



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Poliacrilamida y fibra de agave como mejoradores de sustratos pétreos para
producción en invernadero

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

Ing. Brenda Santa Dublan Barragán

Dirigido por:

Dr. Enrique Rico García

Dr. Enrique Rico García
Presidente


Firma

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos
Secretario


Firma

Dr. Edgar Rivas Araiza
Vocal

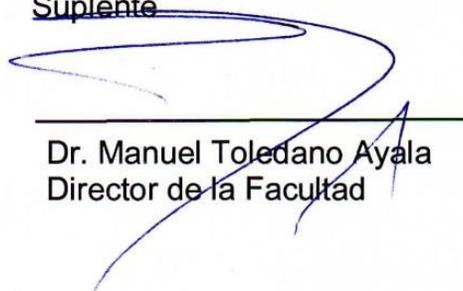

Firma

M. en C. Adan Mercado Luna
Suplente


Firma

M. en C. Humberto Aguirre Becerra
Suplente


Firma


Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad


Firma

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

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo 2018

RESUMEN

El éxito en la producción de cultivos en invernadero depende no sólo de un buen manejo de riego, sino también del uso de un sustrato bien caracterizado. La presente investigación pretende evaluar el efecto que tiene la mezcla de sustratos pétreos (tezontle, piedra pómez) y mejoradores (poliacrilamida, fibra de agave azul) sobre el estado energético del agua en el sustrato (capacidad de campo, (CC)). Primero, se estudiaron las propiedades físicas de la mezcla de sustratos: aireación, drenaje, retención de agua, densidad aparente, entre otras; se midió la CC y porcentaje de drenaje del sustrato dentro de invernadero y sin cultivo; de los 9 tratamientos que se tienen inicialmente se seleccionaron los tres tratamientos que presentaron mayor capacidad de campo para posteriormente realizar un primer ciclo de cultivo, en un invernadero de 9m x12m, evaluando el comportamiento del sustrato en cultivo de Pepino Pickle Ruso (*Cucumis sativus* L.) con un riego constante. Un segundo ciclo producción fue realizado teniendo un riego diferenciado en los diferentes sustratos para analizar el estado energético del agua en los sustratos para la producción en invernadero de Pepino Pickle Ruso (*Cucumis sativus* L.).

(Palabras clave: fibra de agave, poliacrilamida, riego diferenciado, sustrato)

SUMMARY

The Success in greenhouse crop production depends not only on good irrigation management, but also on the use of a well-characterized substrate. The present research aims to evaluate the effect of the mixture of stony substrates (tezontle, pumice stone) and enhancers (polyacrylamide, blue agave fiber) on the energetic state of the water in the substrate (field capacity, (CC)). First, the physical properties of the mixture of substrates were studied: aeration, drainage, water retention, bulk density, among others; the CC and percentage of drainage of the substrate inside the greenhouse and without crop were measured; Of the 9 treatments that were initially taken, the three treatments that had the greatest field capacity were selected to subsequently carry out a first crop cycle, in a 9m x 12m greenhouse, evaluating the behavior of the substrate in Russian Pickle Cucumber culture (*Cucumis sativus* L. .) with a constant watering. A second production cycle was carried out with a differentiated irrigation in the different substrates to analyze the energy status of the water in the substrates for the greenhouse production of Russian Pickle.

(Key words: agave fiber, differentiated irrigation system, physical mix properties, polyacrylamide, substrate mixture, water retention)

**A Dios (quien tiene el control de todas las cosas),
a mis padres, familia y amigos
—por todo lo recibido.**

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), por brindarme la oportunidad de cursar el Posgrado en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero otorgado para llevar el acabo la presente investigación.
- Al honorable cuerpo académico de ingeniería de Biosistemas de la Universidad Autónoma de Querétaro.
- A mi director de tesis y sinodales por su retroalimentación y apoyo en este trabajo de tesis.
- Al Dr. Roberto Valentín Carrillo Serrano por enseñarme a utilizar el programa Latex.
- A Daniel Arriaga, Tania Rodríguez Calzada, Don Eleazar por todo el apoyo y asesoramiento.
- A mi esposo Carlos por el apoyo constante.
- A mis amigos y alumnos por la motivación para culminar el proceso de titulación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
SUMMARY	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos particulares	2
2.3. Hipótesis	2
2.4. Justificación	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Historia del riego	4
3.2. Sustratos usados en el cultivo bajo invernadero	5
3.3. Caracterización de un sustrato.	6
3.4. Características físicas	7
3.5. Clasificación de los materiales utilizados como sustratos	8
3.5.1. Materiales Orgánicos	8
3.5.2. Materiales Inorgánicos	9
3.6. Descripción de algunos sustratos	9
3.6.1. Gravas	9
3.6.2. Arena	10
3.6.3. Turbas	11
3.6.4. Fibra de coco	11
3.6.5. Fibra de agave (agave tequilana Weber)	11
3.7. Desinfección o esterilización del sustrato	13
3.8. Polímeros	16
3.9. LLuvia solida	18

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
4.1. Desinfección de sustratos	20
4.2. Sustratos utilizados en la agricultura	20
4.3. Mejoradores de sustratos	24
5. MATERIALES Y METODOS	26
5.1. Ubicación del estudio	26
5.2. Diseño Metodológico	26
5.3. Area de estudio	26
5.4. Diseño de tratamientos	27
5.4.1. Método de cuarteo de Tezontle y Pómez	27
5.4.2. Fibra de agave weber tequilana azul	28
5.4.3. Poliacrilamida	28
5.5. Tratamientos	29
5.6. Determinación de las propiedades físicas	30
5.6.1. Granulometria	30
5.6.2. Densidad real	30
5.6.3. Densidad aparente	30
5.6.4. Espacio poroso total	31
5.6.5. Capacidad de retención de agua	31
5.7. Caracterización química	32
5.7.1. pH y conductividad eléctrica	32
5.8. Sistema de riego	33
5.9. Prueba de tratamientos sin cultivo en invernadero	33
5.9.1. Medición de drenaje	34
5.10. Prueba de tratamientos con cultivo de pepino pickle Ruso (Cucumis sativas)	34
5.10.1. Diseño experimental	34
5.10.2. Material Vegetativo	35
5.10.3. Germinación	35
5.10.4. Trasplante	36
5.10.5. Medición de drenaje	36
5.10.6. Medición de cosecha	36
5.10.7. Medición de raíz	37
5.11. Prueba de tratamientos con riego diferenciado	38
5.11.1. Diseño experimental	38
5.11.2. Germinación para segundo ciclo de producción	38
6. RESULTADOS	42
6.1. Prueba de tratamientos en laboratorio	42
6.1.1. Determinación de propiedades físicas	42
6.1.2. Prueba de tratamientos sin cultivo en invernadero	42
6.1.3. Prueba de tratamientos con cultivo de pepino pickle Ruso (Cucumis sativas)	43
6.1.4. Mediciones de raíz	44
6.1.5. Prueba de tratamientos con riego diferenciado	44

7. CONCLUSIONES	46
7.1. Conclusiones	46
BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE CUADROS

5.1. Tratamientos.	29
5.2. Tratamientos para el segundo ciclo de producción.	38
5.3. Macronutrientes	39
5.4. Micronutrientes	40
5.5. Segundo ciclo de producción.	41
6.1. Producción de pepino	44

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1. Anatomía del agave	12
5.1. Ubicación geográfica de la investigación	26
5.2. Diseño Metodológico	26
5.3. Invernadero experimental	27
5.4. Sustratos petreos	27
5.5. Mejoradores	27
5.6. Malla de cribado	27
5.7. Método del cuarteo	28
5.8. Proceso de trituración	28
5.9. Figra de agave molida	28
5.10. Poliacrilamida	29
5.11. Pruebas en laboratorio	30
5.12. Bacula MXX-5001.	32
5.13. Medidor portátil de pH y conductividad eléctrica HORIBA.	32
5.14. Sistema de riego	33
5.15. Gráfica de distribución de riego	33
5.16. Tratamiento sin cultivo	34
5.17. Variables Climáticas	34
5.18. Diseño experimental	35
5.19. Material vegetativo	35
5.20. Profundidad de colocación	35
5.21. Segundo diseño experimental	38
5.22. Germinación exitosa	39
5.23. Elongación de plantula	39
5.24. Segundo Trasplante	39
6.1. Resultados de prueba de retención de humedad	42
6.2. Gráfica de drenaje sin cultivo	43
6.3. Gráfica de drenaje con cultivo	43
6.4. Gráfica comparativa de la producción total	43
6.5. Gráfica del comportamiento de la producción de pepino	44
6.6. Raíz a) Pómez, b) Pómez con Fibra de Agave y c) Pómez con PAM	44
6.7. Comparativa de los tres diferentes sustratos de raíz	44
6.8. Producción con riego diferenciado	45
6.9. Producción del 18 de julio al 30 de agosto del 2016	45

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Planteamiento del problema

En México, la producción de cultivos bajo invernaderos es de relevancia económica y social por la generación de empleos y divisas. Los sistemas de producción se han ido diversificando con el fin de incrementar el rendimiento, incorporando tecnologías novedosas como cubiertas plásticas, riego por goteo e hidroponía. Por otro lado los sustratos son usados para el crecimiento de cultivos en invernaderos por ser inertes y evitar enfermedades de raíz, que normalmente se tendrían en suelo, se definen o se usan en consideración a su precio y propiedades físicas. Sin embargo, poco se ha hecho respecto a la modificación de estas propiedades con el objeto de hacer un uso más eficiente del agua sin demerito de crear las condiciones adecuadas para el crecimiento óptimo de la raíces y de la parte aérea de la planta, así como de proveer de los nutrientes en cantidad y forma adecuada para lograr potencializar los rendimientos. Este problema puede ser resuelto si se utiliza la combinación de materiales con propiedades benéficas que mejoran las condiciones físicas y químicas del sustrato, principalmente lo relacionado con la retención de agua y el suministro de nutrientes.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

II.1. Objetivo General

Definir el efecto del uso de poliacrilamida y fibra de agave azul en el mejoramiento de las propiedades físicas de sustratos pétreos, para un mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos, bajo condiciones de invernadero.

II.2. Objetivos particulares

- Proponer y analizar nueve tratamientos para definir su comportamiento hídrico.
- Definir tres tratamientos mediante la evaluación del porcentaje de humedad de los tratamientos propuestos.
- Evaluar y definir el porcentaje de retención de humedad para 8g y 4g de poliacrilamida en combinación de sustratos pétreos.
- Evaluar el comportamiento hídrico de la fibra de agave en combinación con sustratos pétreos.
- Evaluar la producción bajo invernadero de Pepino Pickle Ruso (*Cucumis sativus* L.) con tres tratamientos que presenten mayor porcentaje de retención de humedad.

II.3. Hipótesis

Los sustratos pétreos naturales en combinación con mejoradores reducen el consumo de agua en el riego sin detrimento de sus propiedades físicas en la producción en invernadero

II.4. Justificación

La producción en invernadero es una de las actividades principales que se realizan en la facultad de Ingeniería campus Amazcala. Para que sea rentable la producción es importante

que los insumos sean de la región, evitando un costo elevado por el arrastre. Los materiales pétreos de la región son el tezontle y piedra pómez. Existen materiales que al combinarlos con los sustratos pueden permitir un mejor desarrollo radicular a la planta, permitiendo también almacenar nutrientes y agua de reserva en los espacios porosos, para cuando la planta la necesite. La poliacrilamida o lluvia solida es un material que se ha utilizado en la producción de cultivos, sin embargo existe escasa información en artículos o tesis que definan su comportamiento hídrico. La fibra de agave es un desecho de las industrias tequileras con estudios con un alto porcentaje de retención de humedad (80 %). La importancia de este trabajo radica en estudiar los sustratos pétreos y mejoradores, que definan el comportamiento hídrico de mezclas con mejorador natural (fibra de agave) y mejorador artificial (Poliacrilamida) para la producción en invernaderos de la Universidad Autonoma de Querétaro.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

III.1. Historia del riego

El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego. Por otra parte, es sabido que las actividades agropecuarias son la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, por esta razón cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente. (Williams Alanís et al., 2004).

El riego, se considera como una ciencia milenaria, en algunos países el riego se estableció como una actividad de vital importancia, entre los casos de pueblos con vocación en la irrigación se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes. En México, un ejemplo clásico de sistemas de riego antiguos son las chinampas, sistemas de producción agrícolas sobre los lagos, utilizados por los aztecas antes de la época de la conquista con la finalidad de producir los cultivos básicos de su alimentación en forma segura; el sistema en sí combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo). Después de los 80's, en todo el mundo fue desarrollándose el riego como una ciencia evolutiva de tal manera que las técnicas año con año, son cada vez mejores porque conjunta ahorro de agua, ahorro de energía y al ser extensivas abaratan los costos, con un aumento en la producción importante. En ésta época se introducen técnicas de fertilización y aplicación de químicos a través del riego, lo que se ha denominado fertigación y quemigación. Esta práctica ha desencadenado una alta productividad en los cultivos y ha hecho más eficiente el uso de los

recursos.

III.2. Sustratos usados en el cultivo bajo invernadero

Elección de sustrato El término sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido, natural o de síntesis, distinto del suelo in situ, que colocado en un contenedor o bolsa, en forma pura o en mezcla, permite el desarrollo del sistema radical y el crecimiento en cultivo (Abad y Noguera, 2000) y puede o no intervenir o no en la nutrición de la planta. Los sustratos están formados por tres fases y cada una de ellas cumple una importante función:

- Fase sólida, que es la responsable del anclaje de la raíz por lo tanto, asegura la integridad de la planta.
- Fase líquida que es muy importante en el suministro de agua y fertilizantes (nutrimentos) a la planta.
- Fase gaseosa, que es la responsable del transporte del dióxido de carbono y oxígeno entre la raíz y el medio externo.

Algunas razones por las que se ha sustituido el cultivo tradicional en suelo por el cultivo en sustratos son:

1. Se tiene un manejo más controlado de la nutrición del cultivo, y se evitan las infecciones que se presentan entre los elementos en el suelo.
2. Se evita el contacto con patógenos del suelo, reduciendo el impacto de estos sobre la sanidad del cultivo.
3. Se puede aprovechar cualquier tipo de terreno razonablemente plano, independientemente de su fertilidad o de otras limitantes como salinidad o presencia de fases líticas o pedregosas del mismo.
4. La necesidad de transportar plantas de un lugar a otro en la misma maceta, en el caso de ornamentales. Elección del sustrato

La elección de un sustrato se realiza con base a: análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas, ensayos de evaluación agronómica, costo de adquisición.

En ocasiones la mala experiencia con un sustrato se explica en base a que no se usó la granulometría adecuada. Abad et al (2005) menciona que salvo situaciones extremas, ningún sustrato que cumpla con los requerimientos mínimos (características físicas principalmente) puede considerarse inadecuado, porque las plantas responden a las características de los sustratos más que a sus materiales o constituyentes.

Otros puntos menos decisivos pero importantes son:

- Disponibilidad y homogeneidad. Los materiales a utilizar como sustratos deben estar disponibles en abundancia y con gran homogeneidad en cuanto a sus características granulométricas.
- Razonable costo de adquisición y transporte. Este es un parámetro significativo aunque, no debe de estar por encima de las características básicas. Es decir, es preferible adquirir un sustrato de mayor costo que cumpla con las características mínimas de calidad (aeración, retención de agua, espacio poroso, etc.). Otro aspecto importante es el costo de transporte, pues por sus bajas densidades es costoso transportar volumen de bajo peso, por largas distancias.
- Finalidad de la producción: Cada sustrato tiene un uso específico y hay que determinar para que se requiere, con el objeto de elegirlo correctamente. El tipo de cultivo y el clima son parámetros importantes.
- Impacto ambiental: Hay sustratos provenientes de recursos naturales difícilmente renovables como es el caso de la turba, tierra de monte, etc., por lo que cada vez es mas limitado su uso. El reciclado es también un parámetro de importancia al elegir un sustrato.

III.3. Caracterización de un sustrato.

Al igual que se han caracterizado y clasificado los suelos para su manejo, es necesario hacer lo mismo con los sustratos. En el caso de los suelos, la caracterización química viene a ser primordial y en general, se le asigna una menor importancia a sus propiedades

físicas. Por el contrario, en el caso de los sustratos, la caracterización física viene a ser fundamental y la caracterización química es menos relevante, dado que los nutrimentos se suministran en la solución nutritiva. Así que del conocimiento de las propiedades físicas, dependerá el manejo del riego y por ende gran parte del éxito del cultivo.

III.4. Características físicas

Las características físicas estudia la distribución granulométrica del material sólido, agua y aire, así como su variación en función de la capacidad de retención de agua. Por su parte, Burés (1998) menciona que el sustrato está formado por esqueleto sólido, que conforma un espacio poroso y éstos pueden estar llenos con agua o aire. La caracterización física de los sustratos implica el estudio de la granulometría, espacios porosos y densidades, así como la relación de agua y aire. Granulometría o tamaño de partícula Se refiere a la proporción de diámetros de las partículas que constituyen el sustrato. Debido a que la mayoría de los sustratos están constituidos por una mezcla de partículas de diferentes tamaños, es de esperar que sus propiedades físicas se vean afectadas en función de la distribución de tamaño de éstas, por lo que la caracterización granulométrica de los materiales es una práctica de rutina. Un ejemplo de ellos es que, materiales de textura gruesa, con tamaño de partículas superior a 1mm retienen cantidades reducidas de agua, y presentan alta aireación. Por el contrario los materiales finos, con partículas inferiores a 0.5 mm retienen grandes cantidades de agua, la cual es difícilmente disponible para la planta por regla general están mal aireados. En cuanto a este parámetro es recomendable que el sustrato tenga una mezcla de partículas que varíen de 0.2 a 2mm de diámetro, ya que en este rango se retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, una adecuada aireación. En la práctica, es difícil controlar la granulometría con tal precisión y solo se busca tener una mezcla de partículas desde una pequeña fracción de menos de 0.1 mm de diámetro hasta partículas de 10mm de diámetro en el caso de tezontle, tepetzil o tepojal. En caso de la perlita el límite superior llega hasta los 4mm y en caso de fibra de coco apenas por encima de 2mm. Lo importante es que la mezcla final de fracciones granulométricas, suministre una adecuada proporción de agua fácilmente disponible y una capacidad de aireación aceptable. La experiencia en el estudio de varios sustratos nos muestra que la fracción de 0.5 a 1.0 mm de diámetro independiente del sustrato que se trate, es la que

contiene mejor combinación de aireación y agua de alta disponibilidad. Esta fracción debe haber una mezcla de fracciones mas gruesas y más finas, para que le den un mejor balance de aire y agua al material. Hay que tener muy presente que una inapropiada mezcla del sustrato como una baja proporción de partículas en tezontle, pumacinta o tepetzil representa una baja retención de agua y el cultivo suele sufrir de sequía en las horas de máximas insolación. Por lo contrario, un sustrato con una elevada proporción de finos, presentará una alta retención de agua, pero sobre aireación y esto puede afectar al cultivo, particularmente si por mal manejo se aplican riegos excesivos.

Densidad aparente (Da), densidad real (Dr), espacio poroso total (EPT), relación agua-aire, capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de Reserva (AR), agua total disponible, agua difícilmente disponible, agua difícilmente disponible, capacidad de retención de agua.

III.5. Clasificación de los materiales utilizados como sustratos

Los criterios para clasificar los sustratos, se basan en el origen de los materiales, su naturaleza, propiedades, capacidad de degradación, etc. Sin embargo, una de las clasificaciones mas usuales es en materiales orgánicos e inorgánicas (Abad, 1995; Bures, 1988; Abad y Noguera, 2000).

III.5.1 Materiales Orgánicos

De acuerdo a su origen los sustratos pueden ser de tres tipos:

- Naturales: son materiales que están sujetos a descomposición biológica, por ejemplo la turba, tierra de monte etc.
- Sintéticos: normalmente denominados plásticos y son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química como la espuma de poliuretano y poliestireno, espumas de resinas fenólicas, etc. (Bunt, 1988; Bures, 1997).
- Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo: los materiales de este grupo requieren una previa maduración o estabilización de su materia orgánica para ser adecuados como sustratos, por ejemplo, por ejemplo, las cortezas de

árboles, aserrín, viruta de madera, residuos sólidos urbanos, lodos de plantas depuradoras de aguas negras, estiércoles, cascarilla de arroz, paja de cereales, polvo de coco, etc. (Bunt, 1988; Burés, 1997; Chong y Cine, 1993; Beeson, 1996; Tripepi et al., 1996).

III.5.2 Materiales Inorgánicos

Se describen tres tipos :

- De origen natural: son materiales obtenidos a partir de rocas o minerales de origen diverso (ígnea, metamórfica o sedimentaria), no son biodegradables. Por ejemplo arena, grava, roca volcánica zeolita, etc.
- Transformados o tratados industrialmente: son materiales provenientes de rocas o minerales, que han sufrido un proceso químico o físico, con el objetivo de obtener fibras y/o gránulos ligeros muy porosos, por lo que en este grupo tenemos a perlita, lana de roca, vermiculita, arcillas expandidas, etc. (Bunt, 1998; Hitchon et al., 1990).
- Residuos y subproductos industriales: son materiales provenientes de diversas actividades industriales residuos de procesos de combustión, desechos de minería, escorias de los hornos, escorias de carbón etc. (Burés, 1997).

III.6. Descripción de algunos sustratos

III.6.1 Gravas

Las particuluas de este sustrato poseen un diámetro de 5 a 15mm. y entre estos destacan las gravas de cuarzo, piedra pómez y todas aquellas que poseen menos de 10 % de carbonato de calcio. Su densidad aparente es de 1.5 a 1.8 mg cm⁻³. Posee esabilidad estructural buena, capacidad de retención de agua baja y porosidad mayor a 40 % de su volumen (Terres et al. 2001). Algunos ejemplos son los siguientes:

- El tezontle es una roca ígnea extrusiva de origen volcánico (escoria volcánica) que se origina por el enfriamiento de lava y está constituido por silicatos de aluminio además de bióxido de hierro: los colores varían de rojo a naranja, gris y negro. Raviv et al (2002) y Wallach et al. (1992) mencionaron que el tezontle se caracteriza por su alta

porosidad y área superficial. Existen varios tipos de tezontle que se diferencian entre sí por su viscosidad, color y contenido de Fe, Mn, Ca y Mg, estas diferencias se relacionan con el contenido de silicio presente en la roca y la temperatura de erupción, por lo que sus características físicas son determinadas principalmente por su composición mineralógica (Raviv et al 2002). Este material se somete a un proceso industrial de trituración para obtener la granulometría adecuada, se usa la fricción para perder ángulos y aristas, hasta que adquiere una forma redondeada de 2 a 50mm. la textura es porosa (vesicular), por lo que es un material ligero, poco resistente, además de ofrecer buen drenaje y casi no aporta nutrientes guarda el calor, no es permeable ni aislante. A pesar del valor que tiene en la agricultura en México, no se tienen el conocimiento específico de sus propiedades físicas y micromorfológicas.

- La piedra pómez, pumita o pumicita es un mineral de origen volcánico (piroclastos), poroso, ue se constituye de vidrio en forma de espuma; se origina durante el enfriamiento muy rápido del magma ascendente de alta viscosidad; característicos de las vulcanitas claras y acidas, como la riolita, y por ello son de color blanco grisáceos hasta amarillento, raramente de color partdo o gris (Damiels y Hammer, 1992). La piedra pómez esta compuerta de trióxido de silicio y trióxido de aluminio, entre otros componentes (71 % de SiO₂, 12.8 % de Al₂O₃, 1.75 % de Fe₂O₃, 1.36 % de CaO, 3.23 % de Na₂O, 3.83 % de K₂, 3.88 % de H₂O). Los minerales de la pómez se cristalizan rápidamente, por lo cual presentan un patrón de difracción de rayos X de rango corto y tienen un alta susceptibilidad al intemperismo (Bold et al 1989).

III.6.2 Arena

La arena que proporciona mejores resultados es la de rio, la granulometría mas adecuada esta entre 0.5 a 2 mm de diámetro. Posee una densidad aparente similar a la de la grava. Su capacidad de retención de agua es media (20 % del peso y mas del 35 % del volumen), con el tiempo y la compactación disminuye su capacidad de aireación y tiene CIC nula (Urrestarazu, 2000).

III.6.3 Turbas

Son materiales de origen vegetal con propiedades físicas y químicas variables según su origen. Éstas pueden clasificarse en turbas rubias y turbas negras. Las turbas rubias tienen menor contenido de materia orgánica y están menos descompuestas, mientras que las turbas negras están mineralizadas y tienen, por tanto un contenido mayor de materia orgánica (Terrés et al 2001).

III.6.4 Fibra de coco

Este sustrato se obtiene de la fibra presente en el fruto del cocotero. Esta fibra tiene capacidad de retención de agua hasta 3 o 4 veces su peso, su pH es ligeramente ácido (6.3-6.5) con una densidad aparente de 200 kg m⁻³, su porosidad es buena y se recomienda lavarla mediante inmersión en agua antes de su uso ya que contiene iones sodio y cloro en concentraciones considerables que ocasionan daño a plántulas y trasplantes (Urrestarazu, 2000).

III.6.5 Fibra de agave (agave tequilana Weber)

El género *Agave* contiene 140 especies, las cuales constituyen la mayor parte de la familia *Agavaceae*. Son cultivadas en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo (Parra y Macías, 2005) y se caracterizan por presentar un metabolismo ácido crasuláceo (MAC), que es responsable en gran parte, de los extremadamente bajos requerimientos hídricos de la planta (Nobel y Valenzuela, 1987). El *Agave tequilana* Weber, o agave azul, es una planta nativa de México, de gran importancia económica debido a que es la única especie apropiada para la producción de tequila. La cabeza o "piña" de la planta, posee una alta concentración de inulina, polímero lineal de fructosa que se hidroliza en azúcares fermentables usados para la elaboración de la bebida alcohólica (Bousios et al., 2007; Iñiguez-Covarrubias et al., 2001). La clasificación botánica del *A. tequilana* Weber se presenta en el cuadro 1. Parra y Macías (2005), así como Iñiguez-Covarrubias et al., (2001), describen al *A. tequilana* Weber como una planta carnosa, en forma de roseta, con aproximadamente 50 pencas. Sus hojas miden de 90-120 cm de longitud y 8-12 cm de ancho, son lanceoladas, puntiagudas, fibrosas, rígidas, cóncavas, con ascendencia horizontal, gruesas en la base y generalmente azuladas a verde-grisáceas con espinas marginales y apicales ver figura 3.1.

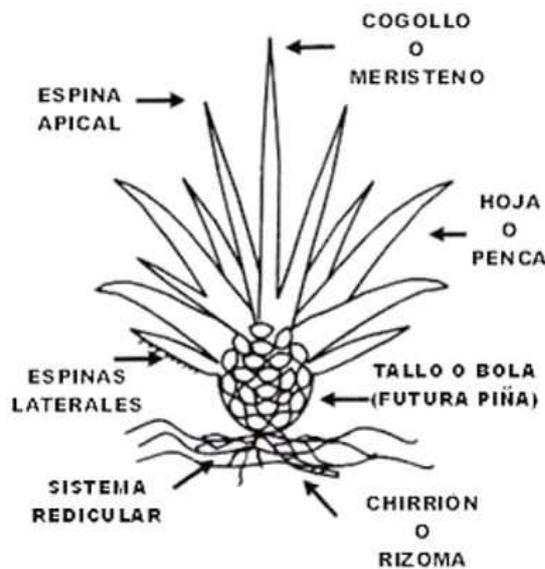


Figura 3.1: Anatomía del agave

El maguey tequilero requiere de 8 a 12 años de edad para llegar a su madurez; en ese momento es despojado de sus pencas para cosechar la piña, en tanto que el resto de la planta (principalmente hojas) es abandonada en los campos sin darle utilidad alguna (Enríquez, 1981). Iñiguez-Covarrubias et al., (2001) reportan que del peso húmedo total del agave, el 54 % corresponde a la cabeza de la planta, el 32 % corresponde a materiales que pueden ser utilizables para la producción de azúcares y fibra y que provienen de las bases de la hoja remantes en la cabeza después de la jima, así como de la base de la planta, y el 14 % restante, corresponde a las hojas cortadas durante la cosecha de la piña. El maguey tequilero requiere de 8 a 12 años de edad para llegar a su madurez; en ese momento es despojado de sus pencas para cosechar la piña, en tanto que el resto de la planta (principalmente hojas) es abandonada en los campos sin darle utilidad alguna (Enríquez, 1981).

Iñiguez-Covarrubias et al., (2001) reportan que del peso húmedo total del agave, el 54 % corresponde a la cabeza de la planta, el 32 % corresponde a materiales que pueden ser utilizables para la producción de azúcares y fibra y que provienen de las bases de la hoja remantes en la cabeza después de la jima, así como de la base de la planta, y el 14 % restante, corresponde a las hojas cortadas durante la cosecha de la piña. tequilana Weber es cultivado únicamente en los estados con denominación de origen. Estos estados incluyen a

Nayarit (8 municipios), Guanajuato (6 municipios), Michoacán (29 municipios), Tamaulipas (12 municipios) y Jalisco. Éste último produce el 90 % del total de tequila, pues cuenta con una superficie cultivada de agave de más de 48 200 hectáreas (Iñiguez-Covarrubias et al., 2001) que generan cerca de un millón de toneladas de agave anualmente, mismos que se procesan para la producción de tequila (Parra y Macías, 2005). Los residuos agroindustriales, han mostrado un gran potencial para actuar como sustrato para la alta producción de lacasa (Desai y Natyaland, 2011). los residuos generados durante la cosecha del Agave tequilana Weber para la producción de tequila, y su uso como sustrato natural, sin la adición de inductores para aumentar la producción de lacasa, no se ha investigado, lo que representa una alternativa potencial, ecológica, sostenible y económica, para el aprovechamiento de estos desechos, tomando en cuenta además, que aproximadamente un millón de toneladas de agave se producen y procesan anualmente para la elaboración de tequila, proceso en el cual la única estructura industrialmente útil es la llamada piña, en tanto que las penca cortadas, son abandonadas sobre los campos sin darles un uso importante(Cabrera, 2011).

III.7. Desinfección o esterilización del sustrato

La desinfección del suelo es una practica que se emplea en horticultura, sobre todo en invernadero que consiste en tratar de evitar los efectos negativos que ocasionan los parásitos producidos por una continua repetición de un cultivo o grupo de cultivos. Estos parásitos suelen ser insectos, nematodos, hongos, malas hiervas, bacterias y virus, y generalmente hacen peligrar la viabilidad de los distintos cultivos implantados en el suelo, para lo cual se han desarrollado varias técnicas o productos que combaten la acción de los mismos: Técnicas físicas: Estas técnicas están basadas en la utilización del calor como esterilizante, en sus diferentes formas de aplicación, como son la desinfección por calor y la solarización. Desinfección del suelo con productos químicos: Esta técnica esta basada en el empleo de los distintos productos químicos y mediante los efectos de los mismos lograr la desinfección del suelo. Estos productos químicos son los siguientes: Bromuro de Metilo, Cloropicrina, Dicloropropeno y sus mezclas, Metam - sodio y metam - potasio,Dazomet,Nema.

Desinfección con vapor de agua: Es un método de desinfección del suelo en el que se emplea el vapor de agua como desinfectante de todos los parásitos existentes en el suelo.

Dicho vapor se obtiene de una caldera móvil generalmente a 80 - 100°C que mediante una serie de tuberías y tubos es conducida al suelo donde va desinfectándolo poco a poco a una profundidad variable (5 - 15 cm) según el sistema utilizado, y con una duración media del tratamiento comprendida entre 5 y 20 minutos. Pero el efecto de este vapor también puede ser negativo ya que si se aplica a una profundidad demasiado elevada puede destruir las bacterias nitrificantes del suelo. La efectividad del sistema es mucho mayor en suelos secos que húmedos por lo que será aconsejable que evitar aplicar riegos antes de efectuar el tratamiento. La desinfección con vapor de agua es un método con una efectividad alta y su principal inconveniente es su alto costo. La desinfección por vapor de agua presenta ventajas e inconvenientes, como son: Cuando se emplea este método, las bacterias amonificantes suelen ser destruidas por lo que se suele producir una elevación en el contenido en amoníaco del suelo, por lo que pueden producirse fitotoxicidades por una excesiva acumulación amoniacal. De lo contrario cuando se realiza la desinfección con calor determinados elementos minerales pasan a formas más asimilables por la planta, lo que en terrenos muy ricos pueden llegar a ocasionar riegos de salinidad.

Solarización:

La solarización es una técnica de reciente instauración en España que logra desinfectar el suelo recubriendo el terreno con una lamina plástica de polietileno de un espesor entre 0.025 y 0.1 mm durante un periodo de tiempo comprendido entre 4 y 6 semanas, pudiendo efectuar riegos por debajo de la lamina durante este tiempo. Así se alcanzan temperaturas de 45 - 50°C a una profundidad de 10 cm y 38 - 45°C a 20 cm lo que destruirá todos los parásitos existentes en el suelo. Además, con la solarización se consigue una reducción de las pérdidas de calor latente de evaporación ya que el plástico impide la evaporación del agua del suelo al producirse una condensación de las gotas de agua en la cara interna del mismo plástico. Asimismo se reducen las pérdidas de calor debidas a la emisión infrarroja del suelo, y aumenta la capacidad calorífica y la conductividad térmica, lo que produce un aumento en la eficiencia de la transmisión del calor. La solarización se suele realizar los meses de verano, en los que la temperatura ambiental es más alta, y si se para practica junto a la técnica del enarenado, llega a ser de gran interés en el manejo de los invernaderos a lo largo de todo el litoral mediterráneo.

Esta técnica tiene un claro efecto herbicida pero los estudios realizados recientemente demuestran que algunas malas hierbas, sobre todo aquellas que son perennes, tienen la capacidad de rebrotar después del tratamiento. Desinfección del suelo con productos químicos:

A continuación se describirán los productos químicos más usados para la desinfección de suelos:

Bromuro de metilo:

Es un fumigante de acción general con una clara actividad en contra de los nematodos, insectos hongos y malas hierbas, y se presenta en forma de líquido volátil inodoro. Se formula conjuntamente con cloropicrina por la gran toxicidad del bromuro y porque la acción de ambos juntos es más intensa que por separado, presentándose normalmente en proporción de cloropicrina comprendida entre el 2 y el 33. Este producto se aplicará en dosis comprendidas entre 500 y 1000 kg/ha que se aplicarán una vez se haya realizado el acolchado del suelo exclusivamente por personal autorizado, y solo se podrán realizar labores agrícolas pasados 12 días, transcurridos entre 2 y 7 días después de levantar la lámina plástica. Este producto, al igual que otros fumigantes biocidas, afecta a la microflora del suelo, sobre todo a las bacterias nitrificantes y destruye la flora celulítica. También se han detectado casos de fitotoxicidad en algunos cultivos hortícolas como la cebolla, clavel, crisantemo pudiendo llegar a producir resistencia de algunos patógenos criptogámicos.

Cloropicrina:

Este producto se presenta como un líquido volátil de gran toxicidad, que en España se comercializa en junto con el Bromuro de metilo. Normalmente se aplica en dosis de 500 - 600 kg/ha, con un plazo de seguridad para la instauración del cultivo de 10 a 20 días. Al igual que otros desinfectantes puede afectar a las bacterias nitrificantes del suelo. En suelos ligeros y ácidos, la Cloropicrina puede llegar a ser fitotóxica por medio de sus residuos para las plantas hortícolas como el tomate. Dicloropropeno y sus mezclas:

Se trata de un fumigante de suelos de acción meramente nematocida que se aplica en dosis de 300 - 1000 l/ha. Posee un periodo de seguridad entre la aplicación del producto y la instauración de el cultivo de aproximadamente 15 días tras el tratamiento. En el mercado hay productos que se asocian con el Dicloropropeno tales como el dicloropropano y el metil-

isotiocianato que amplían la actividad de dicho producto hasta el campo de los hongos del suelo, las malas hierbas en germinación. Se ha dado el caso de que este producto ocasione alteraciones organolépticas en cultivos hortícolas como la zanahoria.

Metam - Sodio y Metam - Potasio Otro líquido fumigante como todos los anteriores de acción funguicida, insecticida y en cierta medida herbicida, que se aplicara con dosis variables entre 500 y 1500 l/ha, excepto para cuando se desee que actúe como herbicida, cuyas dosis deberán ser más elevadas. Normalmente se aplica localizadamente en surcos o disuelta en el agua de riego. Tiene un plazo de seguridad de 20 - 30 días, aunque a partir de 15 días puede empezar a labrarse el suelo para ser aireado.

Dazomet:

Se trata de un producto biocida comercializable en gránulos, de acción nematocida y funguicida principalmente aunque también es efectivo ante los insectos del suelo como gusanos, y malas hierbas en periodo de germinación. Normalmente se aplica en dosis comprendidas entre 350 y 500 Kg/ha excepto para cuando se quiere combatir las malas hierbas perennes, para lo que será necesaria una dosis mayor. Presenta un plazo de seguridad de unos 30 días, aunque a partir del décimo día se puede empezar a labrar el suelo para airearlo

III.8. Polímeros

Los polímeros se forman por la unión de pequeñas unidades (monómeros) conformando extensas cadenas. Las longitudes de sus cadenas en solución tienen un tamaño entre algunos miles de y $3 \times 10^5 \mu m$ y su diámetro promedio va de 0.5 a $1.0 \mu m$ (Shamp et al. 1975). Además de ser largas, las cadenas de polímeros son flexibles, multisegmentadas, y polifuncionales. Los polímeros se caracterizan principalmente por los siguientes parámetros: (1) peso molecular, (2) conformación molecular (enrollada o elástica), (3) tipo de carga, y (4) densidad de carga (Levy, 1995).

La poli(acrilamida) es un homopolímero de acrilamida. Puede ser sintetizado en forma de cadena lineal o entrecruzado, e incluso se emplea junto con otros monómeros como el acrilato de sodio para formar distintos copolímeros. La poli(acrilamida) no es tóxica. Sin embargo, la acrilamida que no ha polimerizado, que es una neurotoxina, puede estar presente en muy pequeñas cantidades en la acrilamida polimerizada, de ahí que sea recomendable su ma-

nipulación con precaución. En la forma entrecruzada, la probabilidad de que haya monómero libre es incluso mayor. Absorbe agua fácilmente, por lo que en la práctica es un hidrogel, y uno de los geles más utilizados para realizar electroforesis, las cuales tienen como objetivo realizar un análisis y/o separación por carga y tamaño molecular de los fragmentos de aminoácidos o nucleótidos que componen muestras biológicas como las proteínas o ácidos nucleicos como el ADN o el ARN respectivamente.

Un copolímero es una macromolécula compuesta por dos o más monómeros o unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos. Los monómeros pueden distribuirse de forma aleatoria o periódica. Si se alternan largas secuencias de uno y otro monómero, se denomina copolímero en bloque. Si el cambio de composición se produce en las ramificaciones, se trata de un copolímero ramificado. La importancia de los copolímeros reside especialmente en la variedad de utilidades que el ser humano le puede dar a estos compuestos. Así, como en la industria de la óptica y contactología, además están presentes en muchos de los alimentos o materias primas que consumimos, pero también en los textiles (incluso pudiéndose convertir en polímeros sintéticos a partir de la transformación de otros), en la electricidad, en materiales utilizados para la construcción como el caucho, en el plástico y otros materiales cotidianos como el poliestireno, el polietileno, en productos químicos como el cloro, en la silicona, etc. Los copolímeros industriales más conocidos son: el plástico acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), el caucho estireno-butadieno (SBR), el caucho de nitrilo, estireno acrilonitrilo, estireno-isopreno-estireno (SIS) y etilenoacetato de vinilo (más conocido como goma Eva). Los polipéptidos de las proteínas o de los ácidos nucleicos son los copolímeros aleatorios más comunes. Un ejemplo de distribución periódica es el del peptidoglucano. Un monómero (del griego mono, 'uno', y meros, 'parte') es una molécula de pequeña masa molecular que está unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, formando macromoléculas llamadas polímeros. El monómero natural más común es la glucosa, que está unida por enlaces glucosídicos formando polímeros tales como la celulosa y el almidón, formando parte de más del 77 % de la masa seca de toda la materia de la planta. Muy a menudo el término monómero se refiere a las moléculas orgánicas que forman polímeros sintéticos, tales como, por ejemplo, el cloruro de vinilo, que se utiliza para producir el PVC. El proceso por el

cual los monómeros se combinan de extremo a extremo para formar un polímero se denomina polimerización. Las moléculas hechas de un pequeño número de unidades de monómero, hasta unas pocas docenas, se denominan oligómeros.

Los monómeros son compuestos de bajo peso molecular que pueden unirse a otras moléculas pequeñas (ya sea iguales o diferentes) para formar macromoléculas de cadenas largas comúnmente conocidas como polímeros.

Los polímeros son mezclas de macromoléculas de distintos pesos moleculares. Por lo tanto no son especies químicas puras y tampoco tienen un punto de fusión definido. Cada una de las especies que forman a un polímero sí tiene un peso molecular determinado (M_i) y por lo tanto, para caracterizar una muestra de polímero se busca caracterizar la distribución de pesos moleculares de las moléculas de las especies que lo conforman: la proporción (generalmente en peso, w_i) de cadenas de cada M_i que forma la mezcla. La poliacrilamida es un homopolímero de acrilamida. Puede ser sintetizado en forma de cadena lineal o entrecruzado, e incluso se emplea junto con otros monómeros como el acrilato de sodio para formar distintoscopolímeros. La poliacrilamida no es tóxica. Sin embargo, la acrilamida que no ha polimerizado, que es una neurotoxina, puede estar presente en muy pequeñas cantidades en la acrilamida polimerizada, de ahí que sea recomendable su manipulación con precaución. En la forma entrecruzada, la probabilidad de que haya monómero libre es incluso mayor. Absorbe agua fácilmente, por lo que en la práctica es un hidrogel, y uno de los geles más utilizados para realizar electroforesis, las cuales tienen como objetivo realizar un análisis y/o separación por carga y tamaño molecular de los fragmentos de aminoácidos o nucleótidos que componen muestras biológicas como las proteínas o ácidos nucleicos como el ADN o el ARN respectivamente.

III.9. LLuvia solida

La lluvia solida o silos de agua es un desarrollo tecnológico mexicano que recibe en el 2002, el IX premio anual de ecología y medio ambiente, es agua guardada en forma molecular en acrilatos súper absorbentes que almacenan hasta 500 veces su peso en agua de lluvia y 400 veces de agua de pozo o de la red sin modificar la estructura química de la misma, teniendo como resultado agua sólida en pequeños pedazos. La información que

presenta este producto menciona que en campo, arboles, plantas y jardín ahorra 70 a 80 % de agua. Algunas otras cualidades que se mencionan en la ficha técnica del producto son:

- No es tóxico ni contaminante.
- Dura 10 años, siendo su único requisito estar colocado junto a las raíces de las plantas y cultivos.
- Propio para sembrar en tierras desérticas.
- Ayuda a superar la incertidumbre en la siembra por la temporada de lluvias.
- Reduce costos en comparación con sistemas tradicionales de riego y potencializa la utilización de fertilizantes.
- Puede utilizarse para combatir incendios de pastizales o arbustos, congelado sirve para conservar y transportar alimentos perecederos.

Para la dosis de aplicación se recomienda:

Pasto 50 gramos por metro cuadrado

Arboles de ornato y/o frutales 100 a 150 gramos por árbol dependiendo de su tamaño.

Macetas, macetones y jardineras 5 a 10 gramos por kilo de tierra

Arbustos de 20 a 50 gramos por arbusto, dependiendo de su tamaño.

El producto cumple con las siguientes normas de carácter nacional e internacional:

FDA N° 21 CFR173 5

OSHA 29 CFR 1910 1200

Ministerio de agricultura de Francia: APV 8410030

Certificado de producto orgánico: IT BAC 008707 BIOAGRICERT

IV. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

IV.1. Desinfección de sustratos

Martínez y Altisent (2000) Presentan el trabajo llamado los cultivos hidropónicos y la desinfección de sustratos, recomiendan aplicar vapor de agua durante 5 minutos a 95-100 grados o 15 minutos a 80-90 grados otro método es la aplicación de Metan-Sodio que es muy fácil de incorporar mediante el sistema de riego. El método de Metan - Sodio es mas utilizado en cantidades abundantes de sustrato por practisidad.

IV.2. Sustratos utilizados en la agricultura

Pire y Pereira (2003) estudiarón las propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura. Evaluaron las características de seis componentes de sustratos hortícolas de uso común en el estado de Lara Venezuela construyeron un conjunto de porómetros siguiendo especificaciones de la Universidad de Florida y la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas con el objetivo de aportar informacion sobre las propiedades físicas de dichos componentes a la vez de evaluar la precisión de trabajo de los mencionados instrumentos. Los componentes evaluados fueron fibra de coco, aserrin de coco, cáscara de arroz, bagazo de caña, arena fina de rio suelo mineral. Encotrarón que los materiales de origen oránico presentaron altos valores de porosidad total y bajos de densidad real y aparente. Lo contrario ocurrió con el suelo y la arena. El aserrín presentó el valor mas alto de retención de humedad, pero también uno de los más bajos componentes de poros grandes. Por otra parte, el uso de los porómetros probó ser un método confiable y práctico de utilizar debido a su precisión y sencillez.

López-Pérez et al. (2005) Evaluaron el efecto de cuatro mezclas de fibra de coco y tezontle y el sustrato comercial vermiculita, sobre el crecimiento de dos genotipos de fresa (Chadler y Oso grande), en un experimento en invernadero bajo condiciones hidropónicas.

Las diferentes mezclas influyeron en el peso fresco y seco de raíz, corona y peciolo y hojas, así como en altura de la planta y área foliar. Observaron un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas de fresa al incrementar las proporciones de fibra de coco en las mezclas elaboradas. La mezcla G3C1 (75 % tezontle y 25 % fibra de coco, v/v), produjo las mayores respuestas de las variables evaluadas que las demás mezclas y que la vermiculita, por lo que la mezcla G3C1 es recomendable para el crecimiento de fresa en hidroponía.

Ortega-Martínez et al. (2010) investigaron los diferentes efectos en sustratos para el crecimiento y rendimiento de la planta de tomate en diferentes sustratos: Aserrín de pino, composta de estiércol de ovino, tierra agrícola y tezontle rojo. Segura-Castruita et al. (2011) estudiaron el desarrollo de la planta de tomate en sustrato elaborado con arena (70 % con base en el volumen) más 30 % de partículas pomáceas de 2.38 a 3.35mm de diámetro; con tres frecuencias diferentes de riego (diario, cada tercer día y seis días). Registraron datos de altura de la planta, longitud de raíz, número de hojas y flores. El consumo de agua fue de 600 ml diarios en la época de máxima demanda. La retención de humedad inicial del sustrato fue de 44.40 %, de la cual 56 % resultó estar disponible. Aguas (2011) propone alternativas diferentes de fertilización y mecanismos de ahorro de un recurso no renovable, incursionar en la micro producción en espacios cerrados y la utilización de terrenos con bajas características nutricionales. Rangel Salinas et al. (2013) realizaron la estimación de demanda hídrica del trigo y sorgo mediante la recalibración del coeficiente KT, para la estimación de evapotranspiración de referencia (ET_o). Debido a que el método recomendado por la FAO es el de Penman-Monteith y a veces las variables necesarias son escasas. Usaron un método más simple el Tanque Evaporímetro. Valenzuela López et al. (2014) Realizaron un estudio para conocer la respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco, para esto utilizaron la solución nutritiva Steiner al 100 % de concentración nutrimental, así como las variaciones en la concentración de la misma (25 % y 50 %) de dicha concentración, en comparación con el testigo (sólo agua), aplicadas en mezclas de sustratos orgánicos a base de humus de lombriz y fibra de coco. Young et al. (2014) estudiaron la importancia de los diferentes componentes en el sustrato de techos verdes para el crecimiento de plantas y su rendimiento fisiológico.

Chávez et al. (2010) presentaron una investigación del uso eficiente del agua de

riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida, usando como referencia Avena sativa. Ayudaron a reducir el consumo de agua para irrigar los cultivos de 10 cm de agua, que representan 1000 m³/ha. Namvar et al (2014) realizaron una experimentación con los efectos de polímero superabsorbente en el rendimiento y el rendimiento componente de dos variedades de uva. Los resultados obtenidos del estudio mostraron que los tratamientos superabsorbentes afectaron significativamente el rendimiento, el promedio más bajo fue el del control. Possú et al. (2014) propusieron estudiar el efecto del polímero hidroabsorbente Stockosorb sobre el incremento en diámetro y altura en vivero de la especie Eucaliptus saligna SM. Obtuvieron una tendencia creciente de las plantas al presentar mayor vigor en las dosis más altas; al aumentar las cantidades del producto hasta dos gramos incorporándolo al sustrato lograron en la retención de humedad en un 98.98 % comparado con la capacidad de campo del testigo, logrando con 43,52 %.

El agave azul constituye la materia prima para la elaboración de tequila, los principales estados productores en México (Jalisco, Michoacán, Nayarit, Tamaulipas). Debido a las grandes cantidades de gabazo de agave producidas y su alto contenido de humedad (80 %), y su transporte, aprovechamiento, su confinamiento o tratamiento se dificulta. Ello ha provocado tiraderos clandestinos o incorporaciones inadecuadas a campos agrícolas, con los riesgos de favorecer problemas fitosanitarios posteriores (Macías et al. 2010). Ibarra y Cinco (2014) trabajaron con seis sustratos orgánicos el primero fue el serrín de pino, cascara de arroz, compost de fibra de agave tequilero, tamizado de vermicompost mas pulpa de café y gabazo de caña. Utilizaron como control 40 % de fibra de coco, 40 % turba y 20 % de perlita. El cultivo que utilizaron fue papa. Desde los años 1950 la industria de invernaderos, ha estado buscando más eficiencia y mejores resultados, comenzó a sustituir la tierra por “sustratos” (Kendi, 1995). Un sustrato es un material sólido simple o mezcla de materiales simples, de origen natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que se utiliza para producir plantas o cultivos en contenedores, donde cumple funciones de soporte, de aireación y de retención y aporte de agua, pudiendo o no intervenir en el proceso de nutrición mineral de las plantas o cultivos (Cruz Crespo et al., 2012). El sustrato tiene cuatro funciones: 1) proveer agua, 2) suministrar nutrientes, 3) permitir el intercambio gaseoso, y 4) servir de soporte físico para las plantas (Nelson, 1991). El sustrato es el elemento o conjunto de elementos sobre los que

las plantas sitúan sus raíces, sirviendo de elemento estabilizador y anclaje en la tierra y como almacén de nutrientes. El sustrato puede ser muy variado y con características muy diferentes en relación al material o materiales que empleemos para este fin. Las características de un sustrato son el resultado de sus propiedades físicas. Estas dependen de la estructura de los componentes y vienen definidas por la proporción entre partículas de tamaño grande y pequeño, el conjunto de poros y los volúmenes relativos de agua y de aire que ocupan los poros.

Llevarón a cabo dos experimentos para evaluar las propiedades físicas y químicas y probar la eficiencia agronómica de siete sustratos alternativos para la producción de tubérculos-semilla bajo condiciones de invernadero. La mezcla de control utilizado tradicionalmente por los productores, que consiste de 40 % de fibra de coco, 40 % de turba y perlita 20 % (v/v) se comparó con otras seis mezclas, en sustitución de la turba: 1) serrín de pino, 2) cáscara de arroz, 3) compost de fibra de agave tequilero, 4) tamizado de vermicompost pulpa de café y 6) bagazo de caña. Se evaluaron varios parámetros físico-químicos (pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Retención de Humedad, Capacidad de Aireación) en cada mezcla de sustrato y dos variedades de papa fueron probadas (Alpha y Atlantic). Las mezclas de sustratos se colocaron en camas de 15 cm de profundidad en 69 ($\frac{\text{plantas}}{\text{m}^2}$) y 100 días después, los tubérculo-semilla fueron evaluados en su número y biomasa. Cada unidad experimental tuvo cuatro plantas con 3 y 12 repeticiones cada uno, en seis mezclas de sustratos (96 tubérculos por variedad de papa-Experimento 1 y 288 tubérculos por variedad de papa Experimento 2). En el experimento 1, el mayor número de tubérculos-semilla por planta en la variedad Atlantic se obtuvieron en las mezclas de sustratos el tamizado de fibra de pulpa de café (7.6), la fibra de agave tequilero (5.3), y fibra de pulpa de café (5.2), superando estadísticamente al tratamiento con turba (testigo) 3.81. En el experimento 2, el mayor número de tubérculos-semilla por planta en la variedad Alpha se obtuvieron en la mezcla de sustrato de tamizado de pulpa de café (9,5) que fue estadísticamente superior al de turba (control: 5,75) y en la pulpa de café en la variedad Atlantic el tratamiento tamizado de vermicompost de pulpa de café (5,9) compost, de agave tequilero (4,7) y la turba (4,4) al igual que la cascarilla de arroz (4,4). La capacidad de aireación (AC) fue mayor en los tratamientos de aserrín con 15,9 % y tamizado de pulpa de café (15,8 %) y la cascarilla de arroz con un

12,8 %. En el espacio poroso total, el tratamiento de turba (76,0 %) y el bagazo de la caña de azúcar (75,3 %), donde este último no permitió el libre paso del agua de riego al comienzo del experimento (hidrofobia), y al final del experimento presentó compactación. Por tanto, las variedades Alpha y Atlántico presentaron tubérculos enfermos con sarna común (*Streptomyces scabies*), aunque con una baja incidencia (<1 a tubérculo por planta).

De Rada et al. (2005) utilizaron la fibra de pino para la producción de pimiento, la fibra de pino es un material de origen vegetal que proviene de la madera de especies de pino de origen local, por lo que se eliminó la dependencia de importaciones. Las propiedades físicas y químicas que se realizaron a este sustrato fueron densidad aparente con $0,061 (\frac{g}{cm^3})$, densidad real $1,46 (\frac{g}{cm^3})$, índice de grosor 97.5 %, espacio poroso total 95,8 % de vol, capacidad de retención de agua $187 (\frac{mL}{L})$, contracción 10 % vol, materia orgánica total 99 %, pH en pasta saturada 5,76, CE en extracto de saturación $0.63 (\frac{dS}{m})$.

IV.3. Mejoradores de sustratos

El sector agrícola ha realizado grandes esfuerzos para mejorar el aprovechamiento del agua, sin embargo, estudios de recarga de mantos acuíferos estiman muy por debajo la recarga. Para tratar este punto expertos mencionan que la reconversión de cultivos y la tecnificación del riego son dos aspectos claves para hacer un uso eficiente del agua. Otra forma de lograr un manejo más eficiente del agua es con el uso de hidrogeles, polímeros a base de acrilamida, altamente absorbentes e insolubles en agua, que constituyen una alternativa limpia y eficiente para reducir las pérdidas de agua en la agricultura propiciadas por la evaporación y percolación, reduciendo costos en insumos (fertilizantes) al disminuir pérdidas por infiltración, como energía eléctrica al aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo permitir reducir la frecuencia de los riegos dada a su alta capacidad de absorción del agua (López-Elías et al., 2016).

La respuesta del polímero depende del tipo de polimerización, Las poliamidas pueden ser degradadas biológicamente, por lo que una vez aplicadas en el suelo sufren una paulatina degradación o disociación, influyendo los rayos ultravioletas provenientes del sol en su degradación y el uso de implementos agrícolas. (Azzam, 1983; Sojka et al., 2006). El uso del polímero hidrófilo es una herramienta que ayuda a mejorar la capacidad de absorción de

agua, permitiendo mejorar la eficiencia en el uso del agua; cuyo efecto depende de la calidad del agua, viéndose reducida significativamente la capacidad de hidratación del polímero con la presencia de sales en el agua de riego.

Existen diversos equipos para incorporar el polímero hidrófilo al suelo, tanto en su forma seca como hidratada. Están los que operan con aire a presión que fracturan el suelo y aplican el polímero en forma simultánea, existiendo también aquellos que inyectan el polímero en forma seca con agua a presión alta (3 000 psi) y un Venturi que crea un vacío permitiendo introducir el polímero en el flujo de agua (Orzolek, 1993). Es necesario realizar pruebas con los polímeros hidrófilos en diferentes cultivos y condiciones edafoclimáticas, para definir la cantidad y forma de aplicación más conveniente en cada situación (Bernardi et al., 2005).

V. MATERIALES Y METODOS

V.1. Ubicación del estudio

La investigación se desarrollo en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se encuentra en la comunidad de Amazcala en el municipio de El Marqués, Querétaro. Situado entre los $20^{\circ} 31'$ y $20^{\circ} 58'$ de latitud norte, limita al oeste de la ciudad de Querétaro, estado al norte de Guanajuato, al este con el municipio de Colón y al sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. La temperatura media es de 21°C , con un clima predominante templado-semiseco.(Ver figura 5.1).

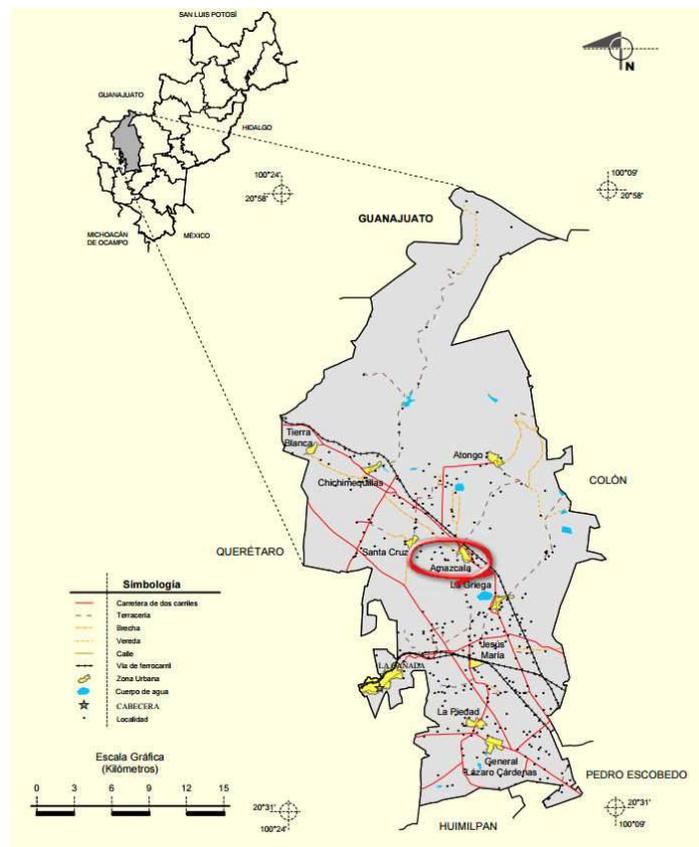


Figura 5.1: Ubicación geográfica de la investigación

V.2. Diseño Metodológico

López-Elías et al. (2016) Menciona que es imperante trabajar con mezclas de poliácridamida que definan el comportamiento en diversas proporciones para un uso eficiente del agua. Investigaciones demuestran que la fibra de agave tiene un porcentaje de retención de humedad del 80 %. En esta investigación se pretende evaluar el comportamiento hídrico de sustratos pétreos en combinación con mejoradores (poliacridamida y fibra de agave). Para poder cumplir los objetivos de esta investigación se trabajo con el diseño metodológico mostrado en la figura 5.2



Figura 5.2: Diseño Metodológico

V.3. Area de estudio

Se utilizó un invernadero experimental tipo capilla, con un área de 108 m². Está constituido por una nave cuyas dimensiones son 9 m de ancho por 12 m de largo, tiene una altura a la canaleta de 4.2 m y una altura cenital de 6.2 m. Cuenta con dos ventanas laterales de 7.5 m de ancho y 2.2 m de alto, y una cenital de 12 m de ancho y 0.5 m de alto, las cuales abren y cierran manualmente. Además están cubiertas con malla antiáfidos de 250 hilos/pulg² para evitar la entrada de insectos. Dicho invernadero está cubierto por plástico de un espesor de 800 galgas difuso, el cual esta sujetado a la estructura del invernadero con clip zigzag de acero. El suelo cuenta con acolchado de color blanco para evitar que crezca maleza y aislar el suelo evitando posible presencia de algún patógeno (Figura 5.3).



Figura 5.3: Invernadero experimental

V.4. Diseño de tratamientos

En la investigación se utilizaron los siguientes sustratos de la región: tezontle y piedra pómez (ver figura 5.4). Se utilizaron dos mejoradores: uno natural (fibra de agave) y otro artificial.(Ver figura 5.5)(poliacrilamida, PAM).



Figura 5.4: Sustratos petreos



Figura 5.5: Mejoradores

V.4.1 Método de cuarteo de Tezontle y Pómez

Para obtener una muestra representativa del tezontle como de la piedra pómez se utilizó el método del cuarteo como se muestra en la figura 5.7. Antes de que los sustratos sean expuestos a esta prueba se tamizaron ambos sustratos con una malla metálica para cribar de 9.5 mm (Ver figura 5.6)

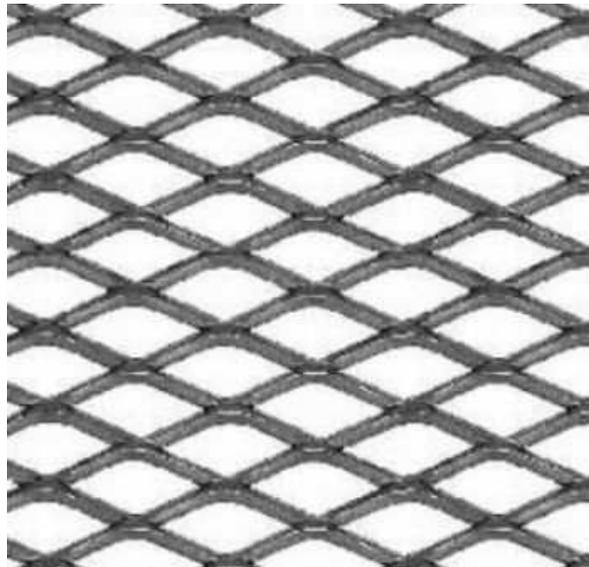


Figura 5.6: Malla de cribado

El método de cuarteo consiste en extender el sustrato en una área 4m x 4m de tal forma que esa área se divida en cuadrantes de 1m x 1m y en cada cuadrante se colocan 50kg

del material, se homogeniza en sentido contrario a las manecillas del reloj. Se retiran dos cuadrantes, se repite el procedimiento hasta quedarse con un cuarto de la muestra total que será la muestra representativa.



Figura 5.7: Método del cuarteo

V.4.2 Fibra de agave weber tequilana azul

Esta fibra fue donada por la empresa Tequilera Ureña cuyo desecho es debido a la producción de tequila. Se tiene un desperdicio semanal de una tonelada, dejando esto como un material reutilizable para el sector agricultor. Antes de utilizar este material se realizó el siguiente procedimiento:

1. Solarización de la fibra, esto consistió en extender el material de forma uniforme en una superficie plana, permitiendo la incidencia de sol a la fibra durante una semana con la finalidad de descartar nematodos o patógenos.

2. Trituración de fibra de agave con molino de forraje verde Husky de 6.5 hp (ver figura 5.8). Se recomienda ajustar la banda del triturador de tal forma que la fibra de agave molida tenga una apariencia a la de fibra de coco como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.8: Proceso de trituración

En la figura 5.9 se puede observar la similitud con la fibra de agave. Realizar el proceso de trituración de fibra de agave es un arduo labor y se torna menos complicado si se toman en cuenta las siguientes medidas de protección o recomendaciones: Utilizar guantes, cubre bocas y tener cubiertas las manos. Debido a que es un material picoso y podría causar malestares por unas horas, irritando la piel entre otros padecimientos. Por ello se recomienda tener un uso adecuado del material al trabajar.



Figura 5.9: Fibras de agave molidas

3. Esterilización de fibra con metano potasio para descartar enfermedades al cultivo.

V.4.3 Poliacrilamida

Partículas super absorbentes capaces de almacenar hasta 500 veces su peso en agua, manteniendo la humedad en las raíces. Este producto contiene copolímeros de acrilatos de potasio su nombre comercial es lluvia sólida. Las instrucciones del producto recomiendan mezclar 100g en un bulto de tierra preparada, un bulto es suficiente para llenar 15 macetas de 20cm de diámetro, poner agua hasta que la planta la necesite, no es tóxico, ni peligroso. En esta investigación se utilizó 4g y 8g de acrilato de potasio. Por recomendaciones del distribuidor se mezclaron 8g de PAM en 3litros de agua dejándose reposar por 15 minutos hasta que el

hidrogel absorbiera los 3 litros de agua dejando una consistencia como se muestra en la figura 5.11, teniendo el copolímero de acrilato hidratado.



Figura 5.10: Poliacrilamida

V.5. Tratamientos

El la tabla 5.1: Se muestran los tratamientos propuestos a evaluar, para realizar dicha actividad se consultó en artículos científicos y tesis, hasta el momento no se ha encontrado información del tema. Tampoco se encontro información de las combinaciones propuestas en este trabajo. por lo cual fué necesario realizar un pre-experimento de la combinación con diferentes próporciones.

Tabla 5.1: Tratamientos.

Tratamiento	Sustrato	Mejorador
T1	Pómez	0g de PAM
T2	Pómez	4g de PAM
T3	Pómez	8g de PAM
T4	Fibra de coco	0g de PAM
T5	Tezontle	Fibra de agave
T6	Pómez	Fibra de agave
T7	Tezontle	0g de PAM
T8	Tezontle	4g de PAM
T9	Tezontle	8g de PAM

Volumen de sustrato 12L.

V.6. Determinación de las propiedades físicas

Se consultó literatura de características físicas, químicas que se realizaron a los sustratos para satisfacer los requerimientos del cultivo. Para la obtención de las propiedades físicas se realizaron tres repeticiones por muestra. El análisis se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la figura 5.11 se muestran evidencias en donde se realizaron pruebas de granulometría, densidad aparente y retención de humedad.



Figura 5.11: Pruebas en laboratorio

V.6.1 Granulometria

Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Martines (1992) y Noguera et al. (2000) utilizando tamices de 16,8,4,2,1,0,5,0,25y 0,125 mm de luz.

V.6.2 Densidad real

Se cálculo siguiendo el método descrito por Boodt et al (1974), en el que se supone un valor fiji de densidad real para los suelos minerales de $2,65gcm^{-3}$ y de $1,45gcm^{-3}$ para los sustratos organicos. La ecuaci[on utilizada para el c[alculo de densidad real(DR) fué:

$$DR(gcm^3) = \frac{100}{\frac{\%MO}{1,45} + \frac{\%MO}{2,65}} \quad (5.1)$$

Donde: MO es el contenido en materia organica total y MM materia mineral o cenizas.

V.6.3 Densidad aparente

Se determinó siguiendo el método por Boodt et al. (1974), el cual se basa en el cálculo del peso seco del sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido, sometido previamente a una sicción de 10cm de columna de agua. Para ello se utilizaron anillas de acero inoxidable de 3 y 4 cm de altura y 82 mm de diámetro y tela de nylon, para cubrir la base de las anillas. Procedimiento: En un extremo de la anilla de 4cm. de volumen conocido $V[cm^3]$, se cubre con tela de nylon y se determina el peso del conjunto(A) con presión de 0.1g Al otro extremo se acopla la anilla de 3cm y en el cilindro formado, se introduce la muestra de sustrato a caracterizar (previamente humectada), sin apemalzar ni apretar, hasta 1mm del borde superior. A continuación, el cilindro se coloca en un recipiente, al que se le añade agua hasta 0.5mm del borde superior y se deja saturar durante 48 horas. Transcurrido este tiempo y con el fin de someterse a una tensión de columna de agua el cilindro se coloca en un baño de arena durante 48 hrs. El baño de arena consiste en un recipiente cilíndrico de 15 litros, al que se le ha realizado una perforación (drenaje) a unos 15 cm de la base se introduce arena y se separan las anillas. Se introduce arena grano fino (0.25- 0.30 mm) hasta 10 cm. por encima del drenaje y se añade agua en cantidad suficiente para que esta rebose por el mismo la capilaridad garantiza que la capa de arena por encima de la línea de drenaje se mantenga húmeda. Posteriormente, se saca el cilindro del baño de arena y se separan las anillas. Se corta con una espátula el material sobrante de la anilla inferior (4cm) y se pesa el conjunto anilla + sustrato (B). Finalmente, y siguiendo la metodología propuesta por Martínez(1992), se introduce el conjunto en estufa a 105°C hasta peso constante. Con los valores de los pesos A,B y C se calculó la humedad (X) según:

$$X(\%) = \frac{B - C}{B - A} 100 \quad (5.2)$$

Todas las determinaciones se realizan por triplicado. Con los valores medios de humedad, se estima la densidad aparente mediante la siguiente ecuación.

$$DA[gc\text{m}^3] = \left(\frac{B - A}{A}\right)\left(\frac{100 - X}{100}\right) \quad (5.3)$$

V.6.4 Espacio poroso total

El espacio poroso total(EPT)se calculó a partir de los datos de densidad (DR) y densidad aparente (DA), aplicando la siguiente ecuación:

$$EPT[\%] = \left[1 - \frac{DA}{DR} \right] 100 \quad (5.4)$$

V.6.5 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua(CRA) se determino según la modificación de Boot et al. (1947) propuesta por Martínez (1992),utilizando la siguiente ecuación:

$$CRA = \left[\frac{B - C}{V} \right] 100 \quad (5.5)$$

El valor de cada muestra se determinó por triplicado y el resultado final se expreso en ml de agua por L de sustrato.

V.7. Caracterización química

V.7.1 pH y conductividad eléctrica

Los atributos se miden en el laboratorio de hidraulica de la Universidad Autónoma de Querétaro.

■ Materiales:

1. Agua destilada,
2. recipientes de 1000ml,
3. agitador.

■ Equipo:

1. 1 Bascula comercial modelo MXX-5001, Capacidad de peso 5000 g, pesaje de tamaño 142 x 130 mmy una resolución de 0.1 gramos fuerza (ver Figura 5.12).
2. 1 Medidor portatil de ph y conductividad eléctrica marca HORIBA modelo D-54(Ver Figura 5.13).



Figura 5.12: Bacula MXX-5001.



Figura 5.13: Medidor portátil de pH y conductividad eléctrica HORIBA.

Procedimiento:

- 1.-Poner a cero la báscula;
- 2.-Pesar 100g del componente de interés y poner en recipientes ;
- 3.-Etiquetar la muestra;
- 4.-Introducir agua destilada 800ml;
- 5.-Reposar la muestra por 30min;
- 6.-Mover con el agitador;
- 7.-Enciende el equipo portátil de pH y conductividad eléctrica;

- 8.-Verifica que el valor de pH se encuentre calibrado;
- 9.-Enjuagar la punta del sensor con agua destilada para evitar contaminar la muestra e introducir en la muestra. 10.-Tomar la medición de Ph, conductividad eléctrica y anotar el primer dato.
- 11.-Repetir el paso 9 para la muestra para obtener datos por triplicado de cada muestra.

V.8. Sistema de riego

Se acondicionó el invernadero con colocación de plástico y acondicionamiento de riego. Se utilizaron goteros con un gasto de 4 l/h, mangueras de 16 mm. El diseño de riego se muestra en la figura 5.14, cuenta con tres tinacos, tres bombas, dieciocho líneas de riego controlada por una secuencia de temporizadores. El invernadero se preparó para tener seis camas de cultivo, cada cama de cultivo tiene tres líneas de alimentación la primera del tinaco uno (T1), la segunda del tinaco dos (T2) y por último la del tinaco tres (T3) teniendo así seis camas conformadas de la misma forma. El sistema de riego fue verificado mediante el coeficiente de uniformidad de riego ($CU = 90,5 \%$), quedando en óptimas condiciones tanto para la prueba sin cultivo y con cultivo.



Figura 5.14: Sistema de riego

V.9. Prueba de tratamientos sin cultivo en invernadero

Con la finalidad de corroborar los resultados de la determinación de las propiedades físicas obtenidos en laboratorio se realizó un pre-experimento en campo sin cultivo. Que consistió en habilitar únicamente la bomba T3 del sistema de riego. Suministrando un riego de tres litros/bolsa, distribuidos en dieciséis tiempos como se muestra en la figura 5.15, lo que actualmente le suministran a los cultivos de tomate en los invernaderos de Amazcala, durante un mes se realizaron mediciones de drenaje para observar el comportamiento de los nueve tratamientos. A partir de la determinación de las propiedades físicas y de la prueba sin cultivo se seleccionó tres nuevos tratamientos, los que mejor capacidad de retención presentaron.



Figura 5.15: Gráfica de distribución de riego

Se distribuyeron aleatoriamente los nueve tratamiento en mesas hechas a la medida de tres repeticiones por tratamiento, teniendo 27 bolsas en el invernadero. En la figura 5.16 se muestra las dimensiones de las mesas hechas a la medida y la medición de drenaje a los sustratos sin planta.

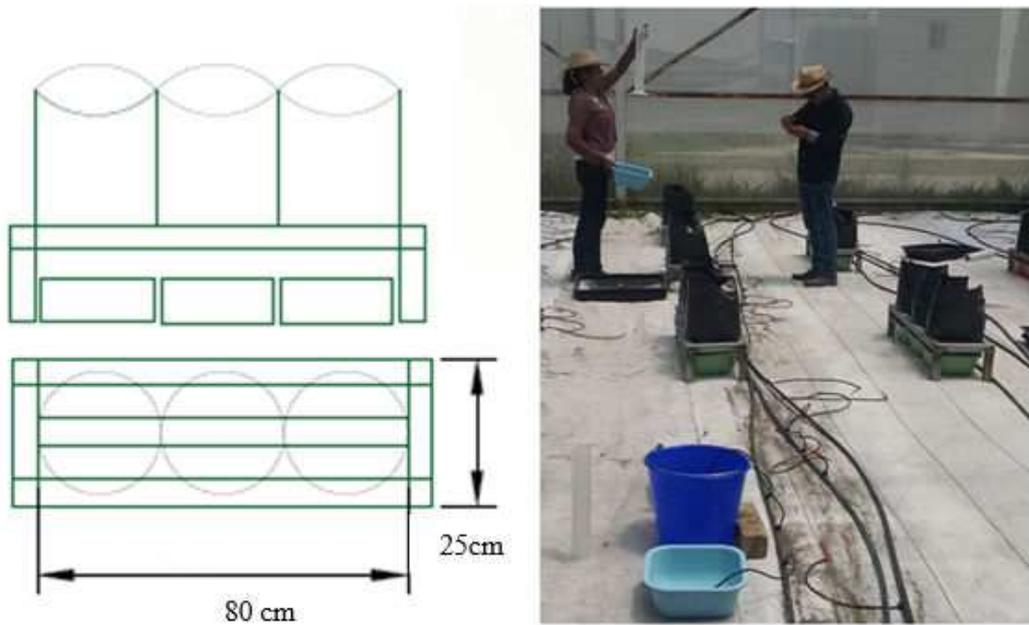


Figura 5.16: Tratamiento sin cultivo

Para la medición de temperatura y humedad dentro y fuera del invernadero se utilizó la tarjeta de adquisición de datos XL (ver figura 5.17).

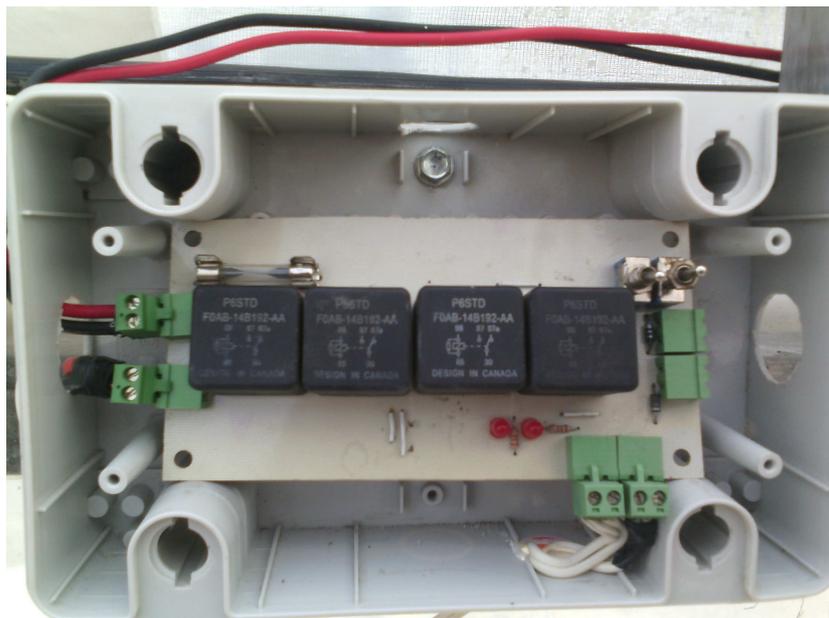


Figura 5.17: Variables Climaticas

V.9.1 Medición de drenaje

1. Se colocan 27 macetas sin cultivo en el diseño experimental.
2. 9 mesas tendran una elevación de 25cm para medir drenaje.
3. El riego que se aplica a los tratamientos será de *3l/dia*
4. En la parte inferior de la planta se ponen charolas de 4L para poder remover y medir drenaje.
5. Se monitorea drenaje de cada tratamiento.
6. De los resultados de laboratorio de propiedades físicas y químicas de los tratamientos y de los resultados de monitorar el drenaje durante 15 días en campo se seleccionan los tres mejores sustratos sustratos que se llevaran a campo con planta.

V.10. Prueba de tratamientos con cultivo de pepino pickle Ruso (*Cucumis sativas*)

V.10.1 Diseño experimental

Para la prueba con cultivo se habilitaron T1, T2 y T3 del sistema de riego manteniendo un riego constante de 3 litros para todos los tratamientos. Se extendió en el invernadero los diferentes tratamientos aleatoriamente como se muestran en la figura 5.18. Se tuvieron tres nuevos tratamientos en el invernadero, pómez como nuevo control (P), pómez con 8 gramos de copolímeros de acrilato de potasio (P8), pómez con fibra de agave (PA). Fueron los dos mejores tratamientos que presentaron un porcentaje significativo de retención de humedad en las pruebas de determinación de propiedades físicas. El sistema de riego se suministra a 6 camas de cultivo, tres líneas principales de riego, cada cama cuenta con con tres líneas secundarias (ver figura 5.14).

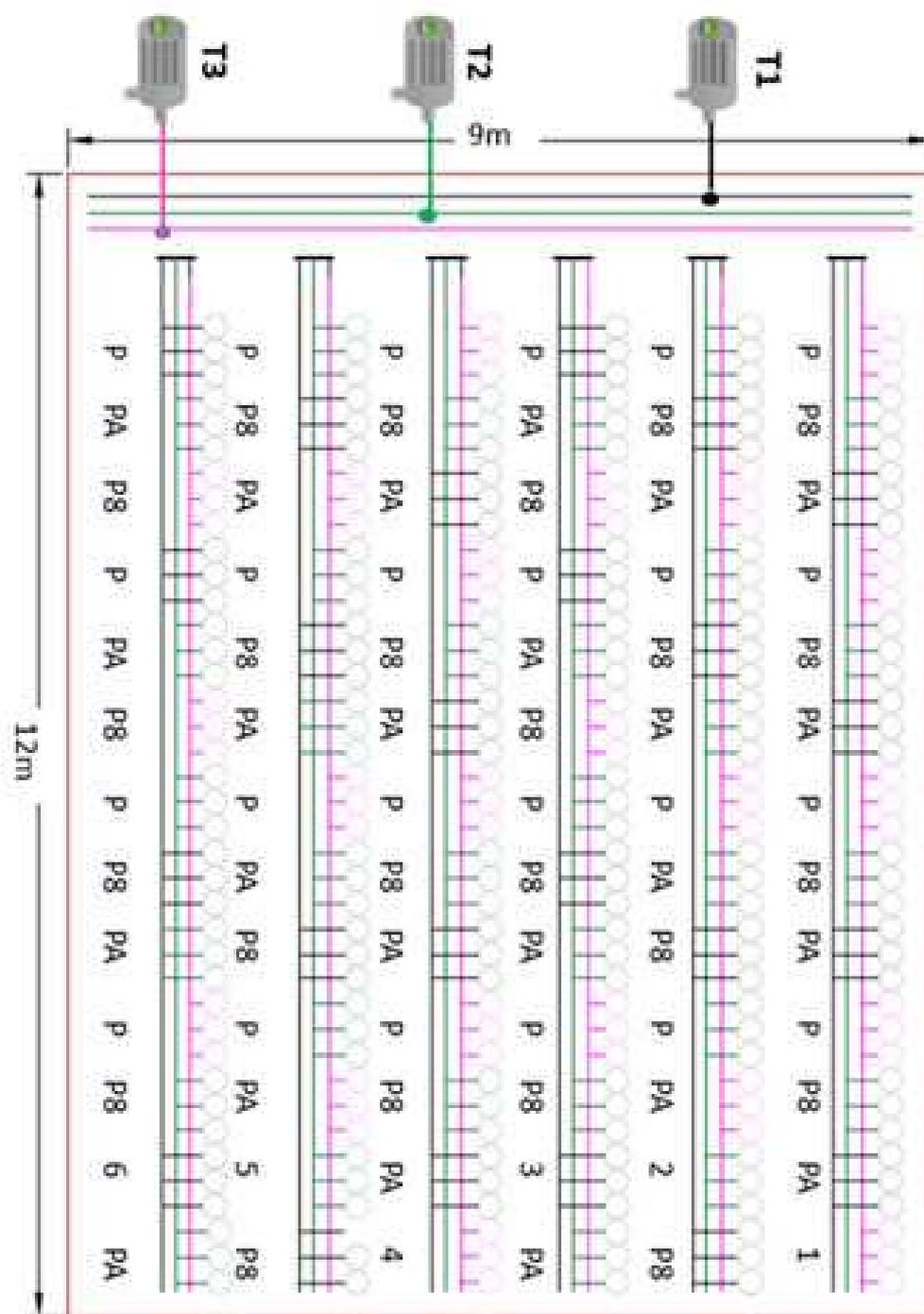


Figura 5.18: Diseño experimental

V.10.2 Material Vegetativo

En cuanto al material vegetativo se empleó semilla de pepino, de la variedad pepino pickle Ruso (*Cucumis sativus* L.), la floración es monoica con maduración intermedia, es una

planta muy vigorosa con excelente cobertura. El fruto es color verde oscuro de alta calidad, de forma cilíndrica, uniforme con puntas redondeadas muy atractivas y con dimensiones típicas de 23cm de longitud y 6cm de diámetro. En la figura 5.19 se muestra el aspecto físico de la semilla. Previamente se realizó la desinfección de las charolas de poliestireno con sales cuaternarias a una dosis del 2 %, la siembra se realizó empleando peat moss y vermiculita como sustratos para germinar. Se depositaron las charolas en una sala de germinación con condiciones controladas; humedad relativa de 63.6 % y una temperatura de 28.6°C, para estimular el proceso y porcentaje de emergencia. Se llevó a siembra hasta los 15 días.



Figura 5.19: Material vegetativo

V.10.3 Germinación

Metodología:

- Desinfección de 2 charolas de 200 cavidades, con sales cuaternarias a una dosis del 2 % para quitar los residuos de la anterior producción.

- Preparación de Peat moss a capacidad de campo.
- Se llenan las charolas con Peat moss y se introduce la semilla a 2mm de profundidad como se muestra en la figura 5.20.



Figura 5.20: Profundidad de colocación

- Una vez terminada la siembra se procede a llevar las charolas a un cuarto de germinación cuyas condiciones básicas son de alta humedad relativa y un mínimo de luz.
- A los 4 días empezará la germinación y a los 15 días se traspasa a los tratamientos.

V.10.4 Trasplante

- 15 días después de la germinación la plantula se llevará a campo.
- De los tres mejores tratamientos evaluados en laboratorio se llevara a campo.
- Antes de ingresar al invernadero se debe lavar las manos, cuidando la inocuidad del invernadero, evitando introducir algún patógeno que afecte a la producción.
- El arreglo experimental 5.21 montado en campo debe ser verificado.
- Realizar una prueba de riego, verificando que el sistema funcione y los goteros realicen su tarea adecuadamente.
- Realizar un hueco de 8 cm por bolsa, para introducir la plantula.
- Cubrir el área radicular de la plántula.

- Instalar el tutoreo o guía, para apoyo y soporte del peso de la planta.

V.10.5 Medición de drenaje

Durante el ciclo de cultivo que comprendió del 02 de septiembre al 08 de diciembre del 2015, se colocaron 9 soportes de macetas con sus respectivos recipientes con capacidad máxima de 4L. Las mediciones se realizaron por periodos de 5 días, el agua acumulada al final del día por maceta fue medida con una probeta. Es importante tener en cuenta la forma adecuada de la medición, evitando el paralelaje en las mediciones. Se recomienda tener una postura vertical al momento de tomar la medición.

V.10.6 Medición de cosecha

La cosecha consiste en la separación de la planta madre de porción vegetal. La metodología que se realizaron fueron las siguientes: Materiales:

- Caja de plástico de 20k
- Vernier digital.
- Marcador indeleble.
- Un lienzo.
- Pinza de corte para cosecha.
- Un lienzo.
- Una balanza de la marca Torrey.

Procedimiento:

- Identificación de las 7 líneas de producción.
- Inspeccionar planta por planta y observar que el fruto tenga un tamaño como mínimo de 12cm y 5cm de ancho.
- Limpiar el fruto con el lienzo.
- Colocar el fruto en la caja de plástico.

- Medir ancho, largo y peso del fruto.
- Registrar en bitacora.

V.10.7 Medición de raíz

Terminado el ciclo de cultivo, seleccionar 9 plantas para prueba destructiva.

- Romper la bolsa de 40x40.
- Separar la raíz del sustrato con detenido cuidado.
- Lavar las raíces.
- Medir el largo de la raíz.
- Registrar en bitacora.

V.11. Prueba de tratamientos con riego diferenciado

V.11.1 Diseño experimental

Con el primer ciclo de producción no se observó una diferencia significativa, por lo que en un segundo ciclo de cultivo, se manejó un riego diferenciado entre los 3 tratamientos; pómez, pómez con poliacrilamida y pómez con fibra de agave. En la figura 5.21 se muestra el diseño experimental del segundo ciclo de producción.

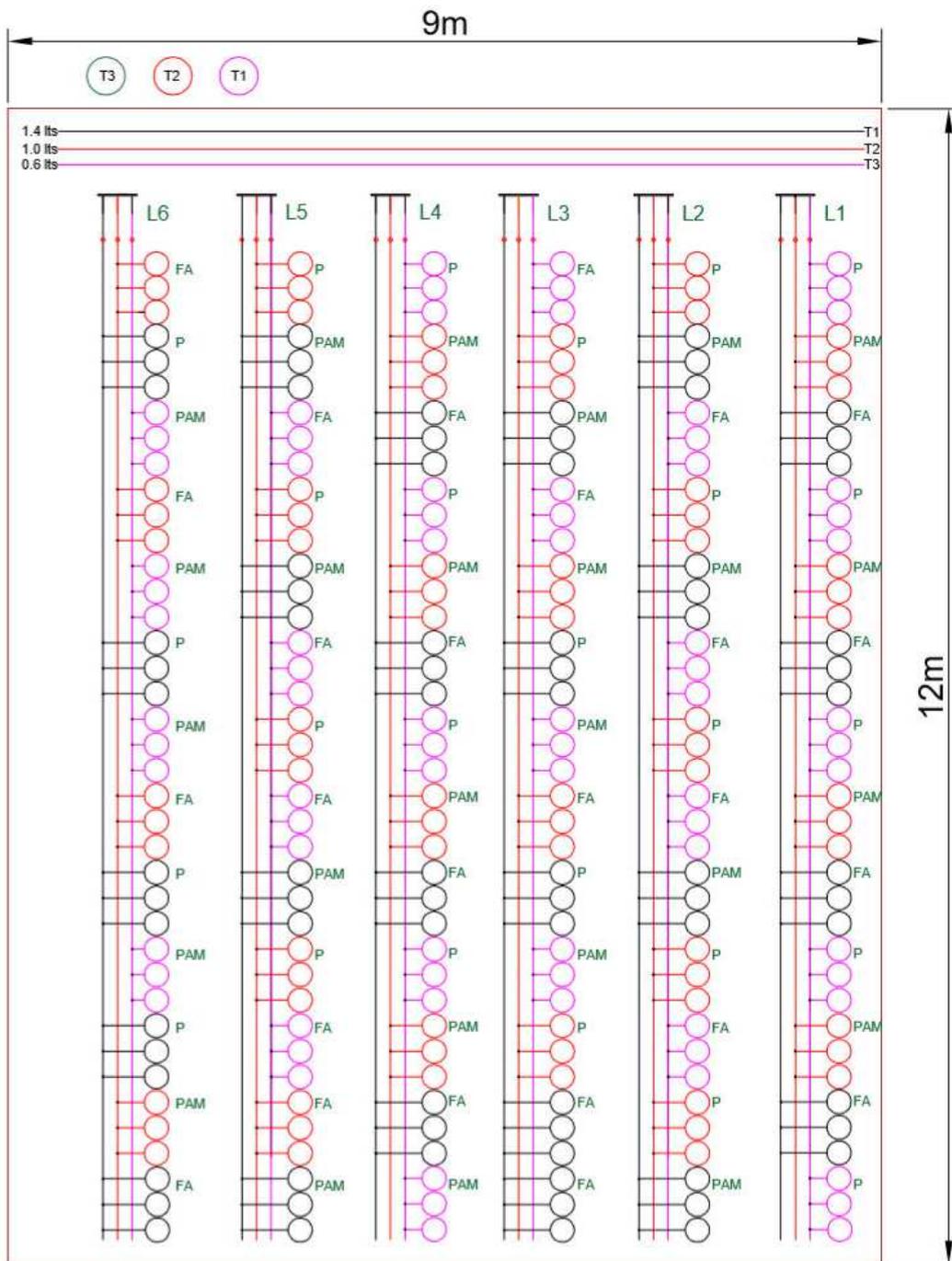


Figura 5.21: Segundo diseño experimental

En la tabla 5.2 se muestra la cantidad de litros por planta y los grupos que fueron distribuidos en diseño del experimento(ver figura 5.21).

Tabla 5.2: Tratamientos para el segundo ciclo de producción.

Litros/Planta	Sustrato	Grupos
0.6	Pómez	9
1.0	Pómez	11
1.4	Pómez	6
0.6	Pómez con fibra de agave	10
1.0	Pómez con fibra de agave	5
1.4	Pómez con fibra de agave	11
0.6	Pómez con PAM	7
1.0	Pómez con PAM	10
1.4	Pómez con PAM	9

Volumen de sustrato 12L.

V.11.2 Germinación para segundo ciclo de producción

- El 27 de abril del 2016 se realizó la germinación de 234 semillas de pepino, utilizando el procedimiento mencionado para el primer ciclo de cultivo en esta tesis. Para ambos ciclos de cultivo se presentó la siguiente observación. Se recomienda tener un cuidado minucioso durante los dos primeros días de germinación, pues es cuando se presenta la imbibición. En cuanto emergen los cotiledones, la plántula se retira de la cámara de germinación.



Figura 5.22: Germinación exitosa

De lo contrario se tendrá una elongación de la plántula como se muestra en la figura 5.23. La elongación se presentó en la primera germinación de esta investigación.

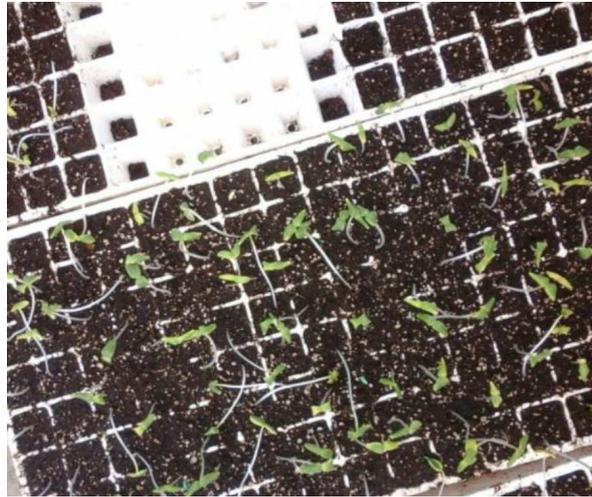


Figura 5.23: Elongación de plantula

El trasplante fue realizado el 6 de junio del 2016, siguiendo la metodología descrita en la primera prueba de tratamiento con cultivo. En la imagen 5.24 se muestra el tendido de bolsas descrito en el segundo diseño experimental (ver figura 5.21).



Figura 5.24: Segundo Trasplante

El sistema de riego se conectó a tres líneas principales, derivadas de tres contenedores independientes de 1200L como se muestra en la figura 5.21. La solución nutritiva no fue un punto de estudio en este trabajo. Tanto para la prueba de tratamiento sin cultivo,

como para la prueba de tratamiento con cultivo la preparación de solución nutritiva fue realizada bajo las cantidades mostradas en la tabla 5.3 y 5.4.

Tabla 5.3: Macronutrientes

	gramos
Ca(NO ₃) ₂	1000 g
H ₃ PO ₄	147.6 ml
H ₂ SO ₄	38.4 ml
KNO ₃	450 g
K ₂ SO ₄	178 g
MgSO ₄	634.8 g
(NH ₄)(NO ₃)	50g
Para 1200L	

Tabla 5.4: Micronutrientes

	gramos
Fe	15g
Mn	6g
Cu	1g
Zn	2g
Bo	2.5g
Mo	1g
Para 1200L	

En la tabla 5.5 se presentan las actividades realizadas en el segundo ciclo de producción. La metodología de germinación, solución nutritiva, trasplante y cosecha para el segundo experimento se siguió del procedimiento descrito para el primer ciclo de producción. En este segundo experimento se tomaron las primeras 8 cosechas para estudiar el comportamiento de los sustratos con los diferentes riegos proporcionados propuestos en la tabla 5.2.

Tabla 5.5: Segundo ciclo de producción.

Actividad	Fecha
Germinación	27/04/16
Extracción de la cámara de germinación	30/04/16
Trasplante	6/06/16
Primera cosecha	18/07/16
Segunda cosecha	20/07/16
Tercera cosecha	26/07/16
Cuarta cosecha	30/07/16
Quinta cosecha	05/08/16
Sexta cosecha	08/08/16
Septima cosecha	16/08/16
Octava cosecha	30/08/16

234 plantas

Después de cada cosecha se registraba, número de planta, gramos de pepino por planta cosechada, revisión gotero. En este segundo experimento no se registró largo ni ancho de pepino debido a que no represento información relevante con respecto al primer ciclo de producción.

VI. RESULTADOS

VI.1. Prueba de tramamientos en laboratorio

VI.1.1 Determinación de propiedades físicas

Los nueve tratamientos planteados inicialmente (ver figura 5.1) fueron reducidos a tres nuevos tratamientos. Los resultados de retención de humedad mostrados en el grafico 6.1, nos permite observar que Pómez (T-1), pómez con 4 gramos de copolimero de acrilato de potasio (T-2), pómez con 8 gramos de copolimero de acrilato de potasio (T-3) y pómez con fibra de agave (T-6), tienen los porcentajes más altos, sin embargo después de un análisis estadístico de varianza con el programa estadístico originpro 8, arrojo que entre T-1 y T-2, T-5 y T-7, T-7 y T-9, T-8 y T-9 no hay diferencia significativa lo cual implica descartar T-5, T-7, T-8 y T-9 por completo. Con el propósito de seleccionar los sustratos que tengan una mejor retención de humedad, se optó por T-1, T-3 y T-6. Se seleccionó T-1 y no T-2 para fungir el papel de control.

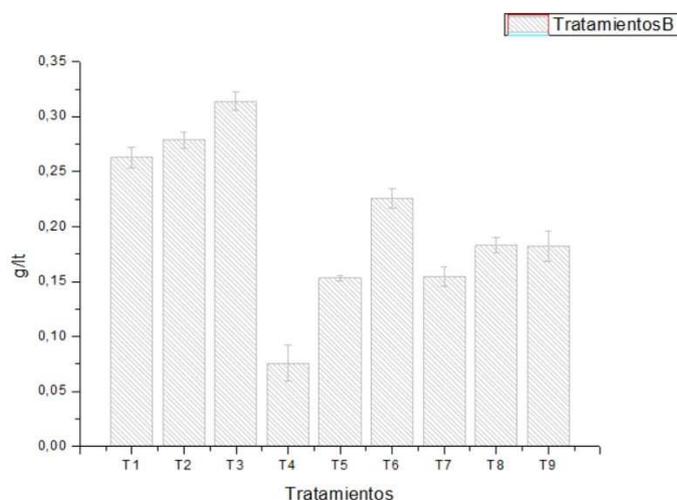


Figura 6.1: Resultados de prueba de retencion de humedad

VI.1.2 Prueba de tratamientos sin cultivo en invernadero

Después de conocer los resultados de los tratamientos en laboratorio, se realizó la prueba de medición de drenaje de los nueve tratamientos, con la finalidad de conocer el estado hídrico de los sustratos en invernadero. La medición de drenaje se midió al terminar cada intervalo de riego con una probeta graduada de 1 y 2L, sin embargo no fue una decisión favorable puesto que el tiempo para medir los 27 tratamientos en campo no fue suficiente. La figura 6.2 muestra la gráfica de los resultados de la medición de drenaje del día 31 de julio del 2015, como se puede observar no se logró la recopilación completa de los datos del día.

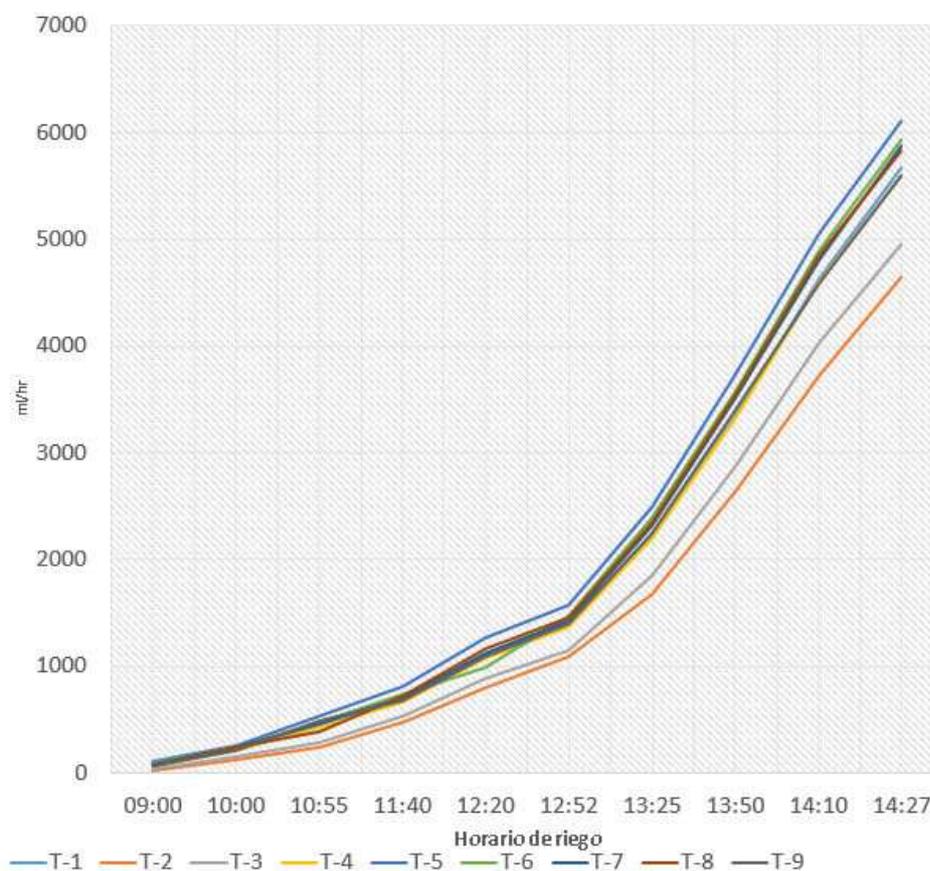


Figura 6.2: Gráfica de drenaje sin cultivo

Se optó por medir únicamente el dren acumulado en el último ciclo de riego por día. Al analizar los datos no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos medidos en campo. Tomando así los datos de laboratorio para realizar una corrida con cultivo en invernadero.

VI.1.3 Prueba de tratamientos con cultivo de pepino pickle Ruso (*Cucumis sativas*)

Los tratamientos que presentaron un comportamiento idóneo en la prueba de retención de humedad en laboratorio fueron; pómez, pómez con fibra de agave y pómez con poliacrilamida. Durante el periodo del 02 de septiembre al 08 de diciembre del 2015 los tratamientos fueron llevados a campo para evaluar el comportamiento hídrico de los sustratos y producción del cultivo con la finalidad de estudiar el efecto que tienen los tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo. En la figura 6.3 se puede observar la grafica de drenaje, los datos fueron recolectados del 5 al 24 de noviembre del 2015. De esta prueba se verifico que la cantidad de litros de agua por planta era excesiva. Nuevamente no existio un cambio significativo entre el drenaje de los sustratos.

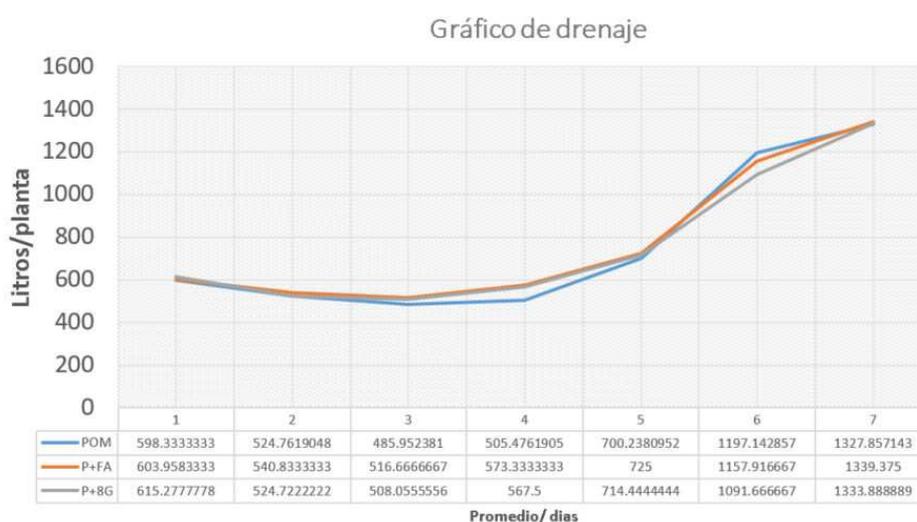


Figura 6.3: Gráfica de drenaje con cultivo

En la figura 6.4 se muestra la gráfica que se obtuvo con el análisis estadístico anova 1 vía. Pudiendo observar que no existe ninguna diferencia significativa con respecto al número de pepinos producidas por planta.

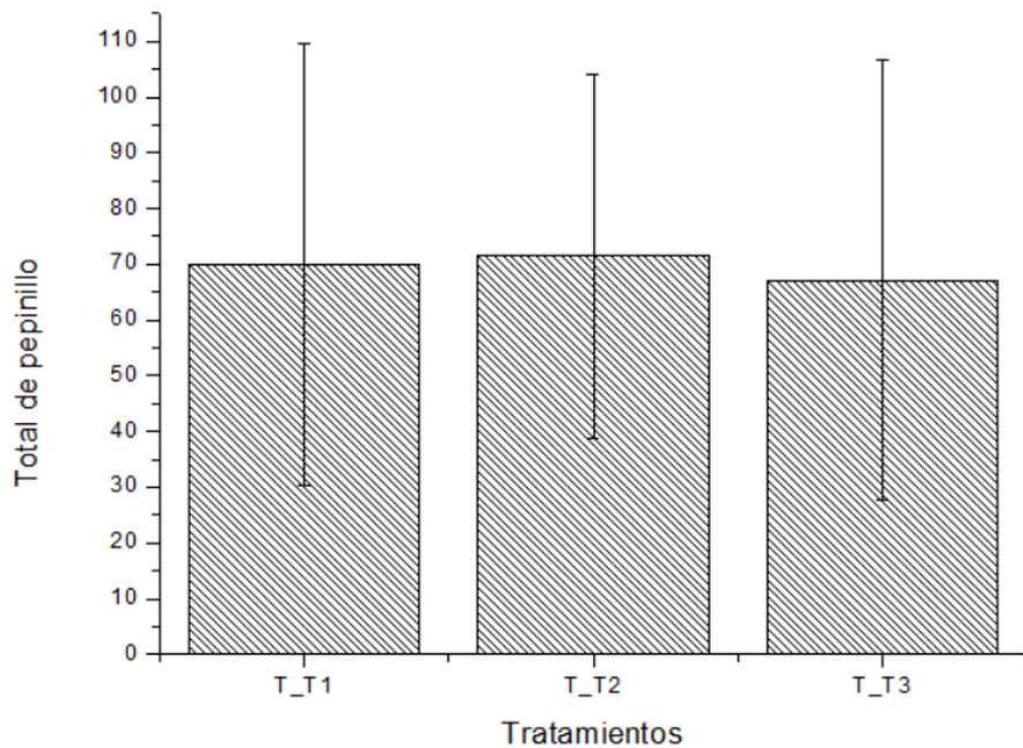


Figura 6.4: Grafica comparativa de la producción total

Con respecto a la producción, largo y ancho del pepino se tuvieron los datos mostrados en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Producción de pepino

Tratamiento	Peso[Kg]	Largó [cm]	Ancho [cm]
P	82.9	13.32	4.98
P+FA	87.3	12.28	4.56
P+PAM	77.7	13.20	4.94

Total de pepinos 1252

Realizando el respectivo análisis estadístico de varianza para peso, ancho, largo y cantidad de pepinos se observó que no existe diferencia significativa. En la gráfica 6.4 se muestra la comparación de la producción total por tratamiento.

En la figura 6.5 se observa el comportamiento de la producción con los tres sustratos de estudio. Reflejando gráficamente que el tratamiento de pómez con fibra de agave presentó

ligeramente un mejor comportamiento, pero al hacer el analisis estadístico no representa una diferencia significativa.

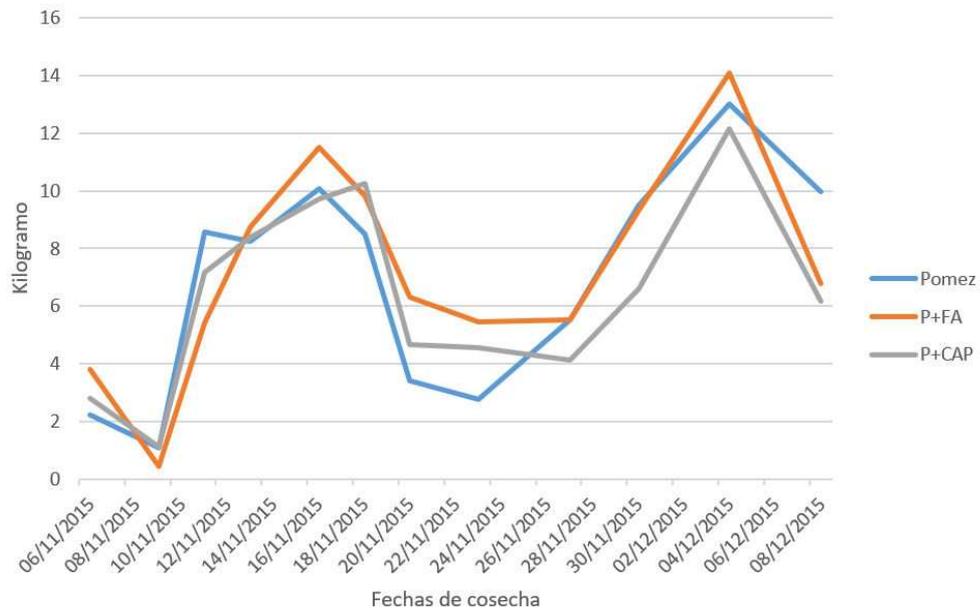


Figura 6.5: Grafica del comportamiento de la producción de pepino

VI.1.4 Mediciones de raíz

En la imagen 6.6 se muestra el desarrollo radicular de los diferentes tratamientos.

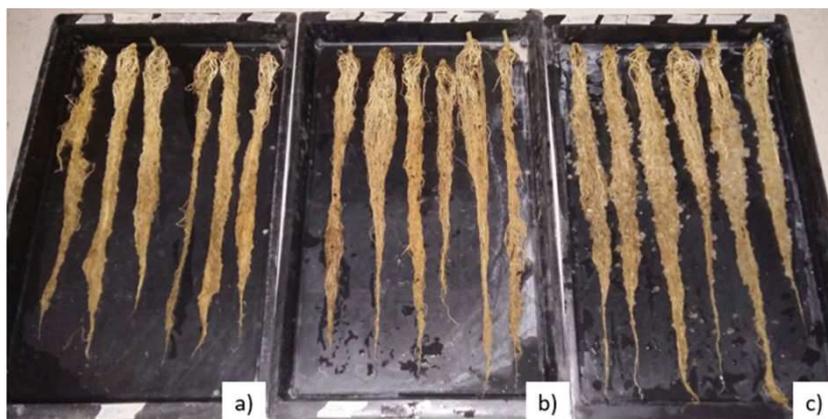


Figura 6.6: Raíz a) Pomez, b) Pomez con Fibra de Agave y c) Pomez con PAM

El la figura 6.7 se dan a conocer los resultados del analisis estadístico que presentaron las raíces de los sustratos al evaluar la longitud de la planta de pepino.

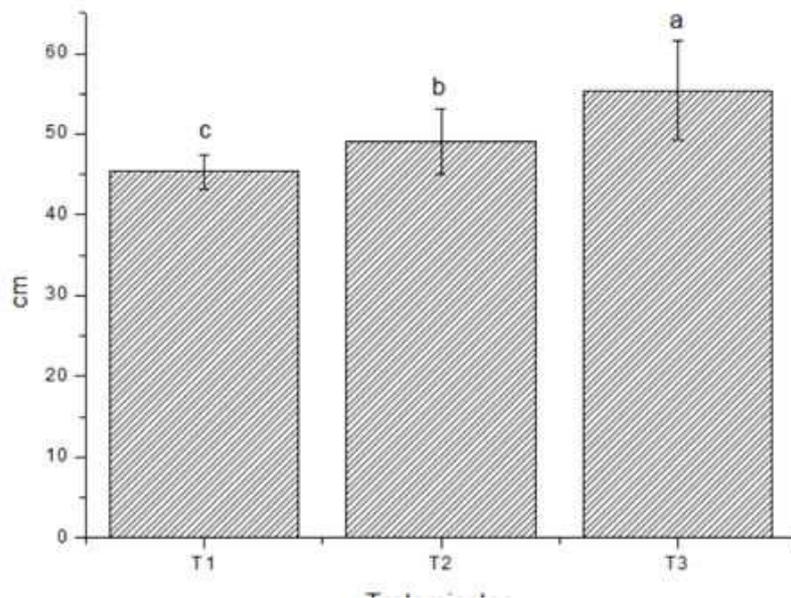


Figura 6.7: Comparativa de los tres diferentes sustratos de raiz

Nuevamente se puede observar que la longitud radicular de la planta, no representa una diferencia significativa entre los distintos tratamientos.

VI.1.5 Prueba de tratamientos con riego diferenciado

Del primer experimento de medición de drenaje con cultivo, se pudo notar que el riego suministrado a la planta era excesivo, causando un uso ineficiente de solución nutritiva. Con la finalidad de observar el efecto de los sustratos en la producción de invernadero se propusieron 0.6lt, 1.0lt y 1.4 lt de riego diario por planta, con la finalidad de conocer el comportamiento de los sustratos con riegos diferenciados. En la figura 6.8 se muestran los 3 tratamientos principales combinados con las 3 propuestas de riego por tratamiento, los resultados nos arrojaron que estadísticamente no existe diferencia significativa entre la variación de riego contra la producción en kilogramos en el segundo ciclo de producción en invernadero.

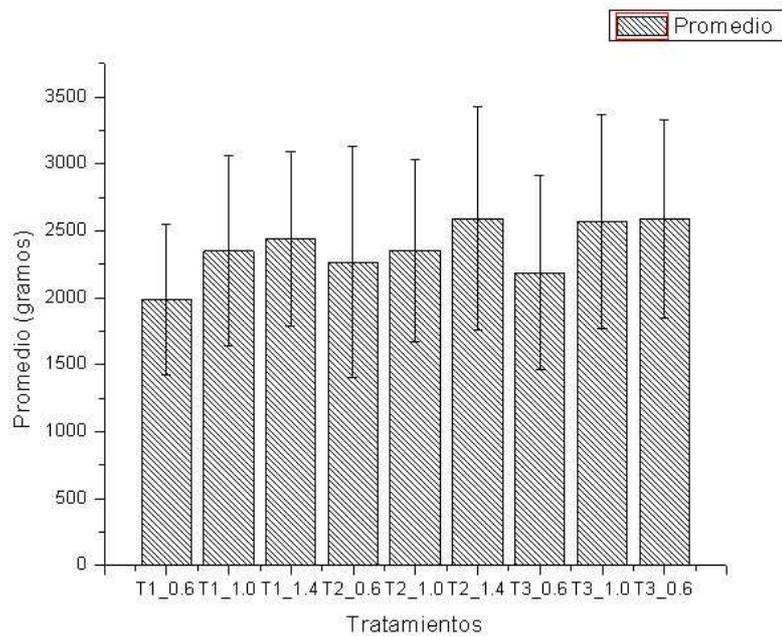


Figura 6.8: Producción con riego diferenciado

La figura 6.9 se muestra el proceso evolutivo de la producción en invernadero para el segundo ciclo de producción. Nuevamente el tratamiento de piedra pómez en combinación con la fibra de agave muestra una tendencia que pareciera tener una mejor producción, sin embargo estadísticamente no presentó un cambio significativo.

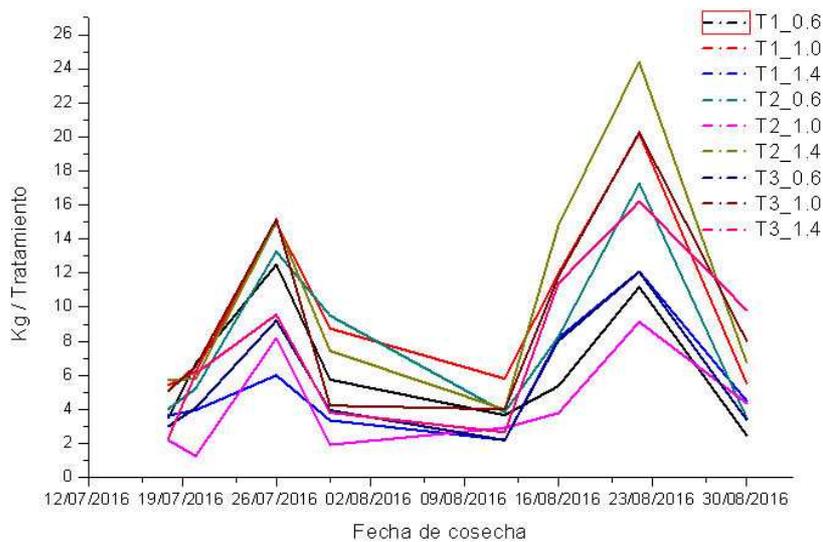


Figura 6.9: Producción del 18 de julio al 30 de agosto del 2016

VII. CONCLUSIONES

VII.1. Conclusiones

En esta investigación se propusieron nueve tratamientos a estudiar. En trabajos futuros se podrían variar otros factores que corroboren la información de esta tesis para los tratamientos propuestos inicialmente. Se definió que de acuerdo a las pruebas en laboratorio los sustratos; pómez, pómez en combinación con fibra de agave y piedra pómez con poliacrilamida presentan condiciones favorables para el desarrollo radicular de la planta de pepino pickle Ruso. Motivando a otros investigadores a utilizar la piedra pómez como sustrato para la producción de chile.

El primer ciclo de producción no presento estadísticamente un cambio significativo en cuanto a drenaje, peso, largo, ancho y producción total y raíz. En el segundo ciclo de producción se corrobora la información del primer ciclo de producción.

El que no exista una diferencia significativa en este trabajo, nos permite concluir que tanto la fibra de agave como la poliacrilamida presentaron un comportamiento similar en la producción en invernadero. Es decir se podría suplir los 8 gramos de poliacrilamida por 4 litros de fibra agave para la preparación de 12 litros por bolsa.

Se encontró también que estos dos materiales no presentaron una mejora sobre el su trato de control. Sin embargo no se descarta la idea de que en una investigación futura la fibra de agave y la poliacrilamida fueran objeto de estudio bajo otros porcentajes para encontrar una relación entre estos dos materiales e implementar un modelo matemático que permita conocer el punto en que funjan como mejoradores estos materiales. Es de sumo interés proponer otras condiciones de estudio que propicien esta relación.

En esta investigación la hipótesis planteada inicialmente no se cumplió, sin embargo abre paso a una línea de investigación en la Universidad Autónoma de Querétaro, para continuar con trabajos futuros en donde se realicen estudios para analizar el comportamiento de la poli-

acrilamida a diferentes dosis en combinación con sustratos pétreos, para encontrar el sustrato que funja como mejorador. También se podría buscar la relación de ambos materiales para conocer la rentabilidad de ambos materiales. La poliacrilamida es un material que no había sido estudiado en sustratos pétreos solo se ha trabajado en suelo. También se corrobora en este trabajo, que a mayor cantidad de agua mayor productividad.

BIBLIOGRAFÍA

- De Rada, Salomón Sádaba Díaz, Julio Muro, Miguel Urrestarazu Gavilán, Juan Antonio del Castillo García and Pilar Mazuela. 2005. Fibra de pino: un sustrato ecológico. *Horticultura internacional* (49):28–33.
- López-Elías, Jesús, Sergio Garza, José Jiménez et al. 2016. Uso De Un Polímero Hidrófilo A Base De Poliacrilamida Para Mejorar La Eficiencia En El Uso Del Agua. *European Scientific Journal*, ESJ 12(15).
- López-Pérez, Luis, Raúl Cárdenas-Navarro, Philippe Lobit, Omar Martínez-Castro and Omar Escalante-Linares. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2):171–174.
- Martínez, Evaristo and José María Durán Altisent. 2000. Los cultivos hidropónicos y la desinfección de sustratos. *Vida rural* (114):64–66.
- Ortega-Martínez, Luis Daniel, Josset Sánchez-Olarte, Juventino Ocampo-Mendoza, Engelberto Sandoval-Castro, Blanca Alicia Salcido-Ramos and Fernando Manzo-Ramos. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3):339–346.
- Pire, Reinaldo and Aracelys Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica*. *Bioagro* 15(1):55–63.
- Williams Alanís, Héctor, Víctor Pecina Quintero, Francisco Zavala García, Ricardo Martínez Hernández, Sandra Eloísa Rangel Estrada and Ismael Machuca Orta. 2004. Reacción a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. de híbridos comerciales y experimentales

de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano. *Revista Mexicana de Fitopatología*
22(2).