33
7	13	1.5	5	8	10.3	2.5	38	50	12
8	13	1.5	5	6.3	10.28	3.41	32	51	17
9	13	1.5	5	4	8	8	20	40	40
10	13	1.5	5	4	9.44	6.56	20	47	33
11	13	1.5	5	6.6	8.88	4.52	33	44	23
12	13	1.5	5	4	12	4	20	60	20
13	13	1.5	5	8	8	4	40	40	20

Labores de Mantenimiento

Con la finalidad de mantener el cultivo siempre en condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo, y para prevenir el desarrollo de plagas y enfermedades, se realizaron una serie de labores culturales adecuadas al cultivo que se describen a continuación:

Tutoreo. Las labores de tutoreo comenzaron el día 24 de mayo, 14 días después de realizar la siembra, al momento en el que el tallo de la planta ya no podía mantenerse rígido por el peso de las hojas en desarrollo, el sistema de conducción fue de tipo holandés de acuerdo al crecimiento de habito indeterminado del cultivo. En la base de la planta se colocaron anillos de plástico y se utilizó rafia color negro con una longitud

de 8 metros, la labor de liado se realizó cada dos entre nudos con la finalidad de que el peso de la planta no hiciera que se bajara y al mismo tiempo que no ahorcara el tallo. El bajado de planta se realizó cada que la planta llegaba al emparrillado de alambre galvanizado.

Podas. Las podas se realizaban de acuerdo al desarrollo de la planta quitando brotes y zarcillos cuando estos tuvieran el tamaño para ser eliminados manualmente sin dañar el tallo con la finalidad de que no hubiera un consumo de energía extra y que los zarcillos no se enredaran y dañaran la calidad del fruto, la poda de hojas se realizaba luego de realizar la cosecha de los frutos maduros localizados en cada axila, manteniendo un nivel de 12-13 hojas para no desbalancear la planta.

Cosecha. La cosecha comenzó a los 34 días después de la siembra y normalmente se realizaba cada semana. Se realizó guiándonos con las falsas espinas, siendo este un indicador de cosecha, cuando estas se caían y el ápice del fruto marcaba una estrella color amarilla era el momento de cosechar identificando cada fruto para su posterior evaluación.

Variables Evaluadas.

Durante el experimento al fruto se realizaron tres evaluaciones destructivas y una no destructiva, para la biomasa se evaluaron peso fresco y seco de los órganos de la planta como se describen a continuación.

Rendimiento Total

El rendimiento total comprende a la suma total de los pesos de fruto de cada tratamiento obtenido a lo largo del experimento y se determinó mediante el uso de una báscula de la marca Digital Scale con capacidad de 2000g.

Diámetro Ecuatorial del Segmento 1

Se determinó mediante el promedio del diámetro de las lecturas medias correspondientes a los frutos 1, 2, 3, y 4.

Firmeza del Segmento 1.

Se determinó al momento de realizar la cosecha para evitar que se deshidrataran los pepinos y las lecturas variaran, se empleó el uso de un penetrómetro con una puntilla de 8mm el promedio de la firmeza de los frutos 1, 2 y 3.

Longitud de fruto.

Estas variables se determinaron con el uso de una cinta milimétrica desde la base hasta el ápice de fruto y tallo.

Pesos frescos.

Los pesos frescos de cada órgano se determinaron con una balanza Digital Scale.

Pesos Secos.

Las muestras se metieron a deshidratar en una estufa de secado durante 72 horas a una temperatura de 70°C. Y se pesaron con una balanza Digital Scale.

Diseño Experimental.

El presente trabajo se realizó bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar en los que cada nivel de K, Ca, Mg fue diferente para cada tratamiento. Cada tratamiento estuvo compuesto de 4 repeticiones y por cada repetición consta de una sola planta.

Los datos se analizaron en un ANOVA en el programa de SAS versión 9.0 con una prueba de medias de Duncan a una probabilidad de ($p \leq 0.05$). Los datos obtenidos también fueron modelados utilizando SAS.

IV. RESULTADOS

Longitud de Fruto

Para la variable longitud de tallo (Figura 1), de acuerdo con el análisis estadístico no hubo diferencias significativas en cuando a las concentraciones de K: Ca: Mg con respecto a las plantas tratadas con 47-20-33, respectivamente, todos los tratamientos se comportaron de manera similar. Sin embargo, el modelo estadístico indica que los frutos de mayor longitud se obtienen con soluciones nutritivas altas en Mg y relativamente bajas en Ca, coincidiendo con lo que se observó en el caso del rendimiento total (Cuadro 3).

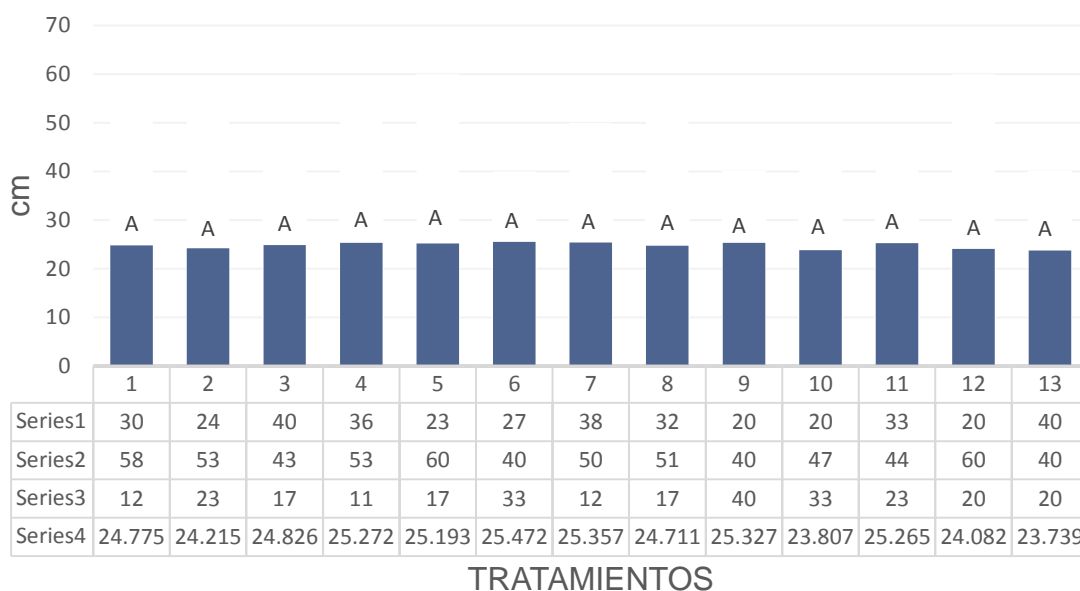


Figura 1. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre la longitud de fruto mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Cuadro 3.-Modelos que estiman el rendimiento total, longitud de fruto, diámetro, firmeza, peso seco y numero de frutos.

Variable	Modelo	Significancia
Rendimiento total (g/planta)	$11990.27 K + 18899.57 Ca + 5706.37 Mg - 37627.02 K*Ca - 11351.30 K*Mg - 26442.71 Ca*Mg + 103404 K*Ca*Mg + 15223.60 K*Ca (K-Ca) - 28483.06 K*Mg (K-Mg) - 38024.96 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0003 R ² =0.5150
Longitud de fruto (cm)	$28.74 K + 32.70 Ca + 25.70 Mg - 26.64 K*Ca - 12.89 K*Mg - 26.24 Ca*Mg + 92.47 K*Ca*Mg + 15.81 K*Ca (K-Ca) - 15.14 K*Mg (K-Mg) - 12.61 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0031 R ² =0.4787
Diámetro Ecuatorial (cm)	$56.13 K + 62.31 Ca + 54.07 Mg - 27.88 K*Ca - 14.17 K*Mg - 46.20 Ca*Mg$	P<0.0021 R ² =0.3795
Firmeza. (KPa)	$4.89 K + 4.36 Ca + 3.92 Mg - 0.7336 K*Ca + 0.0746 K*Mg - 0.1540 Ca*Mg$	P<0.0002 R ² =0.4488
Peso seco de tallo (g/planta)	$47.33 K + 90.16 Ca + 28.12 Mg - 189.41 K*Ca - 51.12 K*Mg - 157.35 Ca*Mg + 493.51 K*Ca*Mg + 101.43 K*Ca (K-Ca) - 102.00 K*Mg (K-Mg) - 149.80 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0001 R ² =0.5607
Peso seco de raíz (g)	$1.16 K + 2.15 Ca + 1.43 Mg - 1.03 K*Ca + 2.48 K*Mg - 3.61 Ca*Mg$	P<0.0001 R ² =0.6075
Peso seco aéreo (g)	$134.591 K + 284.86 Ca + 92.59 Mg - 586.03 K*Ca - 112.67 K*Mg - 483.72 Ca*Mg + 1333.56 K*Ca*Mg + 339.09 K*Ca (K-Ca) - 277.43 K*Mg (K-Mg) - 475.96 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0024 R ² =0.4702
Peso seco total (g)	$218.28 K + 378.37Ca + 122.00Mg - 857.47K*Ca - 234.58K*Mg - 643.37Ca*Mg + 1980.21 K*Ca*Mg + 349.34 K*Ca (K-Ca) - 447.93 K*Mg (K-Mg) - 610.99 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0012 R ² =0.4860
No. Frutos	$25.05 K + 28.59 Ca + 13.41 Mg - 44.31 K*Ca - 6.72 K*Mg - 9.79 Ca*Mg + 51.11 K*Ca*Mg + 7.52 K*Ca (K-Ca) - 48.99 K*Mg (K-Mg) - 69.80 Ca*Mg (Ca-Mg).$	P<0.0030 R ² =0.4983

Diámetro Ecuatorial

Para la variable diámetro ecuatorial del fruto (Figura 2), de acuerdo con el análisis estadístico, no hubo diferencias significativas en cuando a las concentraciones de K: Ca: Mg con respecto a las plantas tratadas con 47-20-33 respectivamente, todos los tratamientos se comportaron de manera similar.

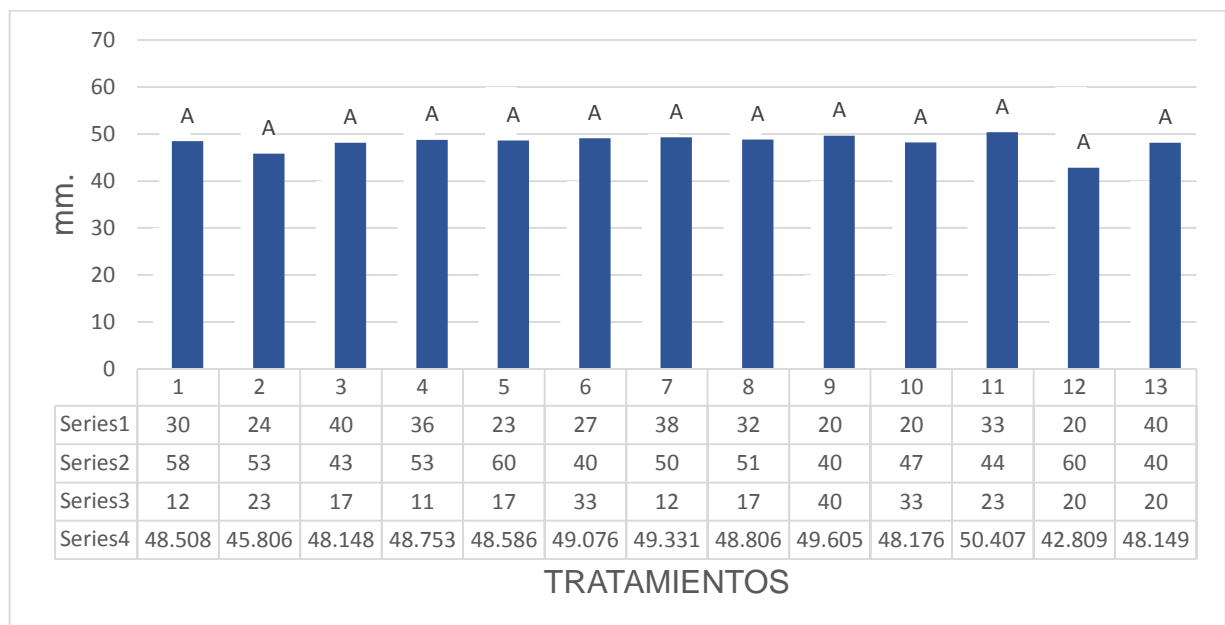


Figura 2. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el diámetro ecuatorial del fruto mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Firmeza

Para la firmeza de fruto (Figura 3), de acuerdo con el análisis estadístico no hubo diferencias significativas en cuando a las concentraciones de K: Ca: Mg con respecto a las plantas tratadas con 47-20-33, todos los tratamientos se comportaron de manera similar. Sin embargo, la modelación obtenida (Cuadro 3), sugiere que los frutos obtenidos con soluciones nutritivas conteniendo mayor proporción de Mg y menor de Ca resultan con una menor firmeza, lo que sugiere que al aumentar el rendimiento, así como la longitud de fruto, viene acompañado de una menor firmeza

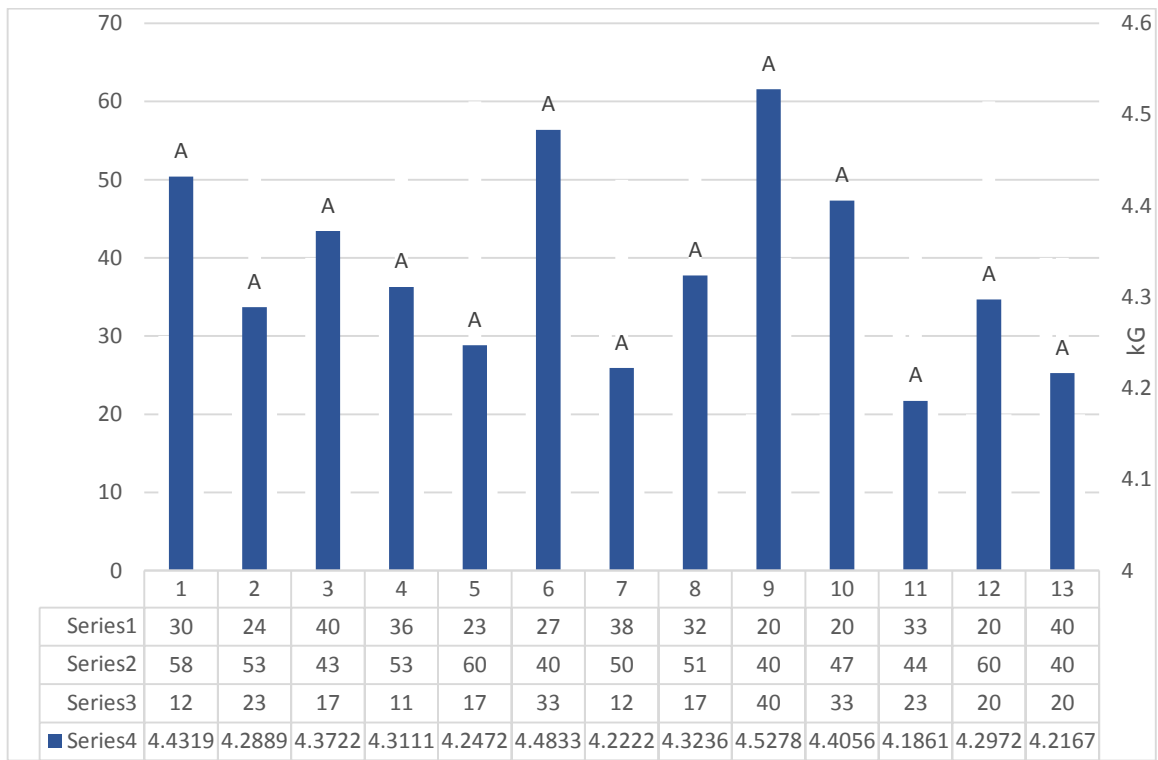


Figura 3. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre la firmeza mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Número de Frutos

En la variable número de frutos (Figura 4), las plantas tratadas con una solución de 20-47-33 obtuvieron 21 frutos mientras que las plantas tratadas con 27-40-33 mostraron tendencias similares, ambas superan al testigo. Sin embargo el tratamiento testigo supera a las plantas tratadas con 40-40-20 en la solución, lo anterior puede sugerir balances con un mayor contenido de Mg y un menor contenido de K, lo que concuerda con las plantas con mayor rendimiento total difiriendo de las plantas que se trataron con 33-55- y 23 de K, Ca y Mg, respetivamente, donde el contenido de K fue mayor, Ca menor y el de Mg menor. El modelo obtenido (Cuadro 3) señala que el rendimiento de frutos así como su longitud coincide con el mayor número de frutos producidos.

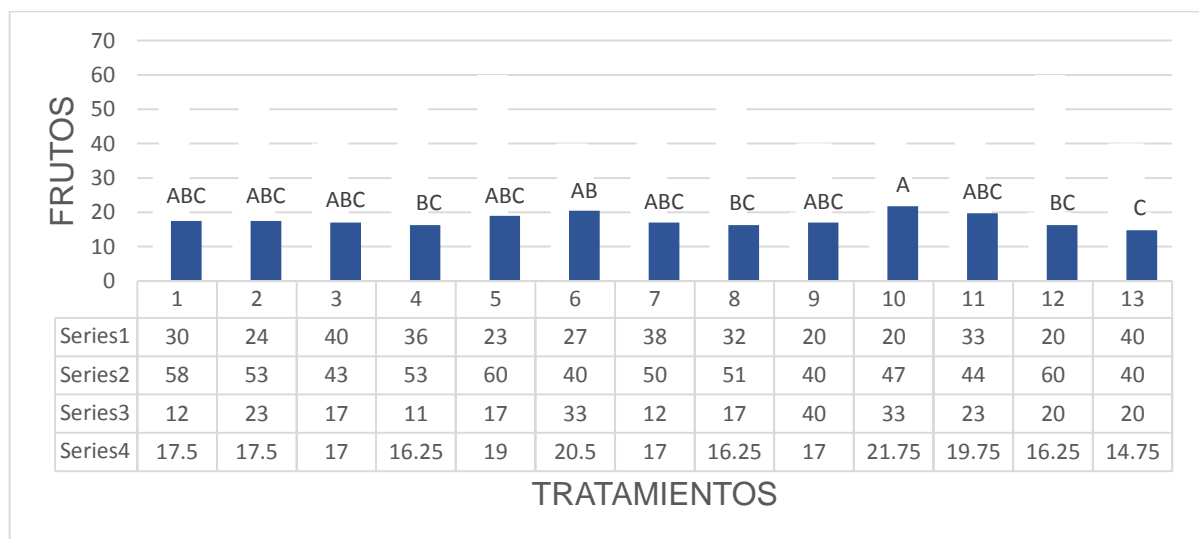


Figura 4. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el número de frutos mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Rendimiento Total

Para la variable rendimiento, los valores más altos se encuentran de 7628.7 hasta 7832.3 gramos (Figura 5) y fueron los correspondientes a las plantas tratadas en la solución con un contenido de 27-40-33, 20-47-33, 33-44-23. Sin embargo, estadísticamente también las plantas tratadas en la solución con contenidos de 30-58-12, 23-60-17 y 38-50-12 mostraron tendencias similares (Figura 1). Ambas observaciones superan al tratamiento testigo con valores en la solución nutritiva de 32-51-17.

El modelo obtenido (Cuadro 3) indica que el rendimiento más alto se obtiene cuando el Ca se encuentra en una proporción de 44%, el K 33% del Mg de 23% en la solución nutritiva lo anterior sugiere que soluciones nutritivas en el cultivo de pepino con un menor contenido de Ca y con un mayor contenido de Mg se obtiene mayores rendimientos.

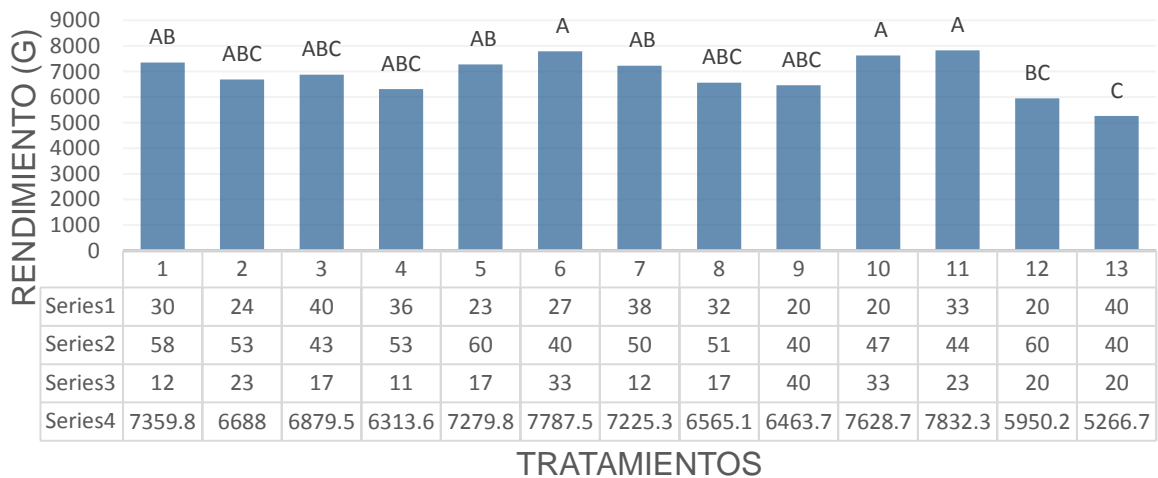


Figura 5. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el rendimiento total mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Peso Seco de Raíz

Para la variable longitud de raíz (Figura 6) de acuerdo con el análisis estadístico no hubo diferencias significativas en cuando a las concentraciones de K: Ca: Mg con respecto a las plantas tratadas con 47-20-33, todos los tratamientos se comportaron de manera similar. Sin embargo, la modelación permite observar que el mayor peso seco de raíces se obtiene con plantas tratadas con muy bajos niveles de Ca y muy altos de Mg (Cuadro 3).



Figura 6. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco de raíz mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Peso Seco de Tallo

En esta la variable peso seco de tallo (Figura 7), las plantas que se trataron con 27-40-33 tuvieron el valor más alto de 33.15 gramos, sin embargo, estas no difieren de las plantas que se trataron en la solución con 33-44-23 ya que estadísticamente se puede observar que tienen tendencias similares, superando al testigo con una relación de 32-51-17 de K: Ca y Mg. Estas observaciones superan al tratamiento testigo con una relación de 32-51-17, sin embargo, este supera solo a las plantas tratadas con una relación de 36-53-11. Lo anterior sugiere que se obtendrá mayor peso seco de tallo cuando las relaciones de la solución nutritiva sean $K < Ca > Mg$. El modelo obtenido (Cuadro 3), indica que los valores más altos se obtendrán con un 27% de K un 40% de Ca y una concentración de 33% de Mg.

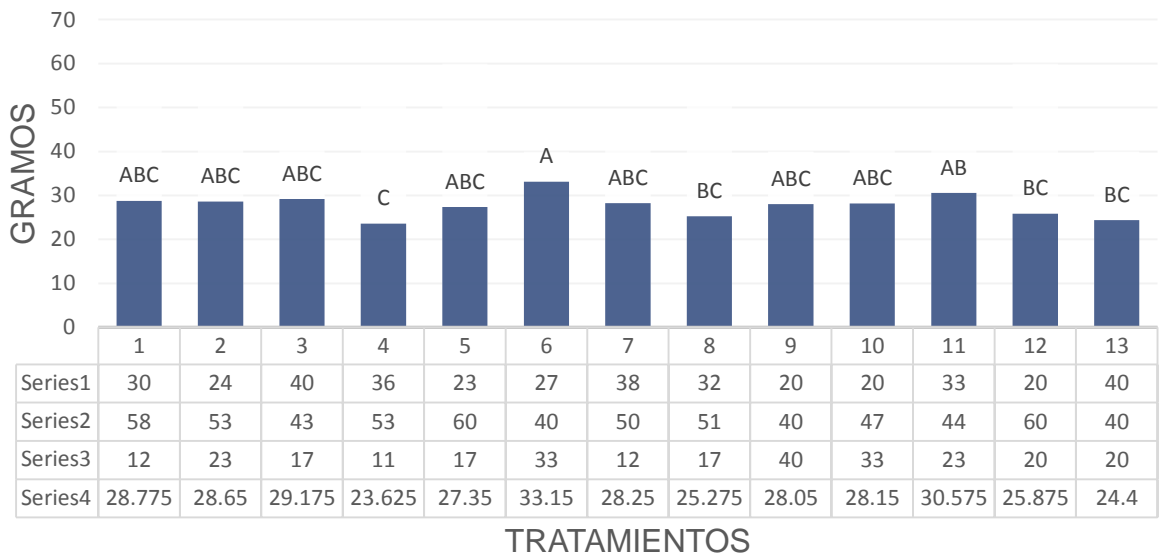


Figura 7. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el Peso seco de tallo mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Peso Seco Aéreo

En cuanto al peso seco aéreo se puede observar (Figura 8) que las concentraciones de 20-47-33 de K, Ca y Mg resulta favorable, mostrando el mismo comportamiento en cuanto al incremento de Mg y disminución de K en la solución nutritiva. Este tratamiento supera al testigo que contiene una mayor proporción de Mg, por lo que podemos deducir que las plantas demandan un mayor contenido de Mg en relación al Ca para tener un mejor crecimiento. Esto a su vez se puede relacionar con la variable número de frutos, ya que ambos tratamientos tienen tendencias similares y muestran un mayor peso seco aéreo.

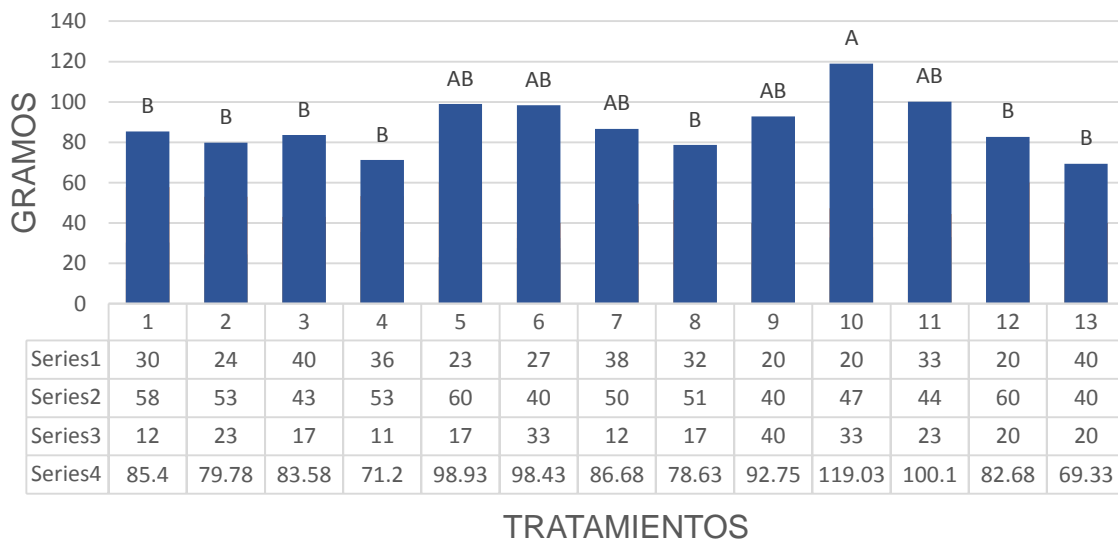


Figura 8. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco aéreo mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

Peso Seco Total

Para el peso seco total (Figura 9), se puede observar que las plantas tratadas con el balance 20-47-33 mostraron una mejor respuesta sobre el testigo, sin embargo, estadísticamente solo difieren las plantas que en la solución estuvieron tratadas con un contenido $Ca > K > Mg$. Lo anterior puede ser debido al elevado contenido de Ca, sin embargo de acuerdo a el modelo obtenido los valores más altos los encontramos en soluciones con una relación de 20-47-33 del tratamiento 10 (Cuadro 3).

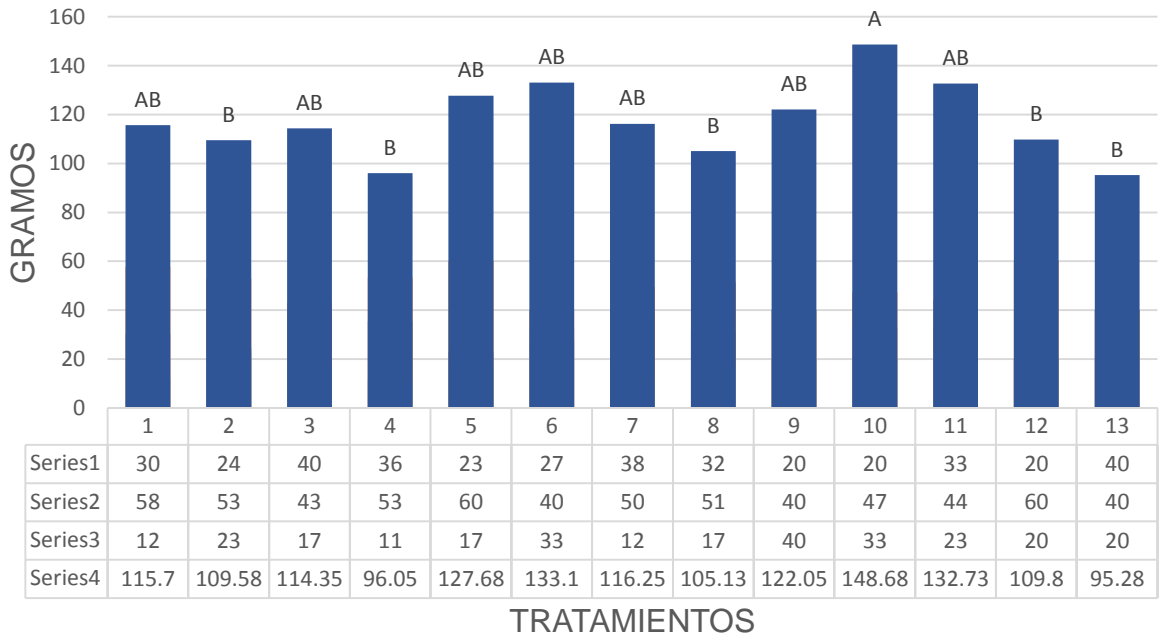


Figura 9. Efecto de la relación K: Ca: Mg sobre el peso seco total mediante diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un cultivo sin suelo.

V. DISCUSIÓN

Con respecto al rendimiento total, el tratamiento que obtuvo la mayor producción de fruto fue el de una concentración de 33% K, 44% Ca, y 23% de Mg, con 7.83 kg por planta. Esto demuestra que el pepino tiene una mayor demanda de magnesio en comparación con el testigo, lo que concuerda con (Navarrete, 2005), quien menciona que la absorción de Mg aumenta en las etapas finales del ciclo productivo. Lo anterior puede explicarse a que durante la primera etapa de desarrollo la planta no demanda grandes cantidades de elementos minerales sino hasta que transloca estos elementos a partes más altas en crecimiento (Hannaway *et al.*, 1982).

Sin embargo, las plantas que fueron tratadas con la solución de 27-40-33 o 20-47-33 mostraron tendencias similares, contrastando estos valores con los mencionados por (Steiner, 1961). Quien señala que las posibles mejores combinaciones se obtienen con fórmulas de 20% de Mg. Los resultados observados quedan fuera del rango permisible recomendado por (Steiner, 1961). Donde no recomienda realizar estas fórmulas debido a sus reacciones químicas que pueden alterar el pH de la solución y formar posibles precipitados. Este incremento en la concentración de Mg podría generar un efecto fitotóxico en la planta, el cual puede ser reducido por un aumento en la concentración de Ca (Schwarz, 1995). De acuerdo al modelo predictivo obtenido los rendimientos más altos los podemos obtener cuando el balance K: Ca y Mg se encuentre en concentraciones de 26-44-29 respectivamente.

En cuanto a la longitud de fruto los resultados observados indican que no hubo diferencias significativas, todos los tratamientos muestran una tendencia similar por lo que las concentraciones de K, Ca y Mg no influyen en aumento de tamaño. Esta respuesta puede ser atribuida a las características varietales que presenta el cv Centauro siendo estos valores el tamaño promedio del fruto. Para la variable firmeza correspondiente al segmento 1 de los frutos 1, 2 y 3 no hubo diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, en segmentos posteriores las plantas respondieron favorablemente a las soluciones con un contenido de 36-53-11 con respecto a K, Ca y Mg, eso concuerda con los estudios realizados por (Navarrete, 2005). Quien observó que la planta demanda un mayor contenido de Ca en etapas de

floración y fructificación al final del ciclo. En este sentido, los resultados expuestos por (Bar-Tal y Pressman, 1996). Quienes mencionan que la restricción de la raíz probablemente reduce la translocación de Ca por transpiración a través de las hojas con relación al fruto, podemos deducir que a pesar que la que concentración de Ca sea alta en comparación con una baja concentración de Mg la planta tiene a acumular más Mg que Ca, como lo menciona (Sosa *et al.*, 2019) en anturio.

Para el diámetro de fruto no se observaron diferencias estadísticamente significativas, por lo que la interacción de K: Ca: Mg no alteró el diámetro ecuatorial de los frutos. Este efecto puede ser atribuido al vigor de la planta en la producción de los primeros frutos ya que el cv. centauro se caracteriza por ser una planta vigorosa, (Hannaway *et al.*, 1982), menciona que en el inicio del ciclo productivo las plantas tienen vigor genético por lo que la demanda de nutrientes no es elevada hasta el momento en que tienen que ser translocados a partes en crecimiento más altas, sin embargo. Roberts (1997), menciona que el K se caracteriza por su rápida movilidad en la planta a través del xilema y el floema. También Larriva (2003), describe el elemento como encargado de la calidad de fruto por mantener la turgencia de las células, lo que nos hace sugerir que el diámetro del segmento 1 correspondiente a los frutos 1, 2 y 3 no se ve afectado por su corta distancia a la que se transloca el K.

El mayor peso seco de tallo fue de 33.15 y se obtuvo con un balance de 27-40-33, sin embargo, las plantas tratadas con 33-44-23 estadísticamente presentan tendencias similares. Estas observaciones concuerdan con los resultados de Rubio *et al.* (2010) quienes mencionan que una mayor producción de biomasa se obtiene con concentraciones de 2.5 a 7 meq L⁻¹, pero una mayor concentración de K (>14 meq L⁻¹) reduce la biomasa y el rendimiento comercial en aproximadamente un 26%. García *et al.*, (2005), encontraron que en perlita la producción de pimienta no se ve afectada con rangos de 2.75-6 meq L⁻¹ de K.

En cuanto al número de frutos, se observó que las plantas tratadas con una concentración en la solución de 20- 47- 33 presentaron los valores más altos con 21 frutos por planta, sin embargo, las plantas tratadas en la solución con niveles de 27-

40-33 muestran tendencias similares. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Xu *et al.* (2002), quienes realizaron estudios con soluciones nutritivas recirculadas y observaron que bajas concentraciones de K aumentan el rendimiento. Estos resultados los podemos contrastar con el rendimiento total donde encontramos que las plantas tratadas con estas soluciones muestran los mejores rendimientos, sin embargo, el valor más alto se obtienen con concentraciones de 33-44-23 lo que concuerda con Johnson y Decoteau, (1996), quienes mencionan que se necesitan al menos 6 meq L⁻¹ para obtener producciones óptimas.

En cuanto al peso seco, tanto como el aéreo como el total, podemos observar que el mejor tratamiento lo muestran aquellas plantas con 20-47-33, sin embargo, las plantas tratadas con concentraciones de Ca de 40%, 50%, 40%, y 44% correspondientes a los tratamientos 6, 7, 9, y 11, no difieren significativamente de aquellas con 47% Ca. Estos resultados concuerdan con Hernández (2015), que en estudios en plantas de tomate encontró que el peso seco total y la altura de la planta incrementan con un aumento de Ca. Sin embargo las plantas tratadas con las concentraciones 30-58-12 y 40-40-20 obtuvieron valores más bajos, este efecto negativo puede relacionarse con la interacción antagónica entre los cationes K:Ca en la absorción en la raíz. (Marchner, 1995).

VI. CONCLUSIÓN

El mayor rendimiento se obtiene con concentraciones en la solución de K = 33% Ca = 44% y Mg = 23%, obteniendo hasta 7.83 kg, pero estas plantas tienden a producir menos frutos, sin embargo, las concentraciones con K = 20%, Ca = 47% y Mg = 33% muestran las mismas tendencias con 7.6 kg por planta, pero con un mayor número de frutos y más biomasa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda, P., Planelles E., y Llopis, J. (2000). Metabolismo del Magnesio, Scientific Communication: Art o Technique, Departamento de Fisiología e Instituto de Nutrición y Tecnología de los alimentos.
- Azcón, J. y Talón M. (2000). Introducción a la Nutrición Mineral de las Plantas: Los elementos minerales. Fundamentos de Fisiología vegetal II, editorial McGraw interamericana cap. 6 pag. 83-98
- Bar-Tal, A. y Pressman E. (1996). Root Restriction and Potassium and Calcium Solution Concentrations Affect Dry-matter Production, Cation Uptake, and Blossom-end Rot in Greenhouse Tomato. J. AMER. SOC. HORT. SCI. Pp. 649–655.
- Bataller, V. (2014). “El Calcio su Asimilación por Parte de las Plantas”. Cannabis magazine. Pp. 61-62.
- Bidwell, R. (1993). Suelo Agua y Aire: La Nutrición de las Plantas. Fisiología Vegetal I México: A.G.T. Editor. P. 272
- Cakman, I. y Yazici M. (1994). Magnesium: Forgotten element in Crop Production. Better Crops 94(2):23-25.
- Fageria, V. D. (2001). Nutrient Interactions in Crop Plants. Journal of Plant Nutrition, Pp. 1269–1290.
- FAO. (2014). La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe. Anuario estadístico de la FAO. Pp 79-80.
- FAO. (2017). La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe. Anuario estadístico de la FAO. Pp 102-113.
- García, M., Escobar, I., y Berenguer J.J. (2005). Green-Pepper Fertigation in Soilless Culture. Proceeding on Soilless Culture and Hydroponics (Urrestarazu Gavilan M., ed). Acta Hort 697, 543-547

- Gómez, M., Baile, A., González M. y Mercader J. (2003). Comparative Analysis of Water and Nutrient Uptake of Glasshouse Cucumber Grown in NFT and Perlite. *Acta Hortic.* 614:175-180
- Hannaway, D., Bush L., y Leggett J. (1982). Mineral Composition of Kenhy Tall Fescue Affected by Nutrient Solution Concentrations of Mg and K. *Journal of Plant Nutrition*, Pp. 137-151
- Hernández, O. (2015). La interacción K: Ca afecta el crecimiento, rendimiento, nutrición y calidad del fruto de tomate en sistema de cultivo sin suelo. Tesis de Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández, R. y Pacheco R. (1986). Caracterización de síntomas visuales de deficiencias nutricionales. *Agronomía Costarricense* Pp13-27.
- Jasso, C., Hochmuth, G., Hochmuth, R., y Sargent, S. (2005). Fruit Yield, Size, And Color Response of two Greenhouse Cucumber Types to Nitrogen Fertilization in Perlite Soilless Culture. *HortTechnol* pp. 565-571.
- Johnson, C. y Decoteau D. (1996). Nitrogen Andpotassium Fertility Affects Jalapeño Pepper Plant Growth,Pod Yield, And Pungency. *HortScience* pp. 1119-1123.
- Larriva, N. (2003). Síntesis de la Importancia del Potasio en el Suelo y Plantas. Facultad de ciencias pecuarias ya agroindustriales pp.1-2.
- Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. Londres. pp. 7-73, 285-299.
- Mármol, J. R. (2011). Cultivo Del Pepino En Invernadero. Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino. Madrid. Pp. 19-31.
- Martínez, V. (2017). Clasificación de Hojas. *Botanica online*. Consultado el 28 /Noviembre/2019
- Navarrete, J. R. (2005). Curvas de Absorción de Nutrientes en el Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) Bajo Condiciones de Campo en Zamorano. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Pp32.

- Omar, M.A. y El-Kobbia T. (1966). Some Observations on the Interrelationships of Potassium and Magnesium. *Soil Science*, 101, 437–440.
- Roberts, T. (1997). Role of Phosphorus and Potassium in the Establishment of Crops. Potash and Phosphorus Institute. Western Canadá.
- Ross, M. (2004). Importancia del Magnesio para Altos Rendimientos Sostenibles en Palma de Aceite. *Palmas*. Vol25 p. 98
- Rubio, J.S., Garcia, F., Flores, P., Navarro, J.M., y Martinez V. (2010). Yield and Fruit Quality of Sweet Pepper in Response to Fertilisation With Ca^{2+} and K^+ . *Spanish Journal of Agricultural Research*, p. 170-177, ISSN 2171-9292.
- Schwarz, M. (1995). Soilless Culture Management. *Advanced Series in Agricultural Sciences* 24. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Pp 12-14
- Selles, G. (2019). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación INIA La Platina. Consultado 05-Diciembre-2019
- Shukla, U. y Mukhi A. (1979). Relación de Sodio, Potasio y Zinc en el Maíz 1. *Agronomy Journal*, 71 (2), 235
- Sosa, P., Valdez, L.A., Cartmill D., Cartmill A., y Benavides A. (2019). Response of Potted Anthurium (*Anthurium andreanum* Lind.) to the K: Ca^{+2} : Mg^{+2} Balance in the Nutrient Solution, *Journal of Plant Nutrition*. Pp 5-12.
- Steiner, A.A. (1961). Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of Certain Disered Composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. *Plant and soil*. Pp. 23-35
- Torres, A., Ardisani E., Cue J.L. (2018). Nutrición Hídrica y Mineral Fisiología Vegetal I.: Universidad Técnica de Manabi: UTM- Universidad Tecnica de Manabi. Pp. 153-159.

Xu, G., Wolf S., y Kafkafi U. (2002). Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition* 25,719-734.

FDA. (1992). Cultivo de pepino. Boletín Técnico no.15. República Dominicana.

Wehner, T.C. y Maynard, D.N. (2003). Cucumbers, melons, and other cucurbits I. *Encyclopedia of food and culture*. New York, USA. pp. 474-479.

Literatura consultada de Internet.

CANNA. (2019). Interacción Entre Nutrientes. Recuperado de http://www.canna.es/interacciones_entre_nutrientes. Consultado el 07/12/19

Bartoletti, S. (1998). Raíz, Tallo y las Hojas: El Cuerpo Vegetal Primario. Estructura de las Plantas, p. 32. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2011/bot/4.pdf>. Consultado el 22/11/19

López, M. (2003). Guia Pepino 2003. pdf p. 45. Recuperado de [http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia Pepino 2003.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia_Pepino_2003.pdf) Consultado el 22/11/19

Mejías, M., Molist, P., y Pmbal A., M. (2015). Órganos Vegetales. Atlas de histología vegetal y animal I, pp. 1–13. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstractypid=S1870-34532007000200013yIng=enynrm=isoytIng=en%5Cnhttp://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/o-imagenes-grandes/tallo-primario-m.php%5Cnhttp://academic.uprm.edu/jvelezg/plantas.pdf Consultado el 22/11/19

Piedrahita, O. (2012). El Calcio en las Plantas. Consultado el 5/12/2019, de NUPREC. P.4 Consultado el 04/12/19

Seminis, (2019). Producción y Exportación del Pepino en México. Consultado el de la página:<https://www.seminis.mx/produccion-y-exportacion-del-pepino-cultivado-en-mexico/> Consultado el 10/12/19

SIAP. (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado de la página:<https://www.gob.mx/siap/articulos/somos-noveno-productor-de-hortalizas-a-nivel-mundial> Consultada el 06/12/19

SIAP. (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

. <https://blogagricultura.com/estadisticas-pepino-produccion/> Consultada el 06/12/19

Sierra, E., Cruz, J., y Donaire, R. (2005). Guías Tecnológicas de Frutas y Verduras. El Cultivo de Pepino, pp.1–13. Recuperado de <http://dicta.gob.hn/files/2005,-El-cultivo-del-pepino,-F.pdf>. Consultado el 24/12/19

USDA-NRCS. (2015). Natural Resources Conservation Service. *Cucumis sativus* L. Recuperado de: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=cusa4#> Consultado 1 de Agosto de 2019