



Universidad Autónoma de Querétaro.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino en sustrato de fibra de coco y acrilato de potasio.

PRESENTA:

Adrián Esteban Ortega Torres

TESIS.

DIRECTOR:

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

CO-DIRECTOR:

QUERÉTARO, SEPTIEMBRE 2017.



Universidad Autónoma de Querétaro
 Facultad de Ingeniería
 Maestría en Ciencias con línea terminal en Ingeniería de Biosistemas

Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino en sustrato de fibra de coco y acrilato de potasio.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en ciencias con línea terminal en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

Adrian Esteban Ortega Torres

Dirigido por:

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa
 Presidente



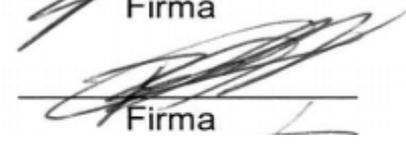
Firma

Dr. Enrique Rico García
 Secretario



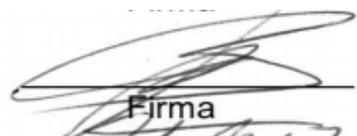
Firma

Dr. Ramón G. Guevara González
 Vocal



Firma

Dr. Juan Fernando García Trejo
 Suplente



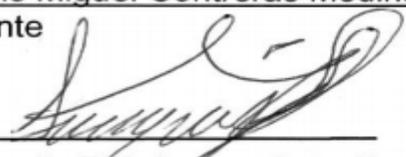
Firma

Dr. Luis Miguel Contreras Medina
 Suplente

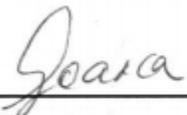


Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
 Director de la Facultad



Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
 Director de Investigación y Posgrado



Centro Universitario
 Querétaro, Qro.
 Fecha 20 de Octubre de 2017.

INDICE.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.	3
1.1 Introducción.	3
1.1.1 Descripción de la tesis.	5
1.2. MOTIVACIÓN.	6
1.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.	6
1.3.1 Hipótesis.	6
1.3.2 Objetivo.	7
1.3.3 Objetivo Específico.	7
CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.	7
2.1 Antecedentes.	7
2.2 Panorama de la Agricultura Protegida.	9
2.3 Panorama de la Hidroponía.	10
2.3.1 Producción hidropónica en México.	11
2.4 Sustratos en Horticultura.	11
2.4.1 Propiedades de los Sustratos.	12
2.4.2 Propiedades Físicas de los Sustratos.	12
2.4.3 Propiedades Químicas.	13
2.4.4 Propiedades Biológicas.	14
2.4.5 Características para Elección del Sustrato.	14
2.5 Panorama del Uso de Polímeros en la Agricultura.	15
2.6 La Nutrición Vegetal	16
2.6.1 Elementos Esenciales.	16
2.7 La Solución Nutritiva (SN).	17
2.7.1 Relación Mutua entre los Aniones.	18
2.7.2 Aporte de Suministros del Agua de Riego.	19
2.8 Consideraciones para los cultivos hidropónicos.	19
2.9 Breve panorama de la producción de jitomate, pimiento y pepino en hidroponía con acrilato de potasio y fibra de coco.	19

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.	20
3.1 Caracterización físico-química del sustrato Acrilato de Potasio.	21
3.1.1 Preparación y caracterización físico-química de muestras del hidrogel.	22
3.1.2 Medidas de retención máximo de agua del acrilato de potasio.	22
3.1.3 Característica química de absorción nutricional del acrilato de potasio.	23
3.2 Determinación de la proporción de mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco.	23
3.3.1 Método de mezclado y dosificación del acrilato de potasio y la fibra de coco.	24
3.3.2 Manejo de la siembra, germinación y trasplante.	26
3.3.3 Preparación de la Solución Nutritiva.	26
3.3.4 Diseño Experimental.	28
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	29
4.1 Caracterización físico-química del sustrato Acrilato de Potasio.	29
4.2 Determinación de la proporción de mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco.	35
4.3 Evaluación del consumo de agua, nutrientes y rendimiento en la mezcla de sustrato en hidroponía con los cultivos de jitomate, pimiento y pepino.	37
4.3.1 Monitoreo de la Cantidad de Solución Nutritiva.	38
4.3.2 Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino con la mezcla de sustrato.	38
4.3.2 Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino con la mezcla de sustrato.	41
CAPITULO V. CONCLUSIONES	46
CAPITULO VI. REFERENCIAS.	48

CAPITULO I .INTRODUCCIÓN.

1.1 Introducción.

La presente propuesta está basada en el uso de un polímero súper absorbente que permita aumentar la retención de humedad en un sistema hidropónico. El objetivo principal de es incrementar el rendimiento sin aumentar significativamente el uso de los recursos naturales básicos como agua y tierra, proporcionando una equitativa relación costo/beneficio generando sostenibilidad económica y social (Avnimelech, 2012).

El conocimiento de la naturaleza es primordial para el desarrollo de la humanidad como única fuente de producción alimenticia; en la actualidad se integra en la cadena de producción tecnologías que sean afines al equilibrio del medio ambiente, las cuales puedan potencializar el uso de los recursos como en la presente investigación, el uso de polímeros súper absorbentes en el sustrato, que permita disminuir la cantidad de solución nutritiva suministrada y de obtener igual cantidad de producción.

Se desarrollo la experimentación con los siguientes cultivos debido a su importancia actual en producción; el jitomate (*Lycopersicon esculentum L*), hortaliza más cultivada en el mundo y de mayor valor económico, con amplitud de crecimiento en su demanda, el pimiento (*Capsicum annum sps.*) se encuentra entre las principales hortalizas frescas más demandadas, representando un negocio en plena expansión, amplias oportunidades y con alta rentabilidad (Aguayo, 2013); y por último el pepino (*Cucumis sativus*)por su alto potencial económico, y su amplio consumo en muchas regiones del mundo (Gálvez, 2004).

La mayor de producción de hortalizas es en un sistema que se conoce como agricultura protegida realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos (Moreno *et al.*, 2011), ofreciendo beneficios como los son altos rendimientos, alta calidad, mayores niveles de sanidad e inocuidad de los productos, incremento de la eficiencia del agua, seguridad en la

producción, independencia del clima, acceso a mejores mercados y alta rentabilidad económica (Sánchez del Castillo *et al.*, 2014). En el experimento se utilizará el uso de la técnica hidropónica debido a su amplia expansión, a su potencial para utilizarse en cualquier condición de suelo, la adición de los nutrientes de forma directa a la planta por el riego determinando de esta forma mantener un rendimiento controlado conjunto con el sistema de agricultura protegida permitiendo tener las ventanas de mercado durante la mayor parte del año, y como la define Salazar-Moreno *et al en el* 2014: "La hidroponía es el sistema de producción en el que las raíces de las plantas son irrigadas con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que en vez de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o incluso la misma solución. El uso de sustratos son una característica principal para la producción hidropónica de hortalizas de crecimiento indeterminado o arbustivo, por lo cual se definió como utilizar la fibra de coco y el acrilato de potasio.

Por lo cual determinar una mezcla adecuada de sustrato, es de importancia ya que mantendrá las condiciones físicas adecuadas para el sistema radical de la planta y de este la facilidad para disponer de los nutrientes suministrados en el riego; la mezcla que se pretende utilizar es con fibra de coco que es ampliamente utilizada al ser un residuo y que posee características de comercialización en forma independiente para el cultivo en hidroponía como es en la forma denominada de bolis, y que se encuentra caracterizado de una forma estándar y el cual se mezcla con el hidrogel de acrilato de potasio (lluvia sólida), el cual incrementa el rendimiento, el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas; y es especialmente conveniente en la técnica de cultivo denominada hidroponía (Gómez y Braham, 2014); el hidrogel es un polímero súper absorbente que tiene la capacidad de absorber agua y otras disoluciones acuosas (Estrada, 2012; Gómez y Braham, 2014) permite que las plantas dispongan de nutrientes y agua de acuerdo a la función de los ciclos de absorción-liberación (Tornado, 2012). Como lo comenta Ramos *et al.*, (2009), el hidrogel permite espaciar las frecuencias de riego, libera el agua a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituye una reserva hídrica. Los cuales son biodegradables, y no presentan daño a la salud, ni al medio ambiente. El objetivo de esta tesis es evaluar la mezcla de sustrato entre fibra de coco y acrilato de potasio en los cultivos de jitomate, pimiento y pepino en hidroponía.

1.1.1 Descripción de la tesis.

La estructura de esta tesis considera un resumen de manera concreta de lo que se realizó en esta investigación mencionando los resultados alcanzados en base a los objetivos planteados, un resumen, posteriormente se organizó en 5 capítulos como a continuación se mencionan capítulo 1. Introducción un estudio deductivo de la investigación y los aspectos claves que intervendrán el polímero, la hidroponía y los cultivos agrícolas, haciendo énfasis en la necesidad de aportar estrategias para realizar mezclas de sustratos con el aporte de esta investigación. En este mismo apartado se plasma la motivación, la cual esta formada por justificación, interés, inquietud de la unión sobre la incógnita científica en cuestión para realizar este trabajo. Al final se encuentran los objetivos e hipótesis en los cuales se soporta esta investigación.

Capitulo 2. Revisión de literatura está organizada de la siguiente manera antecedentes en esta parte se realizó una revisión de los trabajos más actualizados que se han llevado a cabo con respecto al tema que se está investigando así como los aportes que se han realizado a la rama de interés. Este es una revisión teórica del uso de polímeros en la agricultura, su desarrollo y características; las propiedades de los sustratos en hidroponía tanto las físicas como las químicas, también se abarca los temas principales para los cultivos de jitomate, pimiento, y pepino en hidroponía, como lo son la solución nutritiva, sus aspectos fisiológicos de la plantas y la nutrición vegetal.

Capitulo 3. Materiales y métodos contempla los siguientes aspectos: área de estudio, lugar y período de estudio, material biológico y contenedores, la caracterización fisicoquímica del acrilato de potasio que incluye porosidad total, densidades, capacidad de retención de agua, absorción nutrimental; la cinética para la determinación de la mezcla de sustrato adecuada y la evaluación de los consumos de agua y nutrientes como el rendimiento con la mezcla de sustrato y en los cultivos seleccionados.

Capítulo 4. Resultados y discusión, en la primera parte se muestra el análisis fisicoquímico realizado para presentar como una alternativa de sustrato al acrilato de potasio e integrarlo en la gran variedad de sustratos que se encuentran caracterizados, la segunda parte de los resultados se presenta la mezcla seleccionada entre la fibra de coco y el acrilato como óptima en cuanto a la mayor retención de humedad y como último de se muestra la mezcla de sustrato con los cultivos de jitomate, pimiento y pepino junto con la validación de la cantidad de agua que se suministro durante dicho estadio experimental.

Capítulo 5 se presentan las conclusiones más importantes de este trabajo. Al final las sugerencias y recomendaciones del autor con respectos a trabajos futuros en esta línea de investigación así como las referencias consultadas.

1.2. Motivación.

La presente investigación está enfocada en proporcionar una alternativa de solución en la producción primaria con los retos ambientales y sociales actuales como son un ejemplo la pérdida de suelo, la pérdida y sobreexplotación del agua, la mala praxis de las técnicas agrícolas industriales. Fuente de información e investigación que permita promover el incremento del índice de desarrollo humano (PNUD, 2013), que reside de importancia principal en el sector agrícola para ofrecer oportunidades y alternativas suficientes de ingresos sostenibles a la población y al productor por medio de la transferencia de información y tecnología desarrollada en el método científico.

De esta forma se pretende abarcar los productos agrícolas de mayor representatividad en el mercado nacional y de importación que son el jitomate, el pimiento y el pepino, donde uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en los cultivos en hidroponía, es el sustrato o medio de crecimiento (Pastor, 2000). Se definió utilizar una mezcla de sustrato entre fibra de coco y acrilato de potasio; donde la fibra de coco está siendo utilizada en mayor cantidades por los productores debido a que responde por sus propiedades como un material inerte y con buenas propiedades fisicoquímicas, así como es un subproducto del aprovechamiento del fruto y que puede prever un abastecimiento indeterminado por mucho tiempo (López-Marín et al., 2008), y el acrilato de potasio por su amplia capacidad de retención de líquidos, siendo un papel importante el mezclar ambas características para responder a las situaciones de ampliar el mercado con la misma cantidad de agua o de ahorrarla.

1.3 Hipótesis y Objetivos.

1.3.1 Hipótesis.

El uso de acrilato de potasio en mezcla con fibra de coco por su capacidad de absorción y tiempo de liberación, en un cultivo hidropónico, reduce significativamente el consumo de agua y de nutrientes sin merma de rendimiento con relación a las mezclas tradicionales de sustrato.

1.3.2 Objetivo.

Determinar el efecto del acrilato de potasio con la fibra de coco en el consumo de agua, nutrientes y rendimiento en los cultivos de jitomate, pimiento y pepino desarrollados en hidroponía.

1.3.3 Objetivo Específico.

- Realizar la caracterización físico-química del acrilato.
- Determinar la proporción de la mezcla adecuada de acrilato de potasio y fibra de coco.
- Desarrollar la etapa experimental para evaluar el efecto de la mezcla en las variables consumo de agua, nutrientes y rendimiento en los cultivos jitomate, pimiento y pepino desarrollados en hidroponía.
- Realizar los análisis estadísticos necesarios para probar la hipótesis en los concernientes a las variables consumo de agua, nutriente y rendimiento en los cultivos de interés.

CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.

2.1 Antecedentes.

Desde sus inicios hasta la actualidad los polímeros súper absorbentes (hidrogeles) continúan siendo un desarrollo importante en la industria y en la ciencia debido a sus múltiples aplicaciones tecnológicas (Guilherme *et al.*, 2016), como en la medicina (Zhang *et al.*, 2013, Ulery *et al.*, 2011), en la ingeniería y en particular en la agricultura por sus aplicaciones en mejora de la producción (Gutiérrez, 2012).

A nivel internacional, los estudios mostraron que los hidrogeles proporcionan una gama de beneficios ambientales en el control de la erosión del suelo al reducir las pérdidas de sedimentos y nutrientes (Assaf *et al.*, 2015,). Además, los hidrogeles pueden absorber agua y nutrientes con el fin de liberarlos gradualmente (Farrell *et al.*, 2013). El hidrogel promueve la colonización del suelo con bacterias y micorrizas (Sojka *et al.*, 2007). La influencia de los hidrogeles depende de la estructura del suelo, de la concentración de sales ,de los fertilizantes (Yang-Ren *et al.*, 2007), y de la planta cultivada.

Las plantas cultivadas en suelos tratados con hidrogel tenían más agua disponible durante períodos de tiempo más largos, lo que permitió disminuir la frecuencia de riego (Agaba *et al.*, 2011). Generalmente, su eficiencia disminuye en el tiempo, esto se demostró con la significativa reducción en la capacidad de retención de agua después de 18 meses de su puesta en el suelo (Holliman *et al.*, 2005). Actualmente, muchas de las investigaciones científicas muestran datos relativos a la eficacia del hidrogel en diferentes tipos de suelos (Nevenka *et al.*, 2012). Por lo tanto, el entendimiento y la evaluación de un hidrogel debe implicar su caracterización en relación con el tipo de suelo específico (Kim *et al.*, 2010) o como en la presente investigación de ser una alternativa de sustrato en hidroponía determinando las propiedades del hidrogel acrilato de potasio.

El acrilato de potasio podría ser una opción importante que permita a los agricultores mantener la lluvia como reserva, varios informes indican que aumenta el crecimiento de las plantas y reduce el uso de productos fertilizantes químicos hasta en un 50%.

El acrilato de potasio es un compuesto de copolímeros reticulados de ácido acrílico y potasio, no tóxico, a base de ácido de acrilamida, con la capacidad de almacenar hasta 500 veces su peso, con una vida útil de 10 años, biodegradable ya que se descompone en carbono y potasio.

2.2 Panorama de la Agricultura Protegida.

La agricultura protegida es realizada bajo diversas estructuras para proteger los cultivos de los riesgos que pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de recursos productivos (agua o de superficie) (Moreno *et al.*, 2011), por lo cual ofrece amplios beneficios como son los altos rendimientos, mayor calidad, altos niveles de sanidad e inocuidad, incremento en la eficiencia del agua, seguridad en la producción, independencia del clima, acceso a mejores mercados y con un constante crecimiento en México (Sánchez del Castillo *et al.*, 2014).

En el 2000 se contaba con 700 hectáreas (Ha) para aumentar en el 2015 a 24 mil Ha (Fig.1); con un crecimiento anual del 12% (SIAP, 2016; AMHPAC, 2017), de las cuales son de invernadero y en malla sombra.

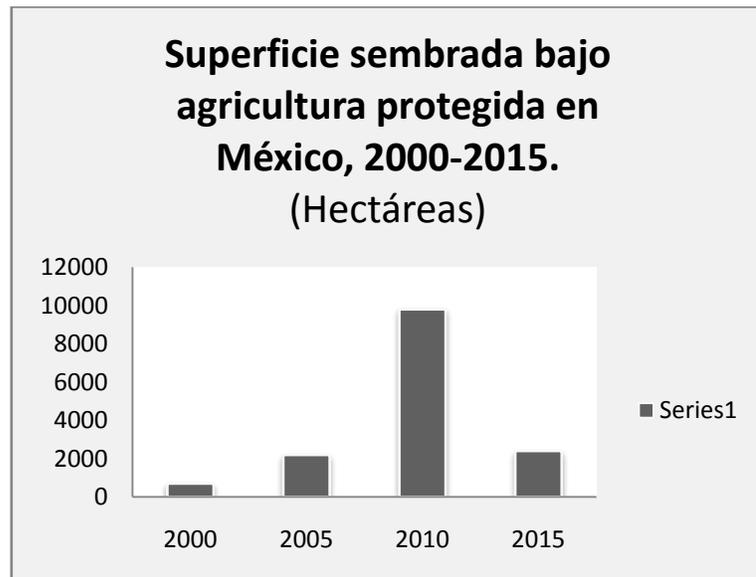


Figura 1. Superficie sembrada en agricultura protegida México (SIAP, 2016).

En México, la agricultura protegida se encuentra en 32 estados del país, concentrado el 53% de la superficie en Sinaloa, Jalisco, Baja California y el Estado de México, respectivamente (AMHPAC, 2017). Los principales cultivos son jitomate con un 53.1%, pepino con un 14.4% y pimiento con un 13.5% (SIAP, 2016), la capacidad productiva de hortalizas en el país es mayor a 3.5 millones de toneladas, con un valor superior a los 1,500 millones de dólares anuales (AMHPAC, 2017). Con estos resultados de los cultivos hortícolas y su importancia en México, se propuso su utilización en la presente tesis con la tecnología hidropónica.

2.3 Panorama de la Hidroponía.

La hidroponía es el sistema de producción en el que las raíces de las plantas son irrigadas con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que en vez de suelo se utiliza un material inerte y estéril como sustrato o incluso la misma solución (Salazar-Moreno *et al.*, 2014), lo que se denomina cultivo en agua. La mayoría de los sistemas hidropónicos se encuentran en invernadero (Lara, 1999), donde las raíces reciben un equilibrio de nutrientes disueltos en agua con los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas; existe un pronóstico que indica que el 70% de la población vivirá en zonas urbanas para el 2050 (OECD, 2012), resaltando la importancia de pasar de una técnica de cultivo en suelo a una técnica de cultivo sin suelo.

La hidroponía comprende varias técnicas entre las que destaca la Nutrient Film Technique (NFT por sus siglas en inglés), la de cama flotante y en sustrato.

2.3.1 Producción hidropónica en México.

Una de las prioridades de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), es para el sector rural o el suburbano, con escasos recursos en las regiones de América Latina y el Caribe, para desarrollar y apropiarse de tecnologías, se promueve el desarrollo de herramientas que permitan mejorar las condiciones de vida e incrementar el ingreso y la alimentación de sus pobladores. La hidroponía popular está comenzando a consolidarse en Sudamérica y el Caribe como una opción imaginativa en la lucha contra la pobreza (Marulanda e Izquierdo, 2003). La técnica de hidroponía tiene la ventaja del reciclamiento o reutilización de la solución nutritiva drenada, evitando con esto la contaminación de las corrientes subterráneas y mantos acuíferos.

2.4 Sustratos en Horticultura.

El sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico (Fig. 2), que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta y el crecimiento del cultivo (Abad y Noguera, 2000) que puede intervenir o no en la nutrición.



Figura 2. Sustratos en horticultura (Hydroenvironment, 2016).

Los sustratos están formados por tres fases y cada una de ellas cumple una importante función:

- a) Fase sólida: es la responsable del anclaje de la raíz y asegura la integridad de la planta.
- b) Fase líquida: es muy importante en el suministro de agua y nutrición a la planta.
- c) Fase gaseosa: es la responsable del transporte del dióxido de carbono y oxígeno entre la raíz y el medio externo (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008).

2.4.1 Propiedades de los Sustratos.

En los suelos las propiedades químicas son primordiales y con menor importancia las propiedades físicas; caso contrario en las propiedades de los sustratos hidropónicos donde sus propiedades físicas son fundamentales y las propiedades químicas de menor relevancia, dado que todos los nutrientes se suministran en la solución; por lo que las propiedades físicas dependerán del manejo del riego y por ende gran parte del éxito del cultivo (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008).

2.4.2 Propiedades Físicas de los Sustratos.

A) Porosidad: Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y no conformado por partículas orgánicas ni minerales (Martínez, 1996). El espacio o volumen útil de un sustrato corresponderá a la porosidad abierta. El grosor de los poros condiciona la aireación y retención de agua del sustrato (Martínez, 1996). En los suelos el espacio poroso es del orden de 50%, la porosidad se asocia con la capacidad del material para suministrar aire a la raíz (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008); en los sustratos orgánicos el valor se ubica por arriba del 85% mientras que en sustrato como tezontle se han encontrado valores de 60 a 80%. Es importante recalcar que un alto valor de porosidad no implica necesariamente un sustrato con buena estructura, sino que es necesario conocer la relación entre la fracción de alijo de agua después del riego y la que la proporción de aireación (Abad y Noguera, 2000).

B) Densidad: La densidad de un sustrato se puede referir bien a la del material sólido que lo compone y entonces se habla de densidad real, o bien de densidad calculada considerando el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso, y se denomina densidad aparente. La densidad real tiene un interés relativo, su valor varía según la materia de que se trate y suele oscilar entre 2.5-3 para la mayoría de los de origen mineral. La densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo, sus valores se prefieren bajos (0.7-01) garantizan una cierta consistencia de la estructura (INFOAGRO, 2017).

C) Granulometría: El tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poros conforme sea mayor la granulometría (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008).

2.4.3 Propiedades Químicas.

Las propiedades químicas de un sustrato se derivan de la composición elemental de los materiales y se caracterizan la transferencia entre el sustrato y la solución del mismo. Debido a que estas se modifican mediante la aplicación del riego y solución nutritiva, se consideran de menor importancia (INFOAGRO, 2017). Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza:

A) pH: Tiene efectos importantes sobre la disponibilidad de los nutrientes, así como sobre la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica, en condiciones de cultivos intensivos se recomienda mantener el pH entre 5.5 y 6.5 (Escudero, 1993).

B) Salinidad: Se refiere a la concentración de sales en el sustrato y se determina con la conductividad eléctrica en dS/m, en extracto de saturación se recomienda valores de 1.2 a 2.6 dS/m (Lemaire *et al.*, 2003), es muy recomendable que el sustrato al momento de iniciar la plantación tenga siempre una conductividad menor de 2 dS/m y durante el ciclo de cultivo las condiciones de manejo de riego y drenaje tener control en la elevación de la salinidad (Castellanos y Vargas-tapia, 2008).

C) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): se define como la suma total de cationes que pueden ser adsorbidos e intercambiados en un sustrato. Una elevada CIC representa un depósito de reserva de los nutrientes y viceversa, por lo tanto en baja requieren de una aplicación más frecuente de fertilizantes (Lax *et al.*, 1986).

2.4.4 Propiedades Biológicas.

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radicular. La actividad biológica está restringida a los sustratos orgánicos y se eliminarán aquellos cuyo proceso degradativo sea demasiado rápido (INFOAGRO, 2017).

2.4.5 Características para Elección del Sustrato.

La elección del sustrato se realiza con base en:

- A) Análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Fig. 3).



Figura 3. Análisis de conductividad para la fibra de coco.

- B) Ensayos de evaluación agronómica.
- C) Costo de adquisición (INFOAGRO, 2017).

Abad *et al.* (2005) mencionan que salvo en situaciones extremas ningún sustrato que cumpla con los requerimientos mínimos (propiedades físicas principalmente) puede considerarse inadecuado, porque las plantas responden a las características de los sustratos más que a sus materiales o constituyentes. Sin embargo, no siempre un sustrato reúne todas las características deseables; por ello es que recurrimos a realizar mezclas de los mismos, buscando que unos aporten lo que les falta a otros.

2.5 Panorama del Uso de Polímeros en la Agricultura.

En la agricultura destacan los polímeros súper absorbentes que tienen la capacidad de absorber agua y otras disoluciones acuosas (Estrada, 2012; Gómez y Braham, 2014), denominando a la mayoría como hidrogeles por su propiedad de absorber agua y nutrientes, permitiendo que la planta disponga de estos a su voluntad, en función de los ciclos de absorción-liberación (Tornado, 2012). Como lo comenta Ramos *et al.*, (2009), el hidrogel permite espaciar las frecuencias de riego, libera el agua a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituye una reserva hídrica.

El hidrogel está compuesto por una gama de polímeros aniónicos de poliacrilamida súper absorbentes entre los que se encuentra el sustrato que se pretende integrar como un copolímero reticulado de acrilato de potasio y acrilamida (Tornado, 2012).

Los cuales son biodegradables, y no presentan daño a la salud, ni al medio ambiente. El hidrogel mezclado con sustrato, incrementa el rendimiento, el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas; es especialmente conveniente en la técnica de cultivo denominada hidroponía (Gómez y Braham, 2014), donde los nutrientes los reciben diluidos en la solución acuosa del gel (Fig. 4).

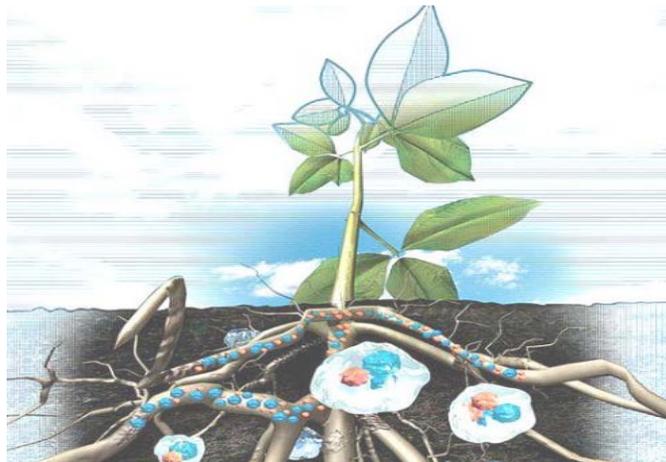


Figura 4. El hidrogel absorbe agua y nutrientes (Estrada, 2012).

En la incorporación del hidrogel de acrilato de potasio, comenta González en el 2010 que puede usarse como único sustrato para el crecimiento de las raíces en hidroponía, condicionando el sustrato para el desarrollo de las plantas. El hidrogel absorbe agua y nutrientes (Estrada, 2012).

Se plantea el uso del polímero súper absorbente acrilato de potasio como alternativa para disminuir la producción en agricultura protegida e hidroponía pues puede absorber hasta 150 veces su propio peso (Tipanta y Calvache, 2008).

2.6 La Nutrición Vegetal.

El adecuado crecimiento de las plántulas desarrolladas en las cavidades de los contenedores requiere de la aplicación continua de nutrientes, mediante una solución nutritiva, debido a que en los sustratos están en contenedores, no satisfacen la demanda nutrimental que las plántulas lo requieren (Magdaleno *et al.*, 2006). El conocimiento de que elementos minerales requiere los cultivos hortícolas para su crecimiento, su ritmo de absorción en cada una de las etapas de su desarrollo es fundamental para formular recomendaciones de abonado. La decisión de que nutrimento aplicar, en qué cantidad, época y forma, debe ser el corolario de un proceso de análisis que el técnico debe tomar considerando el medio en que se desarrollara el cultivo y los niveles de producción que desea alcanzar (FAO, 2013).

2.6.1 Elementos Esenciales.

En las plantas cultivadas se han descrito 16 elementos, denominados esenciales, para que estas puedan completar su desarrollo. El 95 % del peso fresco total de las plantas lo constituyen 3 elementos, el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), todos provenientes de la atmósfera, se incorporan a las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis. El carbono proviene del CO₂ del aire, en cambio el H y el O provienen del agua, la cual debe llegar al suelo para ser absorbida por las plantas y trasladada por su sistema vascular hasta las hojas donde se realiza la fotosíntesis (Pérez, 2012). El resto de los elementos las plantas los toman desde el suelo en distintas cantidades, por ello se agrupan en macroelementos para referirse a aquellos que las plantas los requieren en mayor cantidad, como es el caso del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y microelementos cuando son requeridos en pequeñas cantidades, como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (INFOAGRO, 2017).

2.7 La Solución Nutritiva (SN).

La SN consiste en agua con oxígeno y los nutrientes esenciales en forma iónica, o como quelatos de hierro (Steiner, 1968), para que puedan estar disponibles los nutrientes se deben encontrar disueltos, y evitar las pérdidas por precipitación pues puede ocasionar su deficiencia en la planta o el desbalance en la relación mutua entre los iones (Steiner, 1961).

En hidroponía, las necesidades nutricionales de las plantas son satisfechas con la SN que dependerá de cada especie, variedad, etapa fenológica y condiciones ambientales (Adams, 1994), es parte definitiva en la hidroponía. Los aspectos más importantes son la relación mutua entre los aniones y los cationes, la concentración de nutrientes expresados en la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación NO₃⁻ : NH₄⁺ y la temperatura.

2.7.1 Relación Mutua entre los Aniones.

El concepto de relación mutua entre iones fue empleado por Steiner (1961). Se basa en que la SN debe estar balanceada en sus nutrientes: NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , para el caso de los aniones. El balance consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra.

Según Steiner (1968) señaló que la concentración en un ion es el problema más importante en la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica; una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento.

Los nutrientes que demandan las plantas en la relación mutua entre aniones y cationes, dependen de la etapa fenológica. Con base en lo reportado por Resh (1991), Valenzuela *et al.* (1993) y Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica y en la reestructuración del metabolismo primario. Estas fluctuaciones influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa.

Los nutrientes que contiene la SN en forma de cationes son K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , algunas de las soluciones incluyen al NH_4^+ . De manera similar a lo explicado para los aniones, la relación mutua entre los cationes contenidos en la planta es dinámica en su ontogenia. El K^+ disminuye en forma proporcional a la que se incrementa el Ca^{2+} , el Mg^{2+} sufre pocos cambios (Steiner, 1973). La demanda y, por lo tanto, la absorción de los nutrientes no son lineales durante el desarrollo de la planta, esto trae como consecuencia que también deba sincronizarse la relación mutua entre los iones en la SN.

De no hacerlo así, se pueden generar desbalances nutrimentales, como por ejemplo el antagonismo entre K^+ y Ca^{2+} (De Kreij *et al.*, 1992).

Para elegir la SN apropiada en cada caso, deben tomarse en cuenta las condiciones del ambiente. Debido a la relación existente entre la absorción de Ca^{2+} y de agua por parte de la planta, la interacción de los factores ambientales y la relación mutua entre los cationes tienen gran influencia en la nutrición de las plantas. En las plantas al aumentar la presión de vapor en la atmósfera, disminuye el flujo de transpiración y, por ende, la absorción de Ca^{2+} , si

además la SN tiene una relación $\text{Ca}^{2+} : (\text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ baja (menor que 40:60) es muy probable que se manifiesten algunos problemas fisiológicos derivados de un desbalance nutrimental, como es el caso de la pudrición apical (Adams y Ho, 1993)

2.7.2 Aporte de Suministros del Agua de Riego.

El agua de riego también trae consigo nutrimentos como calcio, azufre y magnesio, además contiene elementos tóxicos como el sodio y cloro. Por tal razón siempre se debe analizar el agua de riego para conocer los aportes nutrimentales y definir que hay que agregar para completar las cantidades requeridas en la solución nutritiva.

2.8 Consideraciones para los cultivos hidropónicos.

En el cultivo hidropónico se incluirán tres tipos de hortalizas, la primera el jitomate (*Lycopersicon esculentum L*) de mayor producción bajo invernadero en México (INIFAP, 2011), el pimiento (*Capsicum annuum*) la hortaliza fresca de mayor demandada y que posiciona al país a nivel mundial en segundo lugar de exportación según Aguayo (2013), y por último el pepino (*Cucumis sativus*), que mantienen a los productores en la competencia internacional.

2.9 Breve panorama de la producción de jitomate, pimiento y pepino en hidroponía con acrilato de potasio y fibra de coco.

La producción hidropónica mantendrá baja utilización de energía eléctrica por medio del control del sistema de riego de acuerdo a las necesidades hídricas del sustrato, el uso del acrilato de potasio y la mantención de la humedad en la bolsa de cultivo tiene como objetivo de disminuir costos en fertilizantes y drenaje, se pretende hacer frente a los retos futuros y actuales de optimizar el uso de los recursos por medio de tecnologías amigables al medio ambiente en la agricultura.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

El área de estudio se ubica en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicada en la comunidad de Amazcala municipio del Marques Querétaro, localizada en el sector suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud norte con longitud de 100° 09' y los 100° 24' del oeste a 1850 metros sobre el nivel del mar; colinda con el municipio de Colón y al sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo.

El lugar de estudio se estableció en el período de Junio a Noviembre del 2016 en un invernadero de 108 metros cuadrados, con cubierta del suelo blanca, y una pendiente del 5-7%, los cultivos se desarrollaron en bolsas de sustrato de 30 x 30 cm y canaletas de fibra de vidrio.

Se utilizaron semillas provenientes del Rancho Los Molinos de tres cultivos diferentes: pepino, jitomate y pimiento, semillas de características híbridas de crecimiento determinado, con excelente vigor y cobertura, con buena uniformidad de planta, de madurez intermedia, los frutos del pimiento son de color verde y rojo, los frutos del pepino de peso promedio entre 220 y 240 gr y en el caso del jitomate frutos de color rojo intenso (alto contenido de Licopeno), peso promedio de 110 a 130 gr, de forma ovalada, muy firme (alto porcentaje de sólidos solubles) de paredes gruesas.

En el invernadero se colocó una estación meteorológica con captación interna y externa de DAVIS Instruments, y un sistema para la automatización del riego mediante un sensor de humedad de suelo.

3.1 Caracterización físico-química del sustrato Acrilato de Potasio.

El acrilato de potasio se obtuvo del Distribuidor Autorizado en Hacienda de la Peña, Querétaro, Qro., Todas las soluciones fueron preparadas utilizando agua de pozo con las características macronutritivas de: Nitrógeno (2,1 ppm), Potasio (25,4 ppm), Calcio (26 ppm) y de Azufre (35,5 ppm) de la zona semiárida del altiplano de México para representar las condiciones generales de los cultivos agrícolas.

Se utilizaron tres tratamientos con relación a la cantidad de agua que absorbe el acrilato de potasio de 100%, 200% (Ripanta y Clavache (2008), y 500%, cada cual por triplicado, evaluados en un tiempo de análisis total de 3 horas con muestreos realizados cada 30 min, obteniendo una población total de 18 pruebas por tratamiento para cada factor de análisis fisicoquímico (Fig. 5) a cada prueba fisicoquímica permisible se analizó estadísticamente con ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0.05, con el paquete MINITAB 2017.

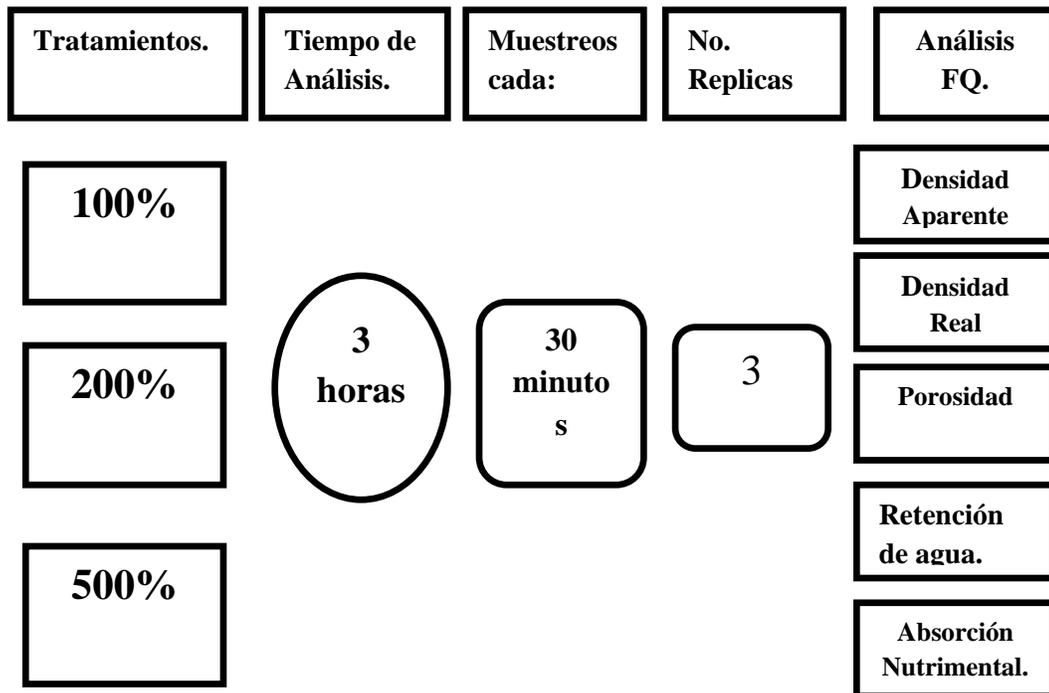


Figura 5.

Metodología de la caracterización fisicoquímica del Acrilato de potasio.

3.1.1 Preparación y caracterización físico-química de muestras del hidrogel.

Los tratamientos de 100%, 200% (Ripanta y Clavache, 2008), y 500% se les estableció la proporción de 50 mg de acrilato de potasio con 5 ml, 10 ml y 25 ml de solución; se determinó la Densidad Aparente (D_a) (Ansorena, 1994), la densidad real (D_r) por picnometría de líquidos (Téres *et al.*, 1996), la porosidad (P_t) (Rodríguez Macías *et al.*, 2010), la capacidad de retención de agua (Vallejo *et al.*, 2005) y la absorción nutricional, con el tiempo de análisis total de 3 horas con muestreos realizados cada 30 min.

A partir de las determinaciones de las densidades se obtiene la porosidad del sustrato con la siguiente ecuación:

$$P_t(\%) = 100 * \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \quad (1).$$

3.1.2 Medidas de capacidad de retención de agua máxima del acrilato de potasio.

Su capacidad de retención de agua se calculó con los siguientes datos:

Masa inicial para el acrilato de potasio (W_x), y la Masa del Acrilato en el tiempo (W_h) que es el agua absorbida con relación a la masa del hidrogel (Vallejo *et al.*, 2005).

Las muestras se saturaron en recipientes adecuados, se cribaron por medio de una malla de medida de 10 mesh para tomar los datos W_h ; que se determinan con la siguiente ecuación:

$$Q(t) = \frac{W_h(t) - W_x}{W_x} \quad (2)$$

Dónde:

$Q(t)$: capacidad de retención de agua;

W_h : masa de hidrogel en el tiempo (t), expresada en gramos

W_x : masa de acrilato en gramos.

3.1.3 Característica química de absorción nutrimental del acrilato de potasio.

Se determinó la absorción nutrimental de Nitratos (NO₃) y Potasio (K) con el equipo HANNA Multi Range Photometer HI 83203-02 y la Conductividad Eléctrica (C.E.) con LAQUATwin de Horiba. El procedimiento consistió en utilizar al fertilizante orgánico líquido BENEFIT PZ, de VALAGRO, con una dilución de 10 ml por litro de agua para formar la solución nutritiva (S.N.) , la cual se analizo directamente como forma de control y se añadió la cantidad de mililitros a los tratamientos para su análisis en el tiempo de prueba; la solución nutritiva sobrante en el muestreo fue a la que se analizo su cantidad presente de los nutrientes para por medio de una diferencia entre el promedio del control y el sobrante se determino la cantidad presente en la matriz del acrilato de potasio.

3.2 Determinación de la proporción adecuada de mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco.

Para obtener la mejor combinación de retención de humedad, se realizó una prueba cinética utilizando los tratamientos del 100% de acrilato de potasio (AP) y de fibra de coco (FC), de 75-25% mayor de AP , de 50-50% y por último de 25-75% menor de AP, cada uno por triplicado. Se utilizaron charolas para saturar las mezclas por un tres horas con agua de grifo, para ser colocadas en la estufa ECOSHEL 9162 FCD-2000, a los niveles de temperatura: 25, 30, 40 y 50 °C, evaluados en un tiempo de análisis total de tres horas con muestreos periódicos cada 30 minutos.

Se asignó la diferencia de las mezclas con el análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0.05. Con el paquete MINITAB.

3.3 Evaluación del consumo de agua, nutrientes y rendimiento en la mezcla de sustrato en hidroponía con los cultivos de jitomate, pimiento y pepino.

Se acondiciono el invernadero (Fig. 6), con el total de los componentes del sistema hidropónico y se realizo la prueba de uniformidad de riego, se fijó la frecuencia de riego con un sensor de humedad de suelo DECAGON DEVICES modelo MAS-1 manteniendo un porcentaje de humedad entre el 45 al 50 % en el sustrato, se colocaron los tratamientos con 25 plantas por línea y en triplicado de forma sucesiva.

Para el procedimiento de la evaluación de los cultivos se realizo el mezclado y la dosificación del sustrato, la preparación de la solución nutritiva, el monitoreo de la cantidad de agua y el diagnostico del rendimiento, que se describen en el orden correspondiente a continuación:



Figura 6. Acondicionamiento del Invernadero experimental campus Amazcala, UAQ.

3.3.1 Método de mezclado y dosificación del acrilato de potasio y la fibra de coco.

Se obtuvo el nivel de capacidad de retención de agua del acrilato de potasio, el marco de plantación y la medida de la bolsa de cultivo que se evaluaron con la siguiente ecuación para:

$$\mathbf{Vol. cultivo = Vol. Bolsa * No. de Plantas} \quad \mathbf{(3)}$$

Donde:

Vol. cultivo: indica el volumen necesario de sustrato para el crecimiento del cultivo.

Vol. Bolsa: se refiere al volumen a utilizar del recipiente para el cultivo hidropónico en sustrato.

No. De Plantas: La cantidad de plantas totales a trasplantar en el invernadero.

Se determinó en la prueba de cinética la cantidad de cada sustrato y con la siguiente ecuación se:

$$\mathbf{Vol. FC = Vol. cultivo - (Q(tmax) * (0.8) * (%utilizar))} \quad \mathbf{(4)}$$

Donde:

Vol. FC: Volumen de fibra de coco a utilizar en cultivo.

Vol. Cultivo: Volumen total necesario para el cultivo.

Q(tmax): Capacidad máxima de retención de agua del acrilato de potasio.

(%utilizar): porcentaje definido para la mezcla del sustrato del acrilato de potasio.

(0.8)= Valor utilizado para acoplamiento de trabajo en campo.

Se realizó la mezcla con tanques o recipientes con desagüe y/o de fácil maniobra, donde se colocó el polímero en su forma de expansión evitando de esta forma la pérdida por drenaje de la bolsa. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Vol. tanque} = \text{Vol. FC} * (1.6) * \text{Cant. A. P.} * (Q(t_{\max})) \quad (5)$$

Dónde:

Vol. Tanque: Volumen del tanque necesario para realizar la mezcla.

Cant. A.P.: Cantidad de acrilato de potasio para hincharse en un volumen, en base a la relación de 1- Q(t_{max}).

Se colocó las cantidades de los sustratos con nivel de agua del 80-90% del total del tanque, homogeneizando completamente, se dejó por 24 hrs y se procedió al llenado de bolsas. Pasadas las 24 hrs se drenó el agua, y se llenó las bolsas; se lavó la fibra de coco hasta una conductividad de alrededor 1.2 ds m^l.

3.3.2 Manejo de la siembra, germinación y trasplante.

El proceso de siembra inicio con la desinfección de las charolas de 200 cavidades con una dilución de hipoclorito de sodio a una concentración de 3 ml/l de agua, se humedeció el sustrato peatmoos a capacidad de campo, para luego llenar las charolas hasta tres cuartas partes de cada cavidad con el sustrato mencionado, se colocó una semilla por cavidad a una profundidad de 1/2 cm y el resto del volumen se cubrió con vermiculita, se proporcionó un riego abundante solo con agua natural las charolas fueron estibadas y cubiertas con un plástico negro para estimular el proceso de germinación siendo colocadas en una cámara de germinación a una temperatura promedio de 25°C y humedad relativa de 70% donde permanecieron, hasta que emergieron las primeras plántulas proceso que inicio a los cuatro días después de la siembra (dds). Se trasplantaron al invernadero de crecimiento a las 3 semanas de emergencia, con el establecimiento del experimento el 29 de Agosto del 2016.

3.3.3 Preparación de la Solución Nutritiva.

La solución nutritiva (SN) base utilizada para la experimentación fue la de Steiner (1984), donde se utilizó agua de pozo con las siguientes características: pH 7.90, conductividad eléctrica 0.03 decisiemens por metro (ds/m⁻¹). Ca²⁺= 0.59 mili equivalentes por litro me/L, Mg²⁺= 0.02 meq/L, Na⁺= 0.05 me/L, K⁺ = 0.07 me/L, CO₃ =0.08 meq/L, HCO₃⁻ 1.63, SO₄²⁻ 0.14 meq/L, N-NO₃⁻= 0.1 partes por millón (ppm).

Las fuentes de nutrimentos empleados fueron de grado reactivo solubles: Nitrato de calcio (Ca (NO₃)₂), Nitrato de potasio (KNO₃), Ácido fosfórico (H₃PO₄), Fosfatomonopotásico (KH₂PO₄), Sulfato de potasio (K₂SO₄), Sulfato de magnesio (MgSO₄·7H₂O), Nitrato de magnesio (MgNO₃), Ácido bórico (H₃BO₃), Ácido fosfórico (H₃PO₄) al 85%. Los micronutrientes se aportaron de con los siguientes quelatos: Quelato de hierro (Fe) al 13% ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), Quelato de manganeso (Mn) al 13% (EDTA), Quelato de zinc (Zn) al 14% (EDTA) , Quelato de cobre (Cu) al 14% (EDTA).

Una vez seleccionado los fertilizantes solubles, cada vez que se requirió, se procedió a pesar en una báscula la cantidad necesaria establecida por la relación de nutrientes de Steiner y la diferencia con el aporte nutrimental del agua de riego, se diluyo los fertilizantes en un tambo de 1000 l a una capacidad del 70 %, removiéndose constantemente, se agrega agua al 85 %, y se añadió el ácido con el equipo de protección y una probeta tomando lecturas constantes del pH.

3.3.4 Monitoreo de la Cantidad de Solución Nutritiva.

Se instaló en el invernadero un tablero de control con el objetivo de dirigir el flujo de agua, en el tablero se incorporó un controlador PLC Delta con una alimentación de 24 V, en el cual se conectó el Sensor de Humedad de Suelo de la marca DECAGON DEVICES modelo MAS-1 utilizado para medir la humedad de bolsa de cultivo con la mezcla de sustrato, se ajustó el algoritmo del PLC para mantener la humedad en 45%, esto se realizó obteniendo lecturas del sensor con un sustrato seco y con un sustrato saturado para comparar los datos mediante una calibración de puntos como se presenta en la Figura 7. El tiempo que se mantenía el riego encendido se grababa en una memoria micro SD por medio de un microcontrolador Arduino.

El sistema de riego para cada bolsa de cultivo contenía una estaca de goteo de 3 lph, con este dato y el tiempo de riego total de producción se obtuvo la cantidad de agua y nutrición aplicada durante la investigación.

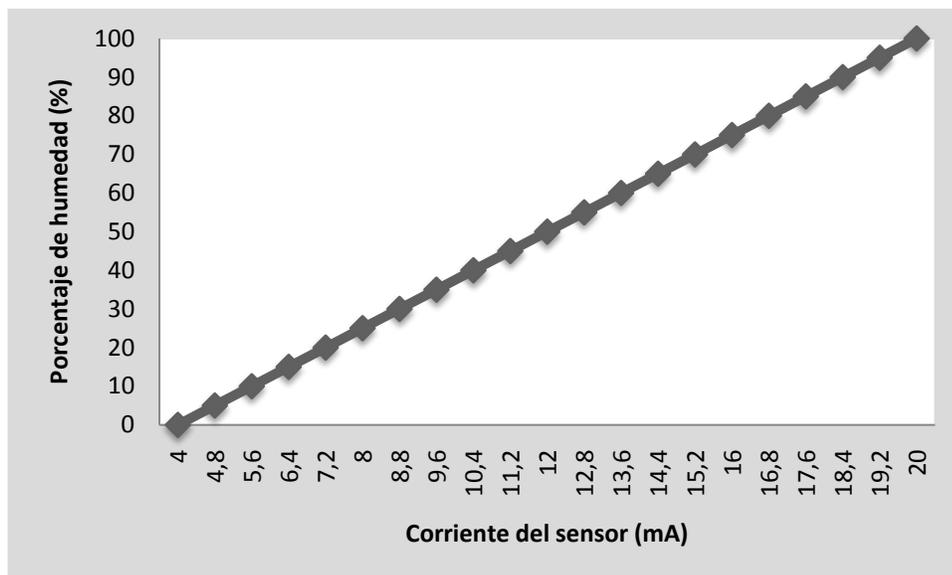


Figura 7. Calibración de puntos para el sensor de humedad en sustrato.

3.3.5 Diseño Experimental.

Se valoró el rendimiento a los 3 meses de cultivo, de los tres tratamientos con tres repeticiones, donde la unidad experimental consistió en 25 plantas de cada cultivo, obteniendo una población total de 75 plantas para cada tratamiento del experimento. Las variables evaluadas fueron altura de planta, grosor de tallo y peso del fruto.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Caracterización físico-química del sustrato Acrilato de Potasio.

Los resultados fisicoquímicos se muestran de forma inicial los resultados de las propiedades físicas con el resultado de porosidad que es directamente dependiente de los análisis de las densidades y se termina con los niveles de retención de agua, y de forma final se presentan los resultados químicos de la cantidad de absorción nutrimental del acrilato de potasio. Se presentan en los gráficos, al tratamiento 1 que pertenece al 100% de absorción de agua, de 200% al tratamiento 2 y de 500% el tratamiento 3; se comienza los resultados Fisicoquímicos con la Figura 8 de la Densidad Aparente. Donde la densidad aparente de un sustrato es la relación de la masa o peso de las partículas al volumen aparente que ocupan. La mayoría de las veces, son valores entre 0,1 y 0,6 g/ ml (Burés, 1997).

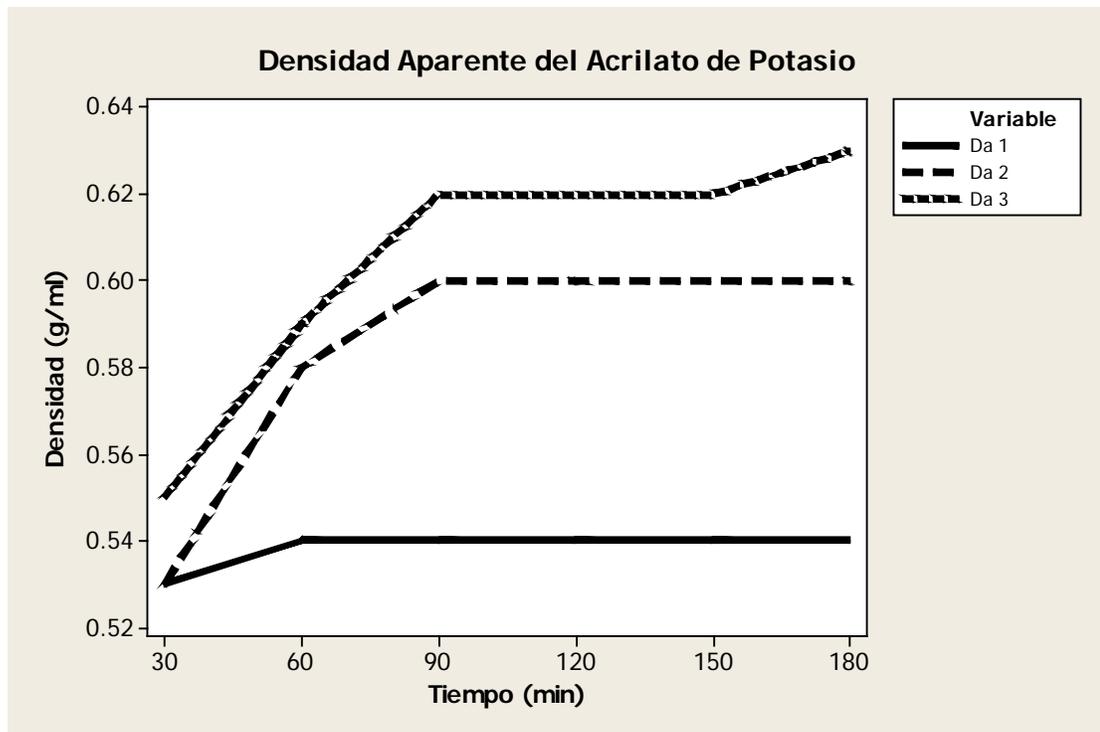


Figura 8. Densidad Aparente del Acrilato de Potasio.

Para el acrilato de potasio, el análisis de la densidad aparente muestra un comportamiento similar entre el tratamiento 2 y el tratamiento 3 en los primeros 60 minutos, sus medias obtenidas por tratamiento son 0.5650 g / ml, 0.5657 g / ml y 0. 5983 g / ml respectivamente, la prueba de ANOVA indicó que no existe diferencia para los tratamientos en la densidad aparente que juega vital sobre la porosidad, en los costos de transporte y manejo del sustrato (acarreo en el invernadero), un material de muy baja densidad cuesta mucho su transporte y debe ser compactado hasta el punto que pueda recuperar sus características (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008) como es el caso del acrilato de potasio que cambia sus características bajo la acción del agua listo para su utilización, los tratamientos muestran una densidad de acuerdo a lo expresado por Abad y Noguera, en 2000, que permite tener una resistencia para soportar plantas de tomate, que en invernadero como son entutoradas, no tiene mucha importancia (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008).

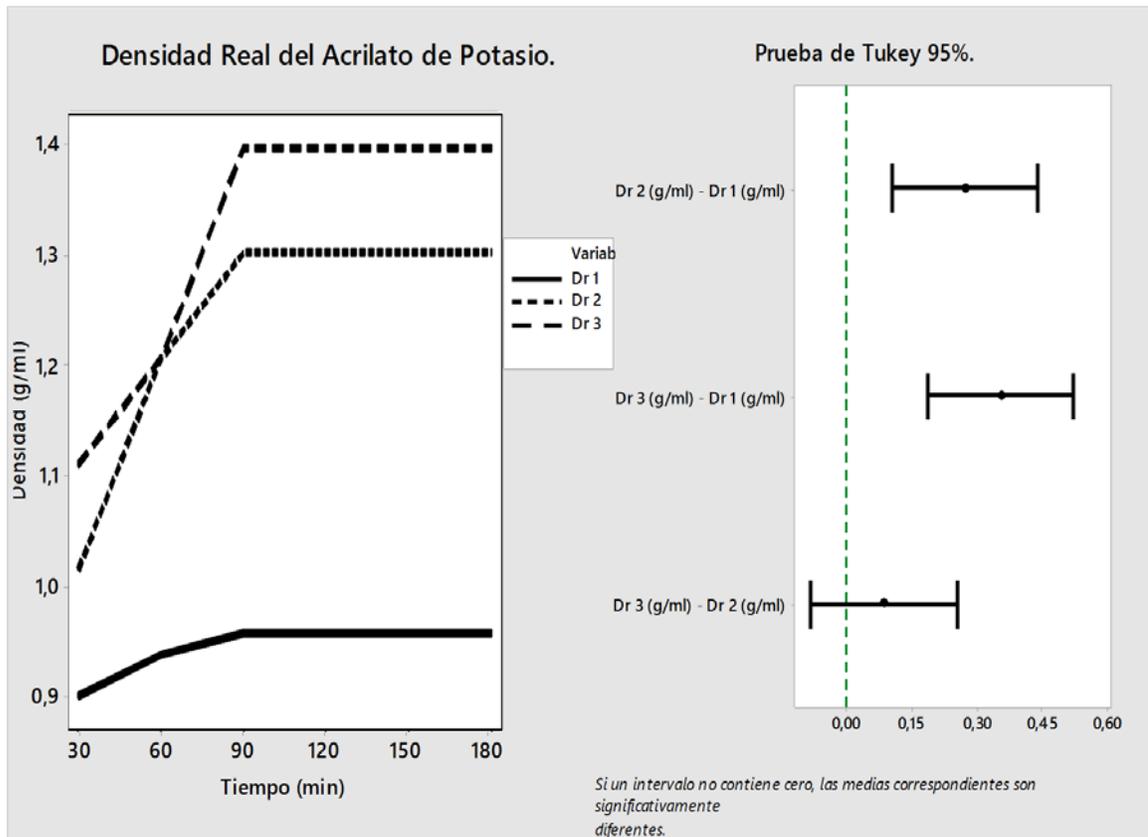
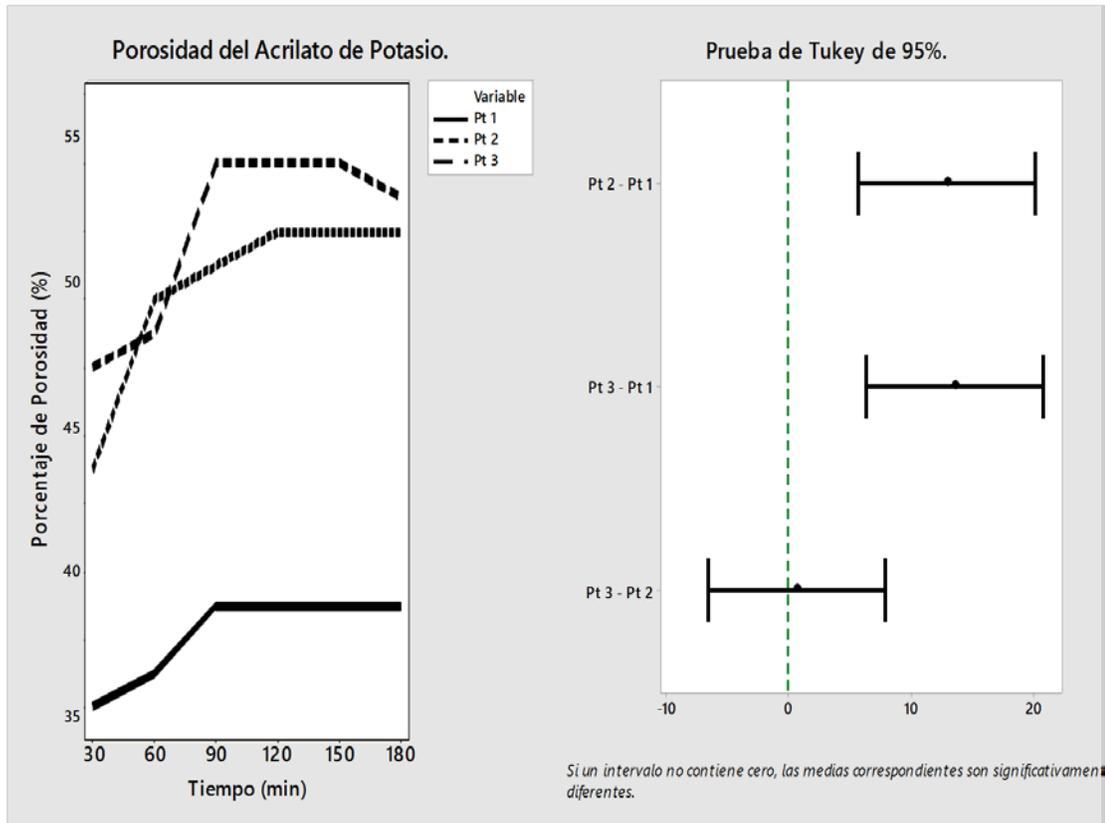


Figura 9. Densidad Real del Acrilato de Potasio.

La importancia de la densidad real radica en la estabilidad de las plantas en el recipiente de cultivo o en el depósito (Ansorena, 1994). Los tratamientos presentaron valores hasta estabilizarse a los 90 minutos, se obtuvieron las medias en el tratamiento 1 de 0.9617g/ ml en el tratamiento 2 de 1.2333 g/ml y para el tratamiento 3 de 1.3167 g/ml; la prueba de ANOVA indico que existe diferencia significativa resultando con la prueba de tukey que el tratamiento 1 es el que muestra la diferencia.(Fig. 9).

Todos los valores de los tratamientos se encuentran por debajo de 1.45 a 2.65 g mL⁻¹, respectivamente (Nappi, 1993; Handreck y Black, 1994), sin embargo, mientras estos valores bajos reducen el costo y el peso de manejo, estas densidades pueden ser favorecidas para utilizarse en producción de maceta en invernadero, pero no en viverismo pues pueden incrementar el riesgo de volcado de macetas (Cabrera, 1999, García *et al.*, 2001).

La porosidad total en un sustrato es el espacio ocupado por agua saturada y se representa en una curva característica como succión cero (De Boodt *et al.*, 1974), por otra parte (Búres, 1998) menciona que el sustrato está formado por un esqueleto sólido, que conforma un espacio de poros y estos pueden estar llenos con agua o aire, la porosidad total del acrilato de potasio se muestra en la siguiente figura 10:



a)

b)

Figura 10. Porosidad del Acrilato de Potasio, a) Porcentaje de Porosidad en el Tiempo y b) Prueba de Tukey de 95%.

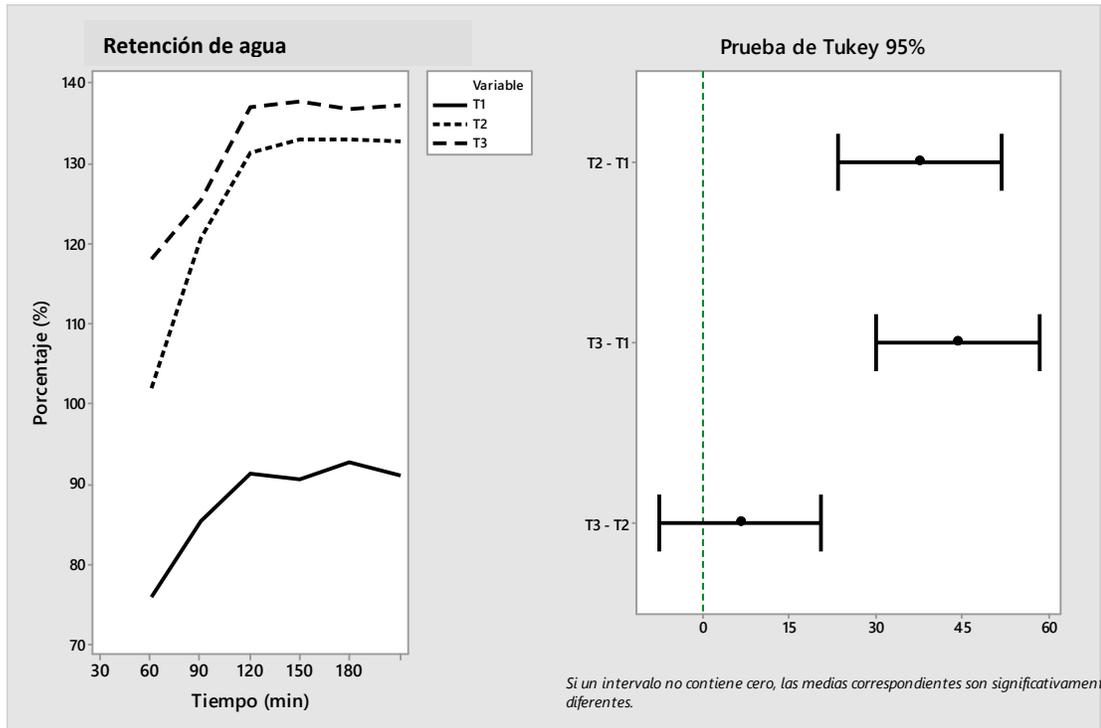
Los valores obtenidos de la mayor porosidad promedio corresponden al tratamiento 3 y son en orden descendente de la siguiente forma: 54.385%, 53.75% y 40.81% respectivamente, resultando en el análisis estadístico Tukey con una diferencia para el tratamiento 1.

El espacio poroso en los suelos es del orden de 50% (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008), encontrándose de igual forma con la investigación de Pire y Pereira (2003) un promedio de porosidad total en suelo de 54.4%, que es muy similar a lo obtenido del tratamiento 1 y 2, y menor a lo obtenido por el tratamiento 3; cabe señalar lo que comenta Abad y Noguera (2000), que no implica que con la porosidad total el sustrato tenga una buena estructura, sino que es necesario conocer la fracción de los poros que se encargan de alojar el agua después del riego y la fracción que es drenada después de este y que proporciona la aireación al sistema del radical del cultivo; estos últimos renglones son importantes debido a como el acrilato de potasio es un hidrogel su espacio poroso es el que permite la aireación a la raíz principalmente pues se encuentra en su matriz interna alojado de solución que liberara a la planta conforme existan presiones del medio, como a su vez se regará con menor frecuencia pero se mantendrá la hidratación a la planta.

4.1.1 Resultados de Retención de Agua del Acrilato de potasio.

Los resultados de la prueba de retención de agua muestran que para el tratamiento 1 el acrilato de potasio se mantiene por debajo de los tratamientos 2 y 3, determinando que en el porcentaje de retención no alcanzó el máximo de la misma forma que los demás tratamientos.

En la figura 11 se muestran los valores promedios resultantes los cuales mantienen una diferencia superior a la mitad y los tratamientos que se mantienen cerca son el tratamiento 2 y 3 con un total del 130%.



a)

b)

Figura 11. Retención de agua del Acrilato de Potasio, a) Promedios y b) Prueba de Tukey 95%

Los resultados medios del tratamiento 1 fueron de 87.83% con una desviación estándar de 6.32%, el promedio del tratamiento 2 es de 125.44% con una desviación estándar de 12.44% e y por el último para el tratamiento 3 se obtuvo un promedio de 132% con una desviación estándar de 8.34%; en la prueba de ANOVA se obtuvo un valor p por debajo del nivel de significancia del 0.05 por lo cual se aceptó que existe diferencia significativa en los tratamientos presentados en la figura 12-b la prueba de Tukey resultando que el tratamiento con mayor diferencia significativa es el tratamiento 1, el cual es la menor retención.

La capacidad de retención de agua determinado en el polímero del acrilato de agua, depende de las características físicas del sustrato donde su valor óptimo varía de 50 a 77% en volumen (Castellanos y Vargas-Tapia, 2008), siendo superior por alrededor del doble del máximo en la

retención del agua característica principal y primordial del acrilato, resaltando que queda por debajo de lo estipulado por el proveedor y que puede absorber cerca de 130 litros por 1 kilogramo de sustrato.

4.1.2 Resultados de la Absorción Nutricional del Acrilato de Potasio.

Las propiedades químicas del sustrato según Ansorena (1994), permite un mejor manejo cuando existe cierta capacidad de retención-liberación de nutrientes, disminuye los riesgos derivados de las pérdidas por lixiviación, a causa de los frecuentes e intensos riegos a los que se someten las plantas cultivadas en hidroponía, a continuación se muestran en la Figura 12 los valores promedios obtenidos para cada parámetro:

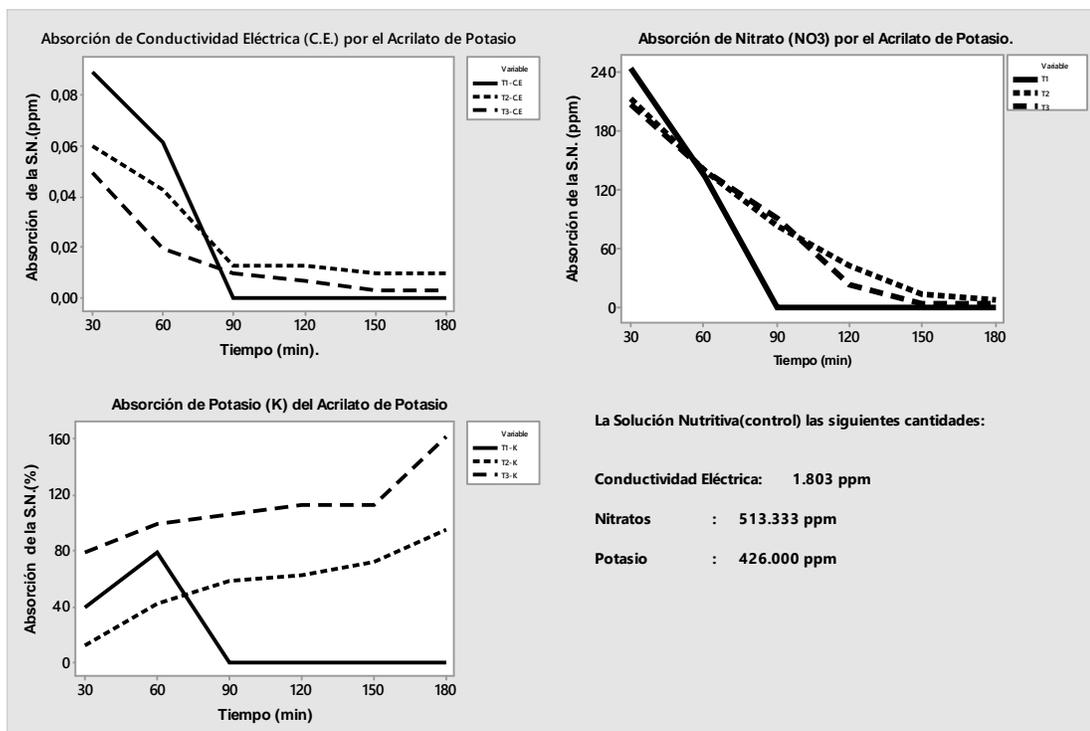


Figura 12. Absorción Nutricional del Acrilato de Potasio (C.E., NO3 y K).

El tratamiento 1 solo presentó cantidad de agua para los análisis hasta el minuto 60, por lo que el análisis estadístico ANOVA se aplicó para ese tiempo en el total de los tratamientos y para el total del muestreo a la comparación de los tratamientos 2 y 3, sin resultar ninguna significancia.

La capacidad de aportación de nutrimentos por el acrilato de potasio se presenta estable en los tres tratamientos, que se puede comparar con sustratos orgánicos que representan un depósito de reserva y donde la mayoría de los sustratos minerales, es lo contrario y requieren de una aplicación más frecuente de fertilizantes (Lax *et al.*, 1986). Y Ansorena (1994), reporta niveles de interpretación de nutrimentos para Nitrógeno en aceptable en 40-99 ppm, óptimo de 100-199 ppm donde se encuentra la absorción de los tratamientos en el experimento; de igual forma indica Ansorena para el Potasio en aceptable de 60-149 ppm y en óptimo de 150-249 ppm en cuanto a la interpretación del acrilato en la absorción del potasio se encuentra dentro del rango de aceptable como lo presenta los resultados en la figura para los tres tratamientos.

4.2 Determinación de la proporción adecuada de mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco.

El resultado final de las mezclas al terminar la cinética, fue estadísticamente diferente entre los tratamientos con el análisis de ANOVA lo que demuestra características particulares entre mayor concentración de sustrato. La variabilidad que existió se puede explicar según Martínez (1996) por los contenidos iniciales de humedad y por las diferencias en la capacidad de retención de humedad entre las mezclas. No hay duda que el proceso de retención de humedad del acrilato de potasio y su control inciden en este factor de mayor cantidad de agua, resultando con significancia entre la prueba de Tukey el tratamiento 2 que representa tener un contenido de 75% de acrilato de potasio y 25% de fibra de coco, el cual es el único de los tratamientos que representó en tener una diferencia por conservar la humedad, como se observa en la Gráfica 1 con mayor contenido de agua.

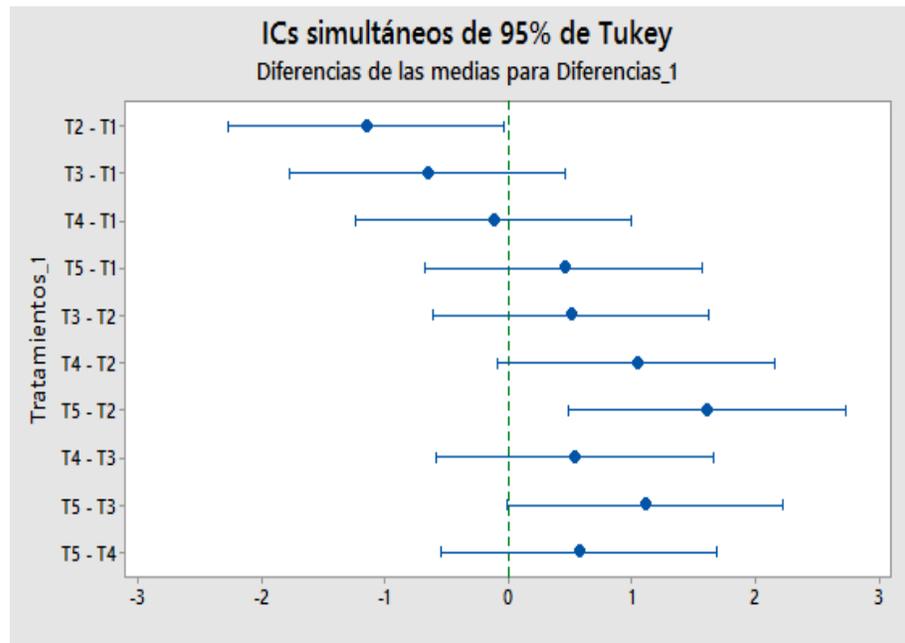


Figura 13. Prueba de Tukey entre las mezclas de sustratos.

Cada sustrato tiene un uso específico y determinando que se desea la mezcla que contuviera por mayor tiempo la cantidad de agua y las condiciones de temperaturas como los parámetro principales (Castellanos y y Vargas-Tapia, 2008), determino a la mezcla correcta para los cultivos la de 75% de acrilato de potasio y 25% de fibra de coco.

4.3 Evaluación del consumo de agua, nutrientes y rendimiento en la mezcla de sustrato en hidroponía con los cultivos de jitomate, pimiento y pepino.

Una buena gestión del agua empieza por la determinación más correcta posible de las necesidades de agua del cultivo, debido a que es el recurso máspreciado y gastado por lo que se presentan los resultados del consumo hídrico realizado por el policultivo con la mezcla de acrilato de potasio y fibra de coco. Con la perfección y adaptación de los diversos indicadores de riego, con la ayuda de sensores y sistemas de monitoreo más sofisticados que permiten determinar con mayor confiabilidad el momento del riego a través de variables asociadas al estrés hídrico de los cultivos (Flores *et al*, 2007), se presenta los siguientes resultados.

4.3.1 Monitoreo de la Cantidad de Solución Nutritiva.

El experimento tuvo un período de duración de 110 días totales con un total de 250 plantas experimentales en las cuales se presenta la información obtenida de la cantidad de solución nutritiva Steiner suministrada y los costos por planta y totales que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Cantidad y Costo de la Solución Nutritiva utilizada durante el Período Experimental.

	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Litros por Planta.	24	37	42	16	119
Costo Fertilizante por Planta.	4	6	7	2.5	20
Litros Totales Experimento.	5,905	9,301	10,545	3,889	29,639
Costo Fertilizante Total (\$)	976.	1,534	1,744	643	4,901

La cantidad promedio utilizada por día para los cultivos fue de 1 L por planta y el costo de fertilizante por planta diario fue de \$ 0.20 pesos mexicanos; representando esto un gasto de solución nutritiva diario por las 250 plantas de 270 L y con un costo experimental total del fertilizante diario de \$ 44.50 pesos mexicanos.

Se presenta en el cuadro 2 la comparación en el consumo hídrico de los cultivos de forma tradicional y la obtenida con la investigación:

Cuadro 2. Comparación de consumo de agua promedio L/mes (CAHJAMAR, 2005; INFOAGRO, 2017).

Mes	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Policultivo investigación.	0.7	1.2	1.4	1.0
Tomate tradicional.	1.2	1.7	1.1	1.0.
Pimiento tradicional	0.7	0.9	0.7	0.7
Pepino tradicional.	2.2	3.1	2.0	1.8

La cantidad de agua que se ahorra con la mezcla de acrilato de potasio, son proporciones que al aumentar la cantidad de plantas hace un valor significativo con el cultivo de pepino y tomate principalmente que aunado a los costos de la fertirrigación o de la solución nutritiva marca una importante cuestión sobre la ganancia, como en la siguiente tabla se muestra la comparación para el cultivo de jitomate calculado con 1000 plantas entre costo y consumo de agua utilizando la solución Steiner durante el período experimental de 110 días:

Cuadro 3. Comparación de consumo de agua y costos en sustratos para cultivo de jitomate.

Sustrato	Fibra de coco y Acrilato de Potasio (\$385 kg).	Fibra de coco.
Consumo de Agua 110 días (litros).	118,556	137,9659
Costo Mezcla Sustrato (\$).	13,851	10,980
Costo de Fertilizante (\$).	21,129	24,587
Costo Total (\$).	34,979	35,567

Es de importancia si las producciones son extensivas pues es creciente la ganancia o ahorro al utilizar la mezcla de acrilato de potasio, por lo que si se realiza en cultivo donde el consumo de agua es con mayor diferencial como en el de pepino el resultado.

4.3.2 Producción hidropónica de jitomate, pimiento y pepino con la mezcla de sustrato.

La producción agrícola se utiliza en el ámbito de la economía para hacer referencia al tipo de producto y beneficio que una actividad puede generar, teniendo en cuenta los posibles réditos o beneficios.

En el pimiento los resultados de crecimiento de la planta durante el ciclo de cultivo indica para el grosor de tallo una lentitud para abarcar el grosor en el primer mes con un 2 mm de grosor de forma general y después mantenerse por los siguientes meses entre 10- 15 mm; la planta de pimiento de crecimiento determinado presento una longitud total promedio de 97.8667 cm,

Es el mismo comportamiento que el observado por el grosor del tallo pues van directamente relacionados, se puede observar en la siguiente Figura 14 como los frutos resultantes son de buen tamaño y calidad, así como múltiples frutos en un período de poca radicación que afecta el buen llenado de los mismos.



Figura 14. Planta de pimiento en producción y experimentación con múltiples frutos.

El rendimiento promedio del fruto de pimiento fue de 225 g, el cual se complementó con la solución nutritiva y aplicación foliar de compuestos orgánicos para promover la mayor absorción nutrimental de la misma forma se detuvo la poda prematura durante los primeros tres-cuatro frutos, se mantuvo la planta hasta el 6to. fruto. El rendimiento es similar a lo reportado por Cruz *et al.* (2009) y con los máximos que se han reportado en la literatura para ciclos anuales con mayor tecnología (Bar-Tal *et al.*, 2000; Paschold y Zengerle 2000; Zuñiga-Estrada *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Producción promedio del Cultivo de Pimiento.

Repetición	Pimiento 1	Pimiento 2	Pimiento 3
Fruto 1 (g)	215	235	233
Fruto 2 (g)	219	219	223
Fruto 3 (g)	202	219	220
Fruto 4 (g)	240	247	246
Fruto 5 (g)	226	212	225
Fruto 6 (g)	220	227	221

El rendimiento promedio fue de 1.3 kg/planta y con una aproximación para el área de la densidad de plantación de 3 plantas/m² para un total de 4 kg/m², encontrándose cercano a por debajo a lo reportado por Alvarez en el 2012 para la variedad de Canon con un rendimiento de 5 kg/m² y por arriba de la variedad Farahon con 3.2 kg/m².

En el pepino la distribución del grosor se detuvo después del primer mes por la posibilidad de la infección de Cenicilla (*Sphaerotheca fuliginea Schlechtend.:Fr, Pollaci*) para elevarse nuevamente, con un grosor promedio inicial de 2.3 mm y final de 12.6 mm . Se encontró equivalencia con lo realizado por Ortiz *et al.*(2009) que comparó 10 variedades de pepino, obteniendo valores cercanos al experimento. La longitud promedio de la planta fue de 200 cm con similitud a lo reportado por Suniaga *et al* (2008) que encontró alturas de plantas desde 106 a 160 cm en pepino variedad Poinsett 76 a los 57 días después de la siembra.

La longitud del fruto de pepino promedio fue de 23.0367 cm, con igualdades a las de Hoyos (2001), en plantas de pepino cultivadas en invernadero y como lo comentó García *et al.* (2001) los frutos de calidad tiene una longitud superior a los 14 cm. El diámetro promedio total fue de 4.22 cm, siendo valores similares a lo reportado por Hoyos (2001), y sugiere Marcano *et al.* (2012), el grado de polinización y el cuajado de los frutos influye sobre el diámetro, la longitud y el peso del fruto, por lo cual se debe mantener de forma precisa las actividades culturales de polinización para obtener un buen rendimiento, a continuación se presenta en el cuadro de la producción del pepino:

Cuadro 5. Producción promedio del Cultivo de Pepino.

Repetición	Pepino 1	Pepino 2	Pepino 3
Fruto 1 (g)	208	211	212
Fruto 2 (g)	220	216	216
Fruto 3 (g)	223	221	222
Fruto 4 (g)	214	219	210
Fruto 5 (g)	216	216	222
Fruto 6 (g)	222	217	220

Se encontró valores superiores a lo descrito por Marcano *et al.* (2012) de pesos promedios de 157.1-201.05 g y cercanos pero por debajo al reporte de Suniaga *et al* (2008) que encontró valores de pesos de frutos desde 271 a 422 g de pepino variedad Poinsett 76. El rendimiento es de 1.3 kg/planta y con una densidad de área de 1.8 plantas/m² (Pérez, 2012), donde se encontró 2.3kg/m² resultado por debajo a lo reportado por Pérez en el 2012, de las variedades de Roxynante y Estrada (8.9 y 8.8 kg / m²).

El jitomate obtuvo un valor promedio de diámetro de tallo registrado de 13mm , con una altura de planta de 70 cm adecuado para una variedad de crecimiento determinado aunque es menor a lo reportado por Velázquez, 2004 en la media de altura, esto fue significado por un stress hídrico proveniente por la disminución de la tasa de riego al mantener la frecuencia por medio de un sensor en sustrato y al uso de un polímero súper absorbente en el mismo, así como a la incidencia de mosca blanca y primeros estadios de cenicilla.

Se mantuvo al jitomate por racimo con 6 frutos y de esta forma se presenta en el cuadro su rendimiento:

Cuadro 6. Producción promedio del Cultivo de Jitomate.

Repetición	Jitomate 1	Jitomate 2	Jitomate 3
Fruto (g) en Racimo 1.	137	131	129
Fruto (g) en Racimo 2.	132	131	132
Fruto (g) en Racimo 3.	125	126	137
Fruto (g) en Racimo 4.	123	130	134
Fruto (g) en Racimo 5.	130	128	134
Fruto (g) en Racimo 6.	129	136	134

El jitomate presentó homogeneidad en cuanto a tamaño de planta, número y tamaño de frutos, resultando un rendimiento promedio por planta de 4.7 kg/planta el cual se obtuvo por la labor en el control de la poda de frutos para alcanzar mejores calibres y mantener mayor uniformidad, y se acerca lo obtenido con el sustrato aserrín-composta por Ortega-Martínez *et al.* en el 2010 que fue de 4 kg por planta en invernadero, los resultados para la variable kg/m² son equivalentes a 6 plantas/m² para un total de 28.3kg/m² con resultados menores a

los de Zarate (2007) con 5.83 kg/planta, y 35 kg/m² y más altos son los reportados por Ortiz (2004) con 8.2 kg/planta y 17.2 kg/m² . Wereing y Patrick (1975), mencionan que el análisis del rendimiento de un cultivar implica el estudio de sus principales componentes, que para el caso de tomate están dados fundamentalmente por el número y el peso medio de frutos.

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

Los resultados del estudio sugieren que el acrilato de potasio es una opción de sustrato para cultivos en hidroponía, mostrando el trabajo que las características fisicoquímicas son adecuadas cuando se mantenga con niveles de amplia cantidad de agua como en la relación de 1-200 de esta forma mantiene las condiciones óptimas de sustrato, cabe resaltar que es necesario mantener los porcentajes de humedad en la bolsa de cultivo una vez que se colocó el acrilato de potasio ya sea con un sensor de humedad o manteniendo constante los pulsos de riego para evitar la deshidratación del sustrato y que pueda competir con la planta por el agua.

El objetivo principal de determinar el efecto en consumo de agua y nutrientes con la mezcla de fibra de coco y acrilato de potasio para los cultivos de jitomate, pimiento y pepino; primero se definió a la mejor mezcla de sustrato con las condiciones de menores consumos y se evaluó resultando de forma positiva el utilizarse con los cultivos manteniendo un buen porcentaje de rendimiento y con significancia de disminución en consumo de agua y ahorro de fertilizante.

Confirmando de esta forma la hipótesis, donde el utilizar la mezcla de sustratos puede contribuir en optimizar el uso de los recursos, mantener el porcentaje de rendimiento en los cultivos establecidos así como ser un posible ahorro económico, destacando hacer más análisis con diferentes mezclas de sustratos utilizados o saber que es sumamente posible optimizar el uso de recursos con el acrilato de potasio.

CAPITULO VI. REFERENCIAS.

Abad, M. y Noguera, P.; 2000; Los sustratos en cultivos sin suelo.; En: Manual de cultivo sin suelo.; M. Urrestarazu (Ed.); Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones.; 137-182.

Adams, P. y L.C. Ho; 1993; Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end rot; Plant Soil; 154: 127-132.

Adams, P.; 1994; Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems; Acta Hort; 361: 245-257.

Agaba, H.; Orikiriza, L.; Obua, J.; Kabasa, J.; Worbes, M. y Hüttermann, A.; 2011; Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of *Agrostis stolonifera*, Agric. Sci.; 2:544-550.

Aguayo Vargas, José Luis.; 2013; Tesis de Licenciatura: "Temperatura, Humedad Relativa y Radiación en Dos Tipos de Invernadero para la Producción de Chile Morrón"; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; México.

Alvarez Alvarez, Victoria; 2012; Tesis Ingeniería: "Evaluación de Rendimiento en Tres Variedades de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero"; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

AMHPAC, Asociación Mexicana de Horticultura; 2016; 9º Consejo Anual: "Hortalizas Mexicanas Referente Internacional"; Cancún, Q.R.; México.

An, Li.; Zhang, Junping y Wana, Aiqin; 2005; Synthesis, characterization and water absorbency properties of poly(acrylic acid)/ sodium humate superabsorbent composite; Polymers for advanced technologies; 16:675-680.

Ansorena, MJ.; 1994; Sustratos. Propiedades y caracterización.; Madrid: Mundi-Prensa, 171.

Assaf, I.; Ben-Hur; M.; Sternberg, M. y Lado, M.; 2015; Using polyacrilamide to mitigate post-fire soil erosion; Geoderma; 239-240:107-114.

Avnimelech Yoram.; 2012; Biofloc Technology – A practical guide book.; Second Edition.; The World Aquaculture Society; United States.; pp. 182.

Burés, S. ;1997 ;*Sustratos*; 631.58.

Bar-Tal, A; Keinan, M.; Aloni, B; Karni, L.; Oserovitz, Y.; Gantz, S.; Hazan, A.; Itach, M.; Tartakovski, N.; Avidan, A. and I. Posalski, S.; 2000; Relationships between blossom end rot and water availability.

Cabrera, R. I.; 1999; Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta.; *Revista Chapingo Serie Horticultura*; 5(1): 5-11.

Castellanos, J.Z. y Vargas-Tapia, P.; 2008; Los Sustratos en la Horticultura Protegida; En: Manual de Producción de Tomate en invernadero.; J. Z. Castellanos (Ed.); INTAGRI, México; 55-72.

Cruz Huerta, Nicacio; Sánchez del Castillo, Felipe; Ortiz Cereceres, Joaquín y Mendoza Castillo, Ma. del Carmen; 2009; Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimienta; *Agricultura técnica en México*; 35(1), 73-80.

De Boodt, M.; Verdonck, O. and Cappaert, I.; 1974; Method for measuring the water release curve of organic substrates; *Acta Hort*; 37: 2054-2062.

De Kreijl, C., J. Jansen, B.J. van Goor y J.D.J. van Doesburg. 1992. The incidence of calcium oxalate crystals in fruit walls of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by humidity, phosphate and calcium supply. *J. Hort. Sci.* 67: 45-50.

Estrada, R.; 2012; Hidrogel Biopoliméricos Aplicados en la Agricultura; Departamento de Física y Matemáticas; Universidad Iberoamericana. Disponible en; <http://www.slideshare.net/IberoPosgrados/hidrogeles-biopolimricos-aplicados-en-agricultura>

Farrell, C; Ang, X.Q. y Rayner, J.D.; 2013; Water retention additives increase plant available water in green roof substrates; *Ecol. Eng*; 52:112-118.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations); 2007; Informe Estadístico; Consultado el 01 de octubre de 2008. Página electrónica: www.faostat.fao.org.

FAO; 2013; El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.

Gálvez, H. F.; 2004; El cultivo de pepino en invernadero. *In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero*; 2a ed. R J Castellanos (ed.); INTAGRI. Celaya, Gto. México; 282-293.

García C., O; Alcántar G., G.; Cabrera F., R.I; Gavi R. y Volke, V; Evaluacion de sustratos para la produccion de *epipremnum aureum* y *spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta substrate evaluation for container production of *epipremnum aureum* and *spathiphyllum wallisii*; TERRAVOLUMEN; 19(3).

Gertsson, U.E; 1995; Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics; Acta Hort.; 401: 351-356.

Gómez Pérez, Amanda A. y Braham Sabag, Sergio; 2014; Tesis: “Aplicación del hidrogel como retenedor de agua en agroforestería”; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Saltillo, Coahuila; México.

González Guzmán, Antonio; 2010; Taller de Hidroponía; Facultad de Ciencias, UNAM. <http://hidroamigos.com.mx/moodle/>, <http://sites.google.com/site/hidroponiaciencias/>, <http://www.cityfarmer.info/>.

Guilherme, Marcos R; Aouada, Fauze A.; Fajardo, André R.; Martins, Alessandro F.; Paulino, Alexandre T.; Davi, Magali F.T.; Rubira, Adley F. and Muniz, Edvani C.; 2015; Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review.; European Polymer Journal; 72: 365-385.

Handreck, K.A. y N. Black; 1994; Growing media for ornamental plants and turf; Revised ed. New South Wales University; Press. Kensington, Australia.

Hernández-Hernández, Fabiola.; López Cruz, Irineo Lorenzo; Guevara-González, Ramón Gerardo; Rico-García, Enrique; Ocampo-Velásquez, Virginia Rosalía; Herrera-Ruiz, Gilberto; Gonzalez-Chavira, Mario Martín e Torres-Pacheco, Irineo; 2011; Growth and Development Simulation of Pepper (*Capsicum annum* L.) under Greenhouse Conditions.; Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas; 2(3):385-397.

Holliman, P.J.; Clark, J.A.; Williamson, J.C. y Davey, L.J.; 2005; Model and field studies of the degradation of cross-linked polyacrilamide gels used during the revegetation of slate waste; *Sci. Total Environ*; 336:13-24.

Infoagro; 2017; El cultivo del pimiento. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>.

Infoagro; 2017; El cultivo del pepino. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>.

INIFAP-SAGARPA.; 2010; Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán.; Primera Edición; México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), SAGARPA.; 2011; Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí; Primera Edición.; Folleto Técnico no. 41.; México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); 2013; Producción de Pimiento -Morrón en Casa-Malla para el Sur de Tamaulipas.; Primera Edición; México.

Kim, S.; Iyer, G.; Nadarajah, A; Frantz, J.M. y Spongberg, A.L.; 2010; Polyacrilamide hydrogel properties for horticultural applications; *Int. J. Polym. Anal. Charact*; 15:307-318.

Lara, A., H.; 2000; Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato; Universidad Autónoma de Zacatecas, Zac., México.

Lax, A; Roig, A y Costa, F; 1986; A method for determining the cation-exchangue capacity of organic materials; *Plant and Soil*; 94: 349-355.

Lemaire, F.; Fatigues, A.; Revière, L. M.; Charpentier, S. and Morel, P; 2003; Cultures en post et conteneurs, principes agronomiques et applications; 2^a ed. INRA; Paris; pp. 210.

López-Marín, J.; Gálvez, A.; Rodríguez, C.M.; Conesa, E.; Ochoa, J. y González, A.; 2008; Utilización de fibra de coco como sustrato alternativo a las turbas en cultivo de clavel para maceta; VII Congreso Científico de SEAE "Agricultura y alimentación Ecológica".

Magdaleno, V. J. J.; Peña, L.; Castro, B.; Castillo, A. M.; Galvis, A.; Ramírez, P. y Hernández, H; 2006; Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot); Revista Chapingo Serie Horticultura; 12: 223-229.

Martínez, C; 1996; Potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo; A. Carballo; S. Bravo (eds). Texcoco, México; pp. 140.

Marulanda, C e Izquierdo, J; 2003; Manual Técnico: "La Huerta Hidropónica Popular"; Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe; 3ª Edición; Santiago, Chile.

Moreno Reséndez, Alejandro; Aguilar Durón, Juanita y Luévano González, Armando; 2011; Características de la agricultura protegida y su entorno en México; Revista Mexicana de Agronegocios; 25(29): 763- 774.

Nappi, P.; 1993; Compost as growing medium: Chemical, physical and biological aspects; Acta Hortic.; 342: 249-256.

Nevenka, D; Radmila, P. y Pocuca, V.; 2012; Effects of thee application of a hydrogel in different soils; Agric. For; 53(1-4):25-34.

OECD Organisation for Economic Co-Operation and Development; 2012; Perspectivas Ambientales de la OECD Hacia 2050; Las Consecuencias de la Inacción; ISBN 978.92.64.122161

Ortega-Martínez, Luis Daniel; Sánchez-Olarte, Josset; Ocampo-Mendoza, Juventino; Sandoval Castro, Engelberto; Salcido-Ramos, Blanca Alicia y Manzo-Ramos, Fernando; 2010; EFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO; Ra Ximhai, 6(3): 339-346.

Ortiz Cereceres, Joaquín; Sánchez del Castillo, Felipe; Mendoza Castillo, Ma. del Carmen y Torres García, Araceli; 2009; Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población.; *Revista fitotecnia mexicana*; 32(4), 289-294

Ortiz, G; 2004; Comparación de la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía y suelo bajo invernadero en Miahuatlan; Tesis profesional, Departamento de Fitotecnia; Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México; pp.70.

Pashold, P. J. and Zengerle, K.H.; 2000; Sweet Pepper production in a Closedsystem in mound culture with special consideration to irrigation scheduling.; *Act. Hort.*; 554: 329-333.

Pastor, S. J. N.; 2000; Utilización de sustratos en viveros.; *Terra*; 17(3): 213–235.

Pire, Reinaldo y Pereira, Aracelys; 2003; Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela propuesta metodológica; *Bioagro*; 15(1), 55-64.

PNUD Programa de las naciones Unidas para el Desarrollo; 2013; Informe sobre el Desarrollo Humano: "El ascenso del Sur: Progreso Humano en un Mundo Diverso".

Ramos, G; Velázquez, R; De la Rosa L., M.K. y Segura C., P; 2009; Atrapamiento de sustancias húmicas en hidrogeles de gelatina con aplicación en agricultura.; Departamento de Polímeros.; Facultad de Ciencias Químicas.; México.

Resh, H.M.; 1991; Hydroponic food production; 4th edition; Woodbridge Press Publishing Company; Santa Barbara, USA.

Salazar-Moreno, R.; Rojano-Aguilar, A. y López-Cruz, I.L.; 2014; La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada; *Tecnología y Ciencias del Agua*; 5(2):177-183.

Sánchez del Castillo, Felipe; González-Molina, Lucila; Moreno-Pérez, Esa-ú del C.; Pineda-Pineda, Joel y Reyes-González, C. Efrain; 2014; Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva; *Rev. Fitotec. Mex*; 37(3):261-269.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquero; 2016; Atlas Agroalimentario; México.

Sojka, R.E.; Bjorneberg, D.L.; Entry, J.A y Orts, W.J.; 2007; Polyacrylamide in Agriculture and Environmental Land Management; Advances in Agronomy; 92:75-162.

Steiner, A.A.; 1961; A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition; Plant Soil; 15: 134-154.

Steiner, A.A.; 1968; Soils culture; pp. 324-341. In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy.

Steiner, A.A.; 1973; The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution; pp. 43-53. In: Proceedings 3rd International Congress on Soils Culture. Wageningen, The Netherlands.

Tipanta D., Diego J. y Calvache U., Marcelo; 2008; Tesis: “Respuesta de Dos Variedades de Rosas (*Rosa sp.*) a la Aplicación de Dos Láminas de Fertirriego en Combinación con un Gel SuperAbsorbente. Cayambe Pichincha”; XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Tornado Distribuidora Comercializadora; 2012; Usos del hidrogel, Cristales inteligentes. Disponible en: http://hidrogelmex.com/usos_de_hidrogel.html

Valenzuela, J.L.; Guzmán, M.; Sánchez, A.; del Río, A. y Romero, L.; 1993; Relationship between biochemical indicators and physiological parameters of nitrogen and physiological plant age; pp: 215-257. In: M.A.C. Fragoso y M.L. van Beusichem (eds.). Optimization of Plant Nutrition. KluwerAcademic Publishers.

Wereing, P. y Patrick, J.; 1975; Source-sink relations and partition of assimilates; In J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge Univ. Press;481-499

Yang-Ren, W.; Shao-Zhong, K. I.; Fu-Sheng, L.I; Zhang, L. y Zhang, J H.; 2007; Saline water irrigation scheduling through a crop-water salinity production function and a soil-water-salinity dynamic model; pedosphere; 17(3):303-317.

Zarate, B.; 2007; Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero; tesis de maestría. C.I.D.I.R. Oaxaca, México.