

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Evaluación de dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) variedad marglobe.

POR

Alex Esaú Miranda Andrés
Cledy Marilyn Sánchez de Gracias

Ciudad Universitaria 14 de septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



Evaluación de dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) variedad marglobe.

POR

Alex Esaú Miranda Andrés
Cledy Marilyn Sánchez de Gracias

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO(A) AGRÓNOMO**

Ciudad Universitaria 14 de septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO

ING. AGR. M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO

ING.AGR. M.SC. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
ING.AGR. M. SC. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRIOS

DOCENTES DIRECTORES

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

ING.AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

Resumen.

La investigación se realizó en la Colonia Bernal, San Salvador, Departamento de San Salvador, durante los meses de noviembre de 2014 a marzo de 2015. Se evaluaron dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) variedad marglobe.

Para la nutrición del cultivo se empleó una solución nutritiva, la cual está hecha a base de sales minerales que contiene macroelementos y microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas, comparado con un testigo fertilizante Blaukorn® (conocido como fertilizante azul granulado) en tres sustratos (escoria volcánica, fibra de coco y piedra pómez), bajo la técnica de hidroponía en un área total de 40 m² bajo condiciones de invernadero. Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones, se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05. Los indicadores evaluados fueron: fenología del cultivo (etapas de su desarrollo), altura de la planta (m), diámetro del tallo (cm), número de flores por racimo, número de frutos por racimo, diámetro del fruto (cm), peso del fruto (g), grados brix, dureza del fruto (Lb/cm), rendimiento por planta.

Los indicadores que presentaron valores significativos fueron: altura de planta (sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), valores promedios de 2.38 m), número de flores por racimos (sales minerales, produciendo mayor número de f. con una media igual 73.20, y Blaukorn® con media igual a 58.33), número de frutos por racimo (sales minerales y escoria volcánica con media de 5.73 unidades, Blaukorn® y fibra de coco con media igual a 4.07 unidades), diámetro de frutos (la fibra de coco produjo mayor diámetro con una media igual a 5.86, seguido de escoria volcánica con media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07), peso de fruto (la fibra de coco produjo mayor peso con una media igual a 106.29 seguido de escoria volcánica con media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55), grados brix (las sales minerales produjeron mayor cantidad de grados brix con media igual a 5.18, seguido del Blaukorn® con media igual a 4.72), y rendimiento por planta, los restantes no presentaron valores significativos. Para el análisis económico, se realizó el presupuesto parcial, beneficios netos y una tasa de retorno marginal.

Se concluye que el fertilizante a base de materias primas (sales minerales) resulto ser el mejor en el sustrato escoria volcánica con un rendimiento por planta de 59.80 unidades promedio, lo que representa un peso promedio de 6.33 kg, seguido de fibra de coco con 50.20 unidades y un peso de 5.30 kg, y piedra pómez con 45.70 unidades. Y Blaukorn® lo expreso en escoria volcánica con un 49.00 unidades en relación a los otros sustratos. En cuanto al número de fruto por planta la fuente sales minerales está produjo efectos significativos con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® y así mismo en los grados brix, la fuente sales minerales produjo efectos significativos con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®. Se determinó la fenología del cultivo bajo condiciones de invernadero, y se demostró que en un espacio reducido se obtiene mayor producción por unidad de área y mejor calidad en forma escalonada fuera de época de cosecha.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darnos la sabiduría necesaria para poder culminar nuestra carrera.

Al Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio, por proporcionarnos y permitirnos realizar esta investigación, por sus conocimientos compartidos, apoyo, tiempo y orientación en la ejecución de la investigación.

Al Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra, por su apoyo, tiempo y conocimientos brindados durante la ejecución de la investigación.

A Doris Imelda campos, secretaria del Departamento de Fitotecnia por su tiempo y apoyo incondicional.

A Dina Alvarado de Amaya, secretaria del Departamento de Desarrollo Rural por su apoyo incondicional.

Al Sr. Gustavo Enrique Vázquez Novoa, por su gran apoyo en la ejecución de nuestra investigación

A nuestro amigo Sofonías Escobar, por su apoyo y colaboración durante la realización de la investigación.

A Gustavo Guerrero Padilla, por su apoyo y colaboración durante la realización de la investigación.

Cledy Marilyn Sánchez de Gracias

Alex Esaú Miranda Andrés

DEDICATORIA

A mis padres: Carmelo Miranda e Isabel Andrés por sus esfuerzos, sacrificios y apoyo para alcanzar esta meta.

A mis hermanas Verónica y Otilia Miranda por su apoyo incondicional.

A mi esposa e hijos: Sandra Jorge, Emerson Esaú Miranda y Alex Gabriel Miranda por todas las grandes bendiciones que Dios me ha dado.

A nuestros asesores, Ing. Agr. Pérez Ascencio y Balmore Martínez por habernos brindado todo su conocimiento y apoyo para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos por su apoyo y comprensión desinteresada.

Alex Esaú Miranda Andrés

DEDICATORIA

ADIOS: Por darme la sabiduría y fortaleza, para poder alcanzar una de las metas en mi vida.

A MI PADRE Y MADRE: Alejandro Sánchez Pérez y Gilma Irene Renderos de Sánchez a quienes debo mucho de lo que soy, por su sacrificio, esfuerzo, consejos y amor.

A MI HIJA: Alejandra Margarita Gracias Sánchez, que fue mi inspiración para poder culminar mi carrera.

A MI ESPOSO: Fabio Ernesto Gracias Serrano, por su apoyo incondicional, motivación y amor.

A MI SOBRINO: Javier Alejandro Sánchez Lorenzana, por su cariño y motivación.

A MIS HERMANOS: Alejandro Sánchez Renderos, Manuel Augusto Sánchez Renderos e Iván Salomón Sánchez Renderos, por su motivación y apoyo.

Cledy Marilyn Sánchez de Gracias.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| 1. INTRODUCCIÓN. | |
| 2. REVISION BIBLIOGRAFICA..... | 2 |
| 2.1. Historia de la hidroponía..... | 2 |
| 2.2. Módulos o contenedores para el cultivo..... | 4 |
| 2.2.1. Característica de los módulos..... | 4 |
| 2.2.2. Tipos de módulos o contenedores..... | 4 |
| 2.3. Sustratos..... | 5 |
| 2.3.1. Los sustratos se clasifican en dos grupos: líquidos y sólidos..... | 5 |
| 2.3.2. Propiedades físicas..... | 6 |
| 2.3.3. Propiedades químicas..... | 6 |
| 2.3.4. Características biológicas y sanitarias..... | 6 |
| 2.4 Tipos de sustratos..... | 6 |
| 2.4.1. Sustratos Inorgánicos..... | 6 |
| 2.4.2. Sustratos Orgánicos..... | 8 |
| 2.4.3. Sintéticos..... | 9 |
| 2.5. Método de desinfección y esterilización de sustratos y contenedores..... | 9 |
| 2.6. Generalidades del cultivo..... | 10 |
| 2.7. Morfología del tomate..... | 11 |
| 2.8 Factores ambientales que influyen en el crecimiento y desarrollo..... | 12 |
| 2.8.1. Luminosidad..... | 12 |
| 2.8.2. La humedad..... | 12 |

| | | |
|--|----|-----|
| relativa..... | 12 | |
| 2.8.3. temperatura..... | 12 | La |
| 2.8.4. aireación..... | 12 | La |
| 2.9. Fenología del cultivo..... | 13 | del |
| 2.9.1. Características de los cultivares de crecimiento indeterminadas y determinadas..... | 13 | |
| 2.10. Cosecha y poscosecha..... | 14 | |
| 2.10.1. Comercialización..... | 15 | |
| 2.11. Nutrición vegetal..... | 16 | |
| 2.11.1 Elementos esenciales en la nutrición..... | 17 | |
| 2.11.2. Absorción de nutrientes..... | 17 | |
| 2.12. Parámetros básicos: pH y CE..... | 18 | |
| 2.12.1. Condiciones óptimas de PH para el cultivo de tomate..... | 18 | |
| 2.12.2. Conductividad Eléctrica (CE)..... | 20 | |
| 2.13. Diferentes formulaciones de soluciones..... | 21 | |
| 2.14 Fertilizante solido Blaukorn o fertilizante azul..... | 21 | |
| 2.15. Funciones y síntomas de deficiencia de nutrientes..... | 22 | |
| 2.16. Riego..... | 22 | |
| 2.17. Calidad del agua..... | 22 | |
| 2.18. Investigaciones realizadas..... | 23 | |
| 3. METODOLOGIA..... | 25 | |
| 3.1. Descripción del lugar..... | 25 | |
| 3.2. Metodología de campo..... | 25 | |
| 3.2.1. Infraestructura..... | 25 | |
| 3.2.2. Selección del terreno..... | 25 | |
| 3.2.3. Módulos o contenedores..... | 25 | |
| 3.2.4. Establecimiento del cultivo..... | 26 | |
| 3.2.4.1. Preparación de sustratos..... | 26 | |
| 3.2.5. Semilla utilizada..... | 26 | |
| 3.2.6. Prueba de germinación..... | 27 | |
| 3.2.7. Preparación de plantines..... | 27 | |

| | |
|--|----|
| 3.2.8. Trasplante..... | 27 |
| 3.2.9. Manejo agronómico..... | 27 |
| 3.2.9.1. Nutrición de la planta | 27 |
| 3.2.9.2. Riego..... | 28 |
| 3.2.10. Tutorio..... | 29 |
| 3.2.11. Podas..... | 29 |
| 3.2.12. Monitoreo y Control de plagas y enfermedades..... | 30 |
| 3.2.13. Cosecha..... | 30 |
| 3.3. Método estadístico..... | 30 |
| 3.3.1. El nivel de confianza..... | 30 |
| 3.3.2. Diseño estadístico..... | 30 |
| 3.3.3. Distribución espacial de los tratamientos en campo..... | 31 |
| 3.3.4. Prueba estadística..... | 31 |
| 3.3.5. Variables evaluadas..... | 31 |
| 3.4. Metodología económica..... | 32 |
| 3.4.1 presupuesto parcial..... | 32 |
| 3.4.2. Análisis de dominancia..... | 32 |
| 3.4.3. Tasa de retorno marginal..... | 32 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 33 |
| 4.1. Altura de la planta..... | 33 |
| 4.2 Diámetro de tallo..... | 34 |
| 4.3. Numero de flores por racimo..... | 36 |
| 4.4. numero de frutos por racimo..... | 37 |
| 4.5. Diámetro de frutos..... | 39 |
| 4.6. Peso de frutos..... | 42 |
| 4.7. Grados brix..... | 44 |
| 4.8. Dureza de frutos..... | 45 |
| 4.9. Rendimiento por planta..... | 45 |
| 4.10. Fenología del cultivo..... | 48 |
| 5. ANÁLISIS ECONÓMICO..... | 48 |
| 5.1. Presupuesto parcial..... | 48 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 5.2. Análisis de dominancia..... | 50 |
| 5.3. Curva de beneficio neto..... | 50 |
| 5.4. Tasa de retorno marginal..... | 51 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 53 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 54 |
| 8. BIBLIOGRAFIA..... | 55 |
| 9. ANEXOS..... | 60 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro N° | Pág. |
|--|-------------|
| 1. Composición química del Blaukorn..... | 28 |
| 2. Tratamientos en estudio | 30 |
| 3. Presupuesto parcial del rendimiento del cultivo de tomate variedad marglobe, bajo la Técnica de hidroponía..... | 49 |
| 4. Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio..... | 50 |
| 5. Tasa de retorno marginal..... | 51 |

ÍNDICE DE GRAFICOS.

| Grafico N° | Pág. |
|---|-------------|
| 1. Interacción fuente y sustrato de la variable altura de plantas en cultivo hidropónico..... | 34 |
| 2. Diámetro de tallo de tomate en cultivo hidropónico..... | 35 |
| 3. Numero de flores por planta de tomate en cultivo hidropónico..... | 36 |
| 4. Numero de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (fuentes)..... | 38 |
| 5: número de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)..... | 38 |
| 6. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (fuentes)..... | 40 |
| 7. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)..... | 41 |
| 8. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (fuentes)..... | 42 |
| 9. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 10. Grados brix de frutos de tomate en cultivo hidropónico..... | 44 |
| 11. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (fuentes)..... | 46 |
| 12. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)..... | 47 |
| 14. Curva de beneficio neto..... | 51 |

INDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Cuadro A1. Composición química de la escoria volcánica roja utilizada como sustrato en cultivos hidropónicos..... | 60 |
| Cuadro A2. Composición química de la piedra pómez utilizada en hidroponía..... | 60 |
| Cuadro A3. Propiedades físico-químicas de la fibra de coco..... | 61 |
| Cuadro A4. Cultivares de tomate en el salvador..... | 62 |
| Cuadro A5. Elementos esenciales para la mayoría de las plantas..... | 63 |
| Cuadro A. 6. Sales inorgánicas disponibles en el mercado..... | 64 |
| Cuadro A. 7. Fórmula sencilla de solución nutritiva que contiene seis elementos básicos, para cien litros de agua..... | 64 |

| | |
|--|----|
| Cuadro A.8. Solución nutritiva de ocho elementos para cien litros de agua..... | 64 |
| Cuadro A.9: solución hidropónica estándar para tomate (solución madre), en 1000 litros de agua por tanque..... | 65 |
| Cuadro A.10. Contenido de nutriente en planta de tomate, función, movilidad dentro de la planta y síntomas de deficiencia..... | 66 |
| Cuadro A.11. Calidad del agua para irrigación en cultivos..... | 68 |
| Cuadro A.12. Preparación de la solución madre..... | 68 |
| Cuadro A 13. Programa de fertirriego en hidroponía..... | 69 |
| Cuadro A14. Estructura del análisis de varianza..... | 69 |
| Cuadro A15. Medias de la variable altura de la planta..... | 70 |
| Cuadro A16. Análisis de Varianza altura de planta..... | 70 |
| Cuadro A17. Contrastes de altura de planta..... | 70 |
| Cuadro A18. Coeficientes de los contrastes de la altura de planta..... | 71 |
| Cuadro A19. Medias de la variable diámetro de tallos..... | 71 |
| Cuadro A 20. Análisis de varianza del diámetro de tallos..... | 71 |
| Cuadro A 21. Medias de la variable número de flores por planta..... | 72 |
| Cuadro A22. Análisis de varianza de número de flores por planta..... | 72 |
| Cuadro A 23. Contrastes del número de flores por planta..... | 72 |
| Cuadro A24. Coeficientes de los contrastes número de flores por planta..... | 72 |
| Cuadro A25. Medias de la variable número de frutos por racimo..... | 73 |
| Cuadro A26. Análisis de Varianza del número de frutos por racimo..... | 73 |
| Cuadro A 27. Contrastes del número de frutos por racimo (fuentes)..... | 73 |
| Cuadro A28. Coeficientes de los contrastes del número de frutos por racimo (fuentes)..... | 73 |
| Cuadro A29. Contrastes del número de frutos por racimo (sustratos)..... | 73 |
| Cuadro A30. Coeficientes de los contrastes del número de frutos por racimo (sustratos)..... | 74 |
| Cuadro A31. Medias de la variable diámetro de frutos | |

| | |
|---|----|
| (cm)..... | 74 |
| Cuadro A 32. Análisis de Varianza del diámetro de frutos..... | 74 |
| Cuadro A33. Contrastes del diámetro de frutos (fuentes)..... | 74 |
| Cuadro A34. Coeficientes de los contrastes diámetro de frutos (fuentes)..... | 75 |
| Cuadro A35. Contrastes del diámetro de frutos (sustratos)..... | 75 |
| Cuadro A36. Coeficientes de los contrastes diámetro de frutos (sustratos)..... | 75 |
| Cuadro A37. Medias de la variable peso del fruto (g)..... | 75 |
| Cuadro A38. Análisis de Varianza del peso del fruto..... | 76 |
| Cuadro A39. Contrastes del peso del fruto (fuentes)..... | 76 |
| Cuadro A40. Coeficientes de los contrastes del peso del fruto (fuentes)..... | 76 |
| Cuadro A41. Contrastes del peso del fruto (sustratos)..... | 76 |
| Cuadro A42. Coeficientes de los contrastes del peso del fruto (sustratos)..... | 76 |
| Cuadro A43. Medias de la variable grados brix..... | 77 |
| Tabla A44. Análisis de Varianza de los grados brix..... | 77 |
| Cuadro A45. Contrastes de los grados brix..... | 77 |
| Cuadro A46. Coeficientes de los contrastes de los grados brix..... | 77 |
| Cuadro A47. Medias de la variable dureza de frutos..... | 78 |
| Cuadro A48. Análisis de la Varianza de la dureza de frutos..... | 78 |
| Cuadro A49. Medias de la variable rendimiento de frutos por planta..... | 78 |
| Cuadro A50. Análisis de la Varianza del rendimiento de frutos por planta..... | 79 |
| Cuadro A51. Contrastes del rendimiento de frutos por planta (fuentes)..... | 79 |
| Cuadro A 52. Coeficientes de los contrastes del rendimiento de frutos por planta (fuentes)..... | 79 |
| Cuadro A 53. Contrastes del rendimiento de frutos por planta (sustratos)..... | 79 |

| | |
|--|----|
| Cuadro A54. Coeficientes de los contrastes del rendimiento de frutos por planta (sustratos)... | 79 |
| Cuadro A55. Fenología del cultivo de tomate, variedad Marglobe de crecimiento indeterminado en hidroponía..... | 80 |
| Figura A.1. Comportamiento de los Precios en el cultivo de tomate, anualmente..... | 80 |
| Figura A.2. Vista lateral de invernadero..... | 81 |
| Figura A.3. Vista frontal de invernadero..... | 81 |
| Figura A.4. a) selección del terreno, b) elaboración de infraestructura..... | 82 |
| Figura A.5. Vista frontal del invernadero con sistema de riego por goteo..... | 82 |
| Figura A.6. Sistema de riego por goteo..... | 83 |
| Figura A.7. Distribución espacial de los tratamientos en campo..... | 83 |
| Figura A.8. c) elaboración de infraestructura, d) colocación de plástico U.V. en la parte Superior..... | 84 |
| Figura A.9. Recubrimiento laterales del invernadero con maya agril. (e, f)..... | 84 |
| Figura A.10. Materiales que se emplearon para la construcción del sistema de riego y aspersión.(g, h)..... | 84 |
| Figura A.11. i) Materiales que se utilizaron para la instalación del sistema de riego..... | 85 |
| Figura A.12. j) tamizado, k) preparación de sustratos..... | 85 |
| Figura A.13. Llenado de cajas con las diferentes medidas granulométricas de los sustratos de escoria volcánica. (l, m)..... | 85 |
| Figura A.14. n) llenado de cajas con sustrato fibra de coco, ñ) llenado de cajas con sustrato de piedra pomez..... | 86 |
| Figura A.15. o) emergencia de las plantas, p) plantines listos para el trasplante..... | 86 |
| Figura A.16. E tapas de la fase vegetativa de las plantas de tomate(q,r)..... | 86 |
| Figura A.17. s) fase de floración, t) fase de fructificación..... | 87 |
| Figura A.18. Limpieza del sistema de riego (u, v)..... | 87 |
| Figura A.19. x) pesado de las sales minerales, y) Preparación de la solución madre..... | 87 |
| Figura A.20. Mapa de áreas cultivadas de tomate en el salvador (2012)..... | 88 |
| Medidas de resumen del proyecto de investigación “Evaluación de dos fuentes de fertilización, utilizando tres sustratos sólidos, aplicando la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (<i>Lycopersicon sculentum Mill.</i>)..... | 92 |

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad más del 60% de la población vive en la zona urbana, lo cual implica una explotación excesiva de los recursos naturales ya que existe un aumento acelerado de la demanda de alimentos. Por lo tanto la Agricultura Urbana, puede contribuir a la seguridad alimentaria, aumentando la cantidad de alimentos disponibles para las familias y puede aumentar la variedad general y el valor nutritivo de los alimentos disponibles (Gordillo Anda, s.f.). Razón por la cual en El Salvador, la tenencia de la tierra, la asistencia técnica limitada y el bajo nivel tecnológico, entre otras, han sido causas para que en aquellas áreas en que se cultiva tomate, bajo un sistema de producción convencional, se genere bajo rendimiento, motivo que ha llevado a que muchos productores abandonen el rubro; razón por la cual, se busca obtener mayor rendimiento y calidad de los frutos. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar dos formulaciones fertilizante soluble sales minerales y solido Blaukorn aplicadas en tres sustratos piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco implementando la técnica de hidroponía bajo condiciones controladas en el área urbana con la finalidad de obtener mayor rendimiento del tomate variedad marglobe bajo la técnica de hidroponía.

Los nutrientes para las plantas cultivadas en HHP son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que se justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación. Alternativamente, si las mismas estuvieran disponibles en el comercio, es preferible comprar las soluciones concentradas, ya que en este caso sólo es necesario disolverlas en un poco de agua para aplicarlas al cultivo. Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. (Marulanda, 2003.).

El cultivo hidropónico engloba todo cultivo que completa su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear suelo, suministrando la nutrición mediante una solución que contiene los nutrientes esenciales para su desarrollo (Maroto Borrego 2000). Además presentan grandes ventajas sobre los cultivos tradicionales, tales como: mejor control de los factores externos (condiciones de clima), plagas, enfermedades, eficiencia en la dosificación de nutrientes, disminuye el estrés de la planta, mejor control de pH, eficiencia en el uso de agua, oxigenación en las raíces; (Jones y Mullins, citado por Joyar Tiznado y Barakat Larios, 1994).

Un sustrato es un medio inerte que cumple dos funciones esenciales: anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar, contener agua y los nutrientes que la planta necesita. Los gránulos de los sustratos deben permitir la circulación de aire y la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permitan la presencia entre 15 y 35 por 100 de aire y entre 20 y 60 por 100 de agua. (Mora 1999).

En cuanto al efecto de los fertilizantes en los sustratos, con la implementación de las nuevas formas de producir alimento, bajo condiciones protegidas, permiten utilizar fuentes de fertilización en relación a los métodos convencionales de fertilización. En las fuentes de fertilización hidrosolubles existen las formuladas en base a las etapas fenológicas del cultivo y con la obtención de las sales minerales con las cuales se elaboran las soluciones concentradas, previas al conocimiento de la química aplicada, ya que se calcula el MOL de cada materia prima (sales minerales) para tener una adecuada solución concentrada. Es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Historia de la hidroponía

Los principios de hidroponía son encontrados en China, Egipto e India. Así mismo, Leonardo Da Vinci experimentó en este campo. En el año 1600 el Belga Helmont realizó experimentos que demuestran la obtención de nutrientes por parte de las plantas. (Arévalo Henríquez y Dueñas Ardòn, 1992), mencionan que Boyle (1600) realizó experimentos de crecimiento de plantas en vasos; y en 1699 Woodward demostró finalmente como las plantas obtenían alimentos.

En 1860 los alemanes Sachs y Knop fueron los primeros en hacer crecer las plantas en una solución nutritiva, llamando al proceso "nutriculture". Diferentes trabajos de investigación fueron realizados hasta llegar a 1929, donde William F. Gricke, profesor de la Universidad de California, definió el proceso como hidroponía que significa "agua que trabaja". Durante la segunda guerra mundial las fuerzas aliadas instalan en sus bases sistemas hidropónicos para proveer de vegetales y frutas frescas a las tropas en conflicto. Luego, la hidroponía comercial se extiende a través del mundo en 1950. Recientemente se produce un mayor crecimiento de la hidroponía, al desarrollarse la industria de los plásticos (Gilsanz, 2007).

El cultivo hidropónico engloba todo cultivo que completa su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear suelo, suministrando la nutrición mediante una solución que contiene los nutrientes esenciales para su desarrollo (Maroto Borrego 2000).

Importancia

Los cultivos hidropónicos presentan un recurso valioso, pues permite cultivar productos en determinadas regiones que resultan difíciles de obtener en tierra. Además, permite cubrir las necesidades de consumo diario y ayuda a los pequeños productores a que aumente sus ingresos para mejorar sus condiciones de vida (Corona Salazar, s.f.). Además presentan grandes ventajas sobre los cultivos tradicionales, tales como: mejor control de los factores externos (condiciones de clima), plagas, enfermedades, eficiencia en la dosificación de nutrientes, disminuye el estrés de la planta, mejor control de pH, eficiencia en el uso de agua, oxigenación en las raíces; así también, se pueden obtener plantas con hojas y raíces limpias, fácil limpieza y esterilización del medio, rápido y fácil retrasplante, mayor calidad de los productos, mayor precocidad, mejor aprovechamiento del área disponible, aprovechamiento áreas infértiles, mayor densidad de plantación, y un incremento en la

producción por unidad de área (Jones y Mullins, citado por Joyar Tiznado y Barakat Larios, 1994).

Hidroponía social

La Hidroponía social o “Cultivo sin Tierra” permite: reducir el consumo de agua, poco trabajo físico, pero con mucha dedicación y constancia se puede producir hortalizas frescas, sanas y abundantes en pequeños espacios de las viviendas, aprovechando en muchas ocasiones elementos desechados, que al no ser utilizados causarían contaminación. La hidroponía social puede ser denominada como una tecnología de reciclaje y de trabajo en áreas pequeñas (Marulanda 1997).

La hidroponía social ofrece muchas ventajas para la mejora de la calidad de vida de la población, ya que es una fuente de producción de alimentos en forma continua, además contribuye al aporte económico de la familia con la venta de los productos (UNALM 1997).

Según Marulanda, citado por Arriaza Orellana y Hernández Quele (1999), la mayoría de personas vinculadas a la hidroponía social son mujeres, aunque también hombres, especialmente los de avanzada edad o con limitaciones físicas que ya no son contratados por el mercado laboral, pero que son capaces de producir alimento e ingresos.

Hidroponía urbana y periurbana

La tecnología de agricultura urbana, aprovecha productivamente parte del tiempo libre del que siempre disponen algunos miembros de la familia y que poco contribuyen al desarrollo y la proyección del núcleo familiar. Las productividades potenciales de los cultivos hidropónicos, cuando son realizados en condiciones tecnológicas óptimas, son superiores a las obtenidas mediante el sistema tradicional de cultivo hortícola (Marulanda 1997).

Hidroponía comercial:

Es aquella que cuenta con mejores y mayores recursos para la producción y explotación de dicha técnica. Esta requiere de mano de obra calificada, es decir entrenamiento o preparación, así también requiere de una inversión alta (Mullins, s.f. citado por Joyar Tiznado y Barakat Larios, 1994).

Ventajas de la hidroponía (Resh, 1992).

Mayor eficiencia en el uso de nutrientes, adaptable a suelos sin vocación agrícola,

Utilización más eficiente del agua y fertilizantes, fácil y bajo costo de desinfección del sustrato, mayor densidad de plantación Mayor rendimiento por área, mejor control de pH, y mejor calidad de los frutos.

2.2. Módulos o contenedores para el cultivo.

2.2.1. Tipos de módulos o contenedores

Para el desarrollo de las plantas en cultivos hidropónicos, existe una diversidad de recipientes en donde se coloca el sustrato. En muchos casos se han usado materiales de desecho con lo que se favorece al medio ambiente al evitar contaminación. Se pueden nombrar entre ellos: llantas viejas desechadas, envases plásticos (botellas, galones, cajas plásticas), cajones en escalera, bambú (*Bambusa vulgaris*), o tubos de PVC de 4 pulgadas cortados en forma de canoa; además las cajas donde vienen las manzanas importadas, o las tarimas de montacargas adaptadas y modificadas, también se cultiva en forma vertical con mangas plásticas o con latas de desecho etc.; sin embargo, se da el caso de camas de madera y asbesto, especialmente elaboradas para ésta actividad con las medidas calculadas de profundidad y distanciamiento según los cultivos escogidos. Todo depende del espacio y materiales disponibles en el sitio seleccionado, de las necesidades o de la capacidad económica y del interés que se tenga en el proyecto. Cuando se construye el modulo, se debe pensar en la comodidad del productor en cuanto al manejo del cultivo, en la facilidad para la revisión y muestreo de plagas o enfermedades, para la limpieza y eliminación de hojas viejas dañadas o muertas, para la aplicación de la solución nutritiva y la cosecha. (Guzmán Díaz, 2004)

2.2.2. Característica de los módulos

Las características que deben tomarse en cuenta independientemente del material que se utilice para su construcción, son las siguientes: profundidad, ancho y largo (Aguilar, citado por Arévalo Henríquez y Dueñas Ardòn 1992).

Ancho: Según Centro Las Gaviotas, citado por Arévalo Henríquez y Dueñas Ardòn (1992), el ancho del módulo no deberá ser superior a 1.2 m para que se puedan realizar fácilmente las labores culturales a cada lado del módulo.

La profundidad del recipiente no debe ser mayor de 12 centímetros para cultivos de apio, acelga, lechuga, nabo, pepinos, perejil, rábano, tomate y otras hortalizas,

plantas medicinales y ornamentales. Se exceptúan solo dos casos: cuando se quiere cultivar zanahorias, la profundidad del contenedor debe ser como mínimo de 20 cm. (Castillo Rivas, 2001).

Largo: Las medidas dependerán de las necesidades particulares de cada persona, pero el largo máximo debe ser de 6 metros. Para cada unidad de producción o recipiente. Es importante que los recipientes tengan perforaciones en su base para el drenaje y aireación. Para asegurar un buen drenaje es necesario que los recipientes tengan una pendiente entre el 3% y el 5% que dependerá del sustrato utilizado. (Castillo Rivas, 2001).

2.3. Sustratos

Un sustrato es un medio inerte que cumple dos funciones esenciales: anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar, contener agua y los nutrientes que la planta necesita. Los gránulos de los sustratos deben permitir la circulación de aire y la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permitan la presencia entre 15 y 35 por 100 de aire y entre 20 y 60 por 100 de agua. (Mora 1999).

2.3.1. Los sustratos se clasifican en dos grupos: líquidos y sólidos.

El sustrato líquido se refiere al agua y se aplica al sistema de cultivo que no utiliza ningún anclaje sólido en el cual se desarrolla y vive el aparato radical y por tanto le sirve para fijar al mismo. (Urrestarezu Gavilan 2004). El agua de riego debe analizarse para conocer que nutrientes aporta de base y no debe ser salina, ya que el aporte de los nutrientes posteriormente va a aumentar la salinidad final por sí sola.

El término sustrato sólido se aplica a todo material natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor puro o en forma de mezcla, permite el sostén del sistema radicular, desempeñando por lo tanto un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se puede clasificar como químicamente activos (turbas, cortezas de pino, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca volcánica, etc.).

El sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua. Por último la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular. Esto hace que resulte necesario

conocer las propiedades físicas químicas y biológicas de los sustratos pues condicionan en mayor medida los cultivos en contenedores y determinan posteriormente su manejo.

El sustrato del cultivo está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que esta toma agua y los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular. El soporte del cultivo cumple cuatro funciones: a) Aseguran el sostén mecánico de la planta; b) Constituye la reserva hídrica de la que las raíces toman el agua para cubrir las necesidades de la planta; c) Las raíces son órganos aerobios. El sustrato debe proporcionar el oxígeno que necesitan para su correcto funcionamiento y d) debe asegurar la nutrición mineral de la planta (Baldomero 2007).

Para obtener buenos resultados durante la germinación, enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo (Maroto Borrego 2000)

2.3.2. Propiedades físicas

Capacidad de retención de agua y fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, tamaño de partículas que mantenga las condiciones anteriores, elevada porosidad, baja densidad aparente, estructura estable que impida la contracción (o expansión del sustrato).

2.3.3. Propiedades químicas

Baja o no apreciable capacidad de intercambio catiónico, baja salinidad, elevada capacidad amortiguadora y capacidad para mantener constante el pH, mínima velocidad de descomposición.

2.3.4. Características biológicas y sanitarias

Un buen sustrato debe de tener características biológicas y sanitarias, como estar libre de semillas de malas hierbas, patógenos y sustancias fitotóxicas (Corona Salazar, s.f).

2.4. Tipos de sustratos

2.4.1. Sustratos Inorgánicos

En este grupo podemos indicar, las gravas (partículas de más de 2 mm de diámetro) que incluye la roca volcánica, escoria de ladrillo y teja, arena, etc.

Escoria Volcánica

En nuestro país este sustrato es utilizado con éxito. Es un material rojizo, de origen volcánico, con características similares a la piedra pómez. (Cuadro A.1), sin embargo posee partículas muy pequeñas, las cuales deben ser eliminadas mediante lavados, para evitar el encharcamiento en el medio de cultivo. Los mejores tamaños de partículas de este material esta entre 5 y 15 milímetros (Maroto Borrego, 2000).

Piedra Pómez

Es un material disponible en El salvador, su origen es volcánico. Posee muy buena retención de humedad (Cuadro A.2). Se obtiene en distintas granulometrías. Posee además buena estabilidad física y durabilidad. Desde el punto de vista biológico es completamente estéril, siempre y cuando no estén combinadas con otros materiales (Mora 1999), (Alvares 2011).

Escoria de Ladrillo y Teja

Son sustratos obtenidos de la expansión por calor de materiales arcillosos. Retienen buena humedad, por su gran porosidad, sus mejores tamaños son de 0.5 y 2 cm, tienden a degradarse o perder su estabilidad física, produciendo encharcamientos (Mora, 1999).

Carbón Vegetal

Este material, tanto sus partículas finas como gruesas poseen características ventajosas para ser utilizadas como sustrato, para cultivos sin suelos, poseen una retención de humedad similar a la pómez, buena estabilidad y excelente oxigenación, pero bajo capilaridad (Mora, 1999).

Arena

Las que proporcionan los mejores resultados son las arenas de río. La granulometría más adecuada oscila entre 0.5 y 2 mm. Su densidad aparente es de 1.500-1.800 Kg/ m³. Y la capacidad de retención de agua es media (del orden de un 20 por 100 del peso y más del 35 por 100 del volumen); su capacidad de intercambio catiónica es nula y su pH puede variar entre cuatro y ocho (Maroto Borrego 2000)

2.4.2. Sustratos Orgánicos.

En este grupo se ubican una serie de sustratos de producción, los más comunes son: cascarilla de arroz, fibra de coco, cascarilla de pergamino de café, concha de coco, aserrín, corteza de abeto y turba, etc. (Alvares 2011).

Cascarilla de arroz.

Es un sustrato utilizado para mezcla fundamentalmente con gravas, es liviano, de baja capacidad de retención de humedad y entre los sustratos orgánicos es uno de las más lentos en descomponerse. La principal función de este en la mezcla es favorecer la oxigenación del sustrato. Cuando se utiliza cascarilla de arroz debe de mantenerse un proceso de desinfección química o anaeróbico, con el fin de eliminar partículas pequeñas, así como hongos o larvas de insectos (Mora, 1999).

Cascarilla de pergamino de café.

Es sustrato de baja capacidad de retención de humedad, buena para oxigenar sustratos, pero de muy corta vida pues se descomponen en pocos días (Mora, 1999).

Turba.

Es un material importado a nuestro país procedente, por lo general de Canadá, posee características similares a la fibra de coco, viene completamente elaborado y no requiere de ningún proceso (desinfección y tamizado) para ser utilizado, ofrece excelentes condiciones para el cultivo sin suelo (Mora, 1999).

Existen distintos tipos de turbas y por su grado de descomposición podemos encontrar: las rubias, que están ligeramente descompuestas, de color más claro y de un mayor contenido en materia orgánica. Presenta unas excelentes propiedades físicas y químicas, con una estructura mullida, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico y baja salinidad. La turba negra es de color oscuro y está fuertemente descompuesta. Es de calidad inferior a la turba rubia. Esta poco extendida como sustrato de cultivo sin suelo de hortalizas, aunque es empleada en semilleros y cultivos de planta en maceta. (Baixauli Soria, Aguilar Oliver. 2002).

Fibra de coco.

Es un material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco, tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo que son utilizadas para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., se aprovechan las fibras cortas y el polvo de tejido medular en proporciones variables como sustrato.

Son varios los países que producen la fibra de coco, siendo Sri Lanka el principal productor, habiéndose encontrado una gran variabilidad en las propiedades físicas y químicas (Cuadro A.3) del sustrato entre los distintos orígenes. La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar. (Baixauli Soria, Aguilar Oliver. 2002).

2.4.3. Sintéticos

Espuma de poliestireno: Se utiliza como material de relleno, para oxigenar y aliviar el peso de los sustratos. (Baixauli Soria, Aguilar Oliver. 2002).

Espuma de poliuretano: Se emplea en la confección de semilleros y es mezclado con otros sustratos livianos (Mora, 1999).

2.5. Método de desinfección, esterilización de sustratos y contenedores

Existe un buen número de productos en el mercado que pueden ser utilizados para la desinfección, cuya aplicación variara, en función de la instalación que se ha elegido y de los recursos con los que se cuentan. Si se trata de condiciones normales la desinfección se realizara (no en casos extremos) para la primera siembra, o entre cultivo y cultivo (Baixauli Soria, Aguilar Oliver. 2002).

Se pueden utilizar productos que no representan peligro para el momento de su uso, y que además resulten muy económicos. (Pérez Ascencio, 2007).

Hipoclorito de sodio. Solución acuosa, clara, ligeramente amarilla, olor característico penetrante e irritante. Fuertemente oxidante; dependiendo del pH de la solución se presenta disociado en forma de cloro activo, ácido hipocloroso HOCl y/o ión hipoclorito OCl⁻. De estas formas de "cloro libre activo" depende su reactividad en las reacciones de oxidación,

Cloración y acción bioquímica tales como el control bacteriológico y microbiológico. A nivel comercial, se encuentra generalmente entre el 4 y 8 por ciento de concentración. Si es del 4 por ciento se usara una disolución de 1 litro de hipoclorito por 100 litros de agua; si es del 8 por ciento, la dilución será de 1 litro en 200 litros de agua.

Fenol. Es conocido como Monohidroxibenceno, oxibenceno, hidrato fenílico, hidroxibenceno, ácido fénico. El fenol al 90% es utilizado en, desinfectantes e insecticidas. Hay que tomar las precauciones necesarias pues es corrosivo. Para desinfectar el sustrato, bastara con diluir medio litro de ácido en cien litros de agua. Su presentación comercial es líquida y fácil de adquirir.

Soda caustica. Conocido como: Soda Cáustica 98% e Hidróxido de sodio, hidrato de sodio. Su fórmula Química: NaOH. Para su preparación se disuelven 250 g en 100 litros de agua, de uso doméstico.

Uso de radiación solar: Se prepara el sustrato, se cubre de inmediato con plástico transparente, o de color oscuro por tres a cuatro semanas directamente al sol; si está muy nublado aumentar una o dos semanas para una mayor efectividad en el proceso (Pérez Ascencio, 2007).

Agua caliente a 100 °C de temperatura.

El sustrato debe estar húmedo antes de aplicar el agua hirviendo. Se usan de 2.0 a 3.0 gal/m². Se puede sembrar de 12 a 24 horas después del tratamiento (Pérez Ascencio, 2007). Con la solución de alguno de estos productos, para después lavarlos perfectamente con agua corriente. A continuación se dejan secar y ventilar perfectamente y se procede a la siembra. (Samperio 2003)

El sustrato del semillero debe estar libre de plagas y enfermedades para evitar problemas fitosanitarios a nivel de plántula, lo cual se logra mediante los siguientes métodos físicos. (Pérez Ascencio, 2007).

2.6. Generalidades del cultivo.

Planta perteneciente a la familia de las solanáceas, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (Valdez López 2001).

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es una de las hortalizas de mayor consumo en el país, por su importancia nutricional ya que es rico en aminoácidos orgánicos, contiene una gran cantidad de vitaminas A, C y en menor grado B, D. sales de hierro, magnesio y potasio. En el país para el año 2015 se estima una superficie de siembra de 814 mz con una producción de 303.567 Tm a un valor de \$5,859.77 por manzana. Se importaron 96,989.80 Tm de fruto, con un valor de \$11, 966,650.92. (MAG. 2015)

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es una planta de clima cálido pero se adapta muy bien a climas templados; por lo que en El Salvador se puede sembrar en gran parte del territorio, prefiriéndose aquellos ubicados en alturas entre los 20 y 2000 m.s.n.m. Este cultivo se puede sembrar todo el año, pero los problemas cambian según la época. En el período de lluvias la incidencia de enfermedades es mayor, mientras que durante la época seca las plagas son el mayor problema. Sin embargo dichos problemas son superables mediante un conjunto de prácticas agrícolas que incluyen métodos de manejo y controles adecuados, los cuales tienen que ser realizados en el momento y la forma precisa en que se indican, ya que de éstas depende el éxito de una buena cosecha (Corpeño, 2004).

2.7. Morfología del cultivo

Sistema radicular: la raíz principal se desarrolla a profundidades mayores de un metro al realizar trasplante, El sistema radicular del tomate está constituido por: la raíz principal, las raíces secundarias y las adventicias.

Tallo principal: eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm. en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios de ramificación simpoidal e inflorescencia.

Hoja: compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de siete a nueve y recubiertos con pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. (Nuño Moreno, 2007).

Flor: es perfecta, regular y consta de cinco o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135° , de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular.. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en números de tres a diez. Las inflorescencias se desarrollan cada dos a tres hojas en la axila. (Nuño Moreno, 2007).

Su polinización es autógama, ya que se consideran autógamas a aquellas plantas que utilizan la autofecundación como mecanismo reproductivo. La autogamia casi nunca es completa, presentándose algún porcentaje de fertilización cruzada.

Fruto: baya o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y la semillas (Nuño Moreno, 2007).

2.8. Factores ambientales que influyen en el crecimiento y desarrollo.

2.8.1. Luminosidad: Es un cultivo que no lo afecta el fotoperiodo, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas; aunque requiere buena iluminación. Los días soleados y sin interferencia de nubes, estimulan el crecimiento y desarrollo normal del cultivo. Por lo que nuestro medio, no se presenta muchos problemas para el desarrollo de flores y cuaje de frutos por falta de luz (Corpeño 2004).

2.8.2. La humedad relativa óptima para el desarrollo del tomate varía entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede también tener su origen en un exceso de humedad en el suelo o riego abundante a continuación de un período de estrés hídrico. Por otro lado, la humedad relativa demasiado baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. La planta de tomate necesita un período entre 3 y 4 meses entre su establecimiento y la cosecha del primer fruto (Monardes, 2009).

2.8.3. La temperatura media mensual óptima para su desarrollo varía entre 21 y 24°C, aunque se puede producir entre los 18 y 25°C. Cuando la temperatura media mensual sobrepasa los 27°C, las plantas de tomate no prosperan. Temperaturas sobre los 30°C afectan la fructificación. Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante en la cuaja, pues debe ser suficientemente fresca (15 a 22°C). Las temperaturas inferiores a 12 - 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta y pueden provocar frutos deformes. En general, con temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula (Monardes, 2009).

2.8.4. La aireación, de los cultivos hidropónicos es muy importante, especialmente los instalados en lugares cerrados, donde debe haber una buena circulación de aire fresco. Sin embargo, las corrientes fuertes y el polvo son muy perjudiciales. Si el ambiente es muy seco

debe humedecerse rociando las hojas. En cambio, el exceso de humedad provocará el desarrollo de enfermedades y hongos. (Castillo Rivas, 2001).

En lugares abiertos debe protegerse a los cultivos de vientos fuertes pues afecta la polinización de las flores secándolas e impide el vuelo de los insectos. Sin embargo, los vientos moderados suelen favorecer la circulación de la savia, facilitan la fecundación transportando el polen y renuevan el aire en el medio ambiente de la planta. (Castillo Rivas, 2001).

2.9. Fenología del cultivo.

La duración del ciclo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) está determinada por la variedad y por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece el cultivo. La fase de desarrollo vegetativo de la planta, comprende cuatro subetapas que se inician desde la siembra en semillero, seguida de la germinación; posteriormente la formación de tres a cuatro hojas verdaderas y finalmente el trasplante en suelo, sustrato líquido o sólido, con una duración aproximada de 30 a 35 días. Posteriormente se produce la fase reproductiva que incluye las etapas de floración (que se inicia a los 25 – 28 días después del trasplante), de formación del fruto y de llenado de fruto, hasta la madurez para su cosecha, la cual se inicia en el primer racimo entre los 85 a 90 días después del trasplante. La etapa reproductiva tiene una duración de 180 días, aproximadamente. El ciclo total del cultivo es de aproximadamente siete meses (Guzmán et, al. 2006).

Por su hábito de crecimiento el cultivar de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) se divide en dos de crecimiento indeterminado y determinado, ambas pasan por las mismas fases fenológicas. (Guzmán et, al. 2006).

2.9.1. Características de los cultivares de crecimiento indeterminadas y determinadas

En el caso de crecimiento indeterminado los tallos principales y laterales continúan su crecimiento. El número de hojas entre las inflorescencias es aproximadamente permanente comenzando de un número específico de flores. Estas variedades son producidas para el mercado fresco y se cosechan a mano dentro de un cierto periodo de tiempo. (Holwerda, HT. 2006)

Como se indicó anteriormente, las variedades indeterminadas pasan por las mismas fases fenológicas que los determinados, con la diferencia que el periodo de cosecha, en

Invernadero puede ser más largas que la producción al aire libre. Los cultivares sembrados al aire libre tienen un periodo de vida de 90-150 DDT (días después del trasplante) y en invernadero tienen un periodo de vida de 120-300 DDT.). (Holwerda, HT. 2006)

En el caso de crecimiento determinado los tallos principales y laterales dejan de crecer después de un número específico de inflorescencias que se desarrollan, las que varían de acuerdo con la variedad. Las variedades determinadas, usadas para propósitos industriales, se cosechan manualmente en dos a tres recolecciones o se cosechan mecánicamente en una sola operación. Según la uniformidad del cultivo y de la fruta (tamaño y madures). (Holwerda, HT. 2006)

Los cultivares más utilizados para la siembra a nivel nacional se detallan en los anexos, pero sin embargo la disponibilidad de material genético en el mercado es mayor. (Cuadro A 4)

2.10. Cosecha y pos cosecha

Índice de cosecha.

Al momento de la cosecha se debe considerar el grado o índice de madurez. Se distinguen dos tipos de madurez: la fisiológica y la comercial. La primera se refiere cuando el fruto ha alcanzado el máximo crecimiento y maduración. La segunda es aquella que cumple con las condiciones que requiere el mercado. (Pérez, et al, 2010)

Cuándo cosechar.

Para la industrialización, el tomate debe madurar completamente en la planta. Para el mercado de consumo fresco, el tomate se cosecha cuando esta pintón o sea entre verde y maduro, a fin de reducir las pérdidas por cantidad y calidad, ocasionadas por un transporte deficiente y manejo inadecuado. (Pérez, et al, 2010)

La recolección debe ser efectuada cuando está exento de humedad procedente del rocío o de la lluvia, porque ella favorece la descomposición y putrefacción.

Se recomienda también cosechar en horas frescas y mantener los tomates en lugares sombreados. (Pérez, et al, 2010)

Cómo cosechar.

Esta actividad se debe realizar con gran cuidado para evitar producir daños en los frutos, aunque no sean notorios visualmente constituyen el origen de altos porcentajes de pérdidas

Que se manifestarán como: Infección por microorganismos que producirá podredumbre, aumento en la actividad respiratoria y en la emisión de etileno que provocarán la aceleración en el proceso de maduración, disminución del peso por pérdida de agua, modificación de la textura por daños internos. (Pérez, et al, 2010)

La cosecha del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) se puede hacer en forma manual o mecanizada. La mecanizada se utiliza más en los países desarrollados, principalmente para cosechar tomates destinados al procesamiento industrial. (Pérez, et al, 2010)

La recolección manual consiste en desprender el fruto del resto del racimo, operación que se puede hacer por fractura del pedúnculo a nivel de la unión con el cáliz o mediante torsión o giro, de forma que el fruto quede libre de éste. También se usan tijeras para cosechar manualmente algunas variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) de mesa, que son muy grandes y su textura es poco resistente, con el propósito de evitar daños posteriores en la calidad, debidos a las marcas o huellas dejadas en la superficie por la presión ejercida para separarlas de las plantas. (Pérez, et al, 2010)

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) para consumo en fresco se puede cosechar con pedúnculo o sin él, dependiendo de la preferencia de los mercados. Una vez cosechados se deben depositar cuidadosamente en baldes u otro tipo de recipientes como cestas o jabas poco profundas y con superficies lisas para evitar daños por abrasión y compresión; luego se vierten sobre sacos extendidos en el suelo, bajo la sombra de árboles o ramadas construidas para proteger la cosecha de los rayos solares directos. Es aquí donde el intermediario hace la clasificación y llenado de cajas de 25 kg de capacidad. (Pérez, et al, 2010)

Es necesario dedicar la máxima atención en las operaciones de recolección y trasiegos, ya que éstas son consideradas como las que provocan mayor cantidad de daños internos por magulladuras. (Pérez, et al, 2010)

2.10.1. Comercialización

Normas de calidad.

Los tomates deben estar libres de impurezas En el país no existen normas para clasificarlos por calidad; sin embargo, los problemas más comunes son: madurez inadecuada,

marchitamiento o pérdida de firmeza, daño mecánico, ataque de insectos y ácaros, enfermedades. (MAG, 2011)

Mercado nacional.

En el mercado mayorista La Tiendona, se comercializa el 89% de la producción nacional y el 31% de la importada. De La Tiendona se distribuye a otros mercados mayoristas y minoristas de San Salvador y del interior del país. (MAG, 2011)

Comportamiento de precios.

Los precios en el mercado interno fluctúan dependiendo de la estación, pero históricamente los mejores precios se presentan en noviembre y diciembre de cada año. (Figura A.1)

Importaciones

El Salvador importa anualmente un estimado de 96,989.80 toneladas métricas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) con un valor aproximado de US \$11, 966,650.92, lo cual es altamente significativo para nuestra economía. De este volumen el mayor porcentaje proviene de Guatemala (62%), de Honduras (34%) y el resto, de Nicaragua (4%). (Pérez, et al, 2010)

Canales de comercialización.

En el caso del mercado nacional existen diferentes canales de comercialización del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*): el productor destina su producción a mayoristas o minoristas estos lo distribuyen a detallistas y proveedores de supermercados e empacadoras para exportación, para finalmente distribuirlo a los consumidores. (Pérez, et al, 2010)

2.11. Nutrición vegetal

Los Cultivos hidropónicos necesitan de un suministro adecuado de nutrimentos que le permitan a la planta desarrollarse y producir adecuadamente. Según estudios realizados, todos los elementos deben proporcionársele a la planta por algún tipo de fertilizante. Para un desarrollo adecuado las plantas necesitan de 16 elementos esenciales (Cuadro A.5) de los cuales nueve se requieren en cantidades mayores a 40 ppm conocidos como macronutrientes (Hidrógeno, Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Calcio, Fósforo, Magnesio, Potasio y Azufre) y siete elementos se requieren en cantidades menores a 10 ppm, conocidos como micronutrientes (Cloro, Zinc, Boro, Hierro, Cobre, Manganeso y Molibdeno).

En el método hidropónico, la planta debe encontrar las mismas condiciones ambientales de la naturaleza, y en lo posible facilitar las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal. Las plantas obtienen el oxígeno del medio ambiente y del agua, el hidrógeno lo obtienen del agua y el carbono a través del CO₂ del medio ambiente. El resto de los nutrientes se les proporciona a través de sales comúnmente conocidas como fertilizantes. A los elementos que se disuelven en agua se les conoce como solución nutritiva y la carencia de alguno de ellos produce un desarrollo inadecuado en las plantas (Barros, 1999).

2.11.1 Elementos esenciales en la nutrición

Un elemento debe cumplir tres criterios para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas: 1) La planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento. 2) La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente. 3) El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otro elemento. (Resh 1992).

2.11.2. Absorción de nutrientes

Las plantas obtienen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. En un medio sin suelo las plantas deberán también proveerse de agua y elementos minerales; así pues, en orden a entender las relaciones de las plantas en un sistema hidropónico debemos también tener en cuenta las relaciones que existen en su crecimiento en el suelo. (Resh 1992).

La discusión del cultivo orgánico o inorgánico puede clasificarse a través de un estudio de como las plantas toman los elementos minerales. En Alemania se introdujo el concepto apoplasto-symplasto para describir como toman las plantas el agua y los minerales. El agua y los iones minerales se mueven dentro de las raíces de las plantas a través de una interconexión de las paredes de las células y también de los espacios intercelulares, incluyendo los elementos de xilema, a los cuales se les llama apoplasto, o bien, a través del sistema de interconexión del protoplasma (excluyendo las vacuolas), el cual se denomina symplasto. No obstante, cualquiera que sea este movimiento, la absorción está regulada por la capa de células endodérmicas que se encuentran alrededor de lo que podría llamarse

cuerpo de la raíz, el cual constituye una barrera que evita el libre movimiento del agua y de los solutos a través de la célula. Existe agua y los diversos minerales pueden moverse con relativa libertad. (Resh 1992).

Si las raíces están en contacto con una solución del suelo o nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto, cruzando la epidermis a través de la corteza hasta la capa endodérmica. Algunos iones pasarán desde el apoplasto hasta el symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. Puesto que el symplasto es continuo y en toda capa endodérmica, los iones se pueden mover libremente dentro del periciclo y otras células vivientes de la raíz. (Resh 1992).

2.12. Parámetros básicos: pH y CE

En la técnica de fertirriego e hidroponía el conocimiento y empleo de determinados parámetros físico-químicos, básicos para controlar y monitorear las soluciones nutritivas que se aportan como de las soluciones del suelo o sustrato en el entorno radicular; se denomina como: pH y conductividad eléctrica; que son fundamentales para realizar una correcta aplicación e interpretación práctica de las concentraciones de los elementos en las soluciones nutritivas según la especie del cultivo. (Alarcón Vera. 2014)

2.12.1. Condiciones óptimas de pH para el cultivo de tomate.

De una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. En general, nuestras aguas tienen un pH básico, o sea un pH superior a 7, pudiéndose dar en dichas condiciones insolubilidades y precipitados, ello evita la buena nutrición y provoca la obturación de los goteros en nuestra instalación. (Baixauli 2002).

La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los microelementos. (Baixauli 2002).

Las sustancias que son capaces de liberar iones (H^+) (protones) son ácidas y las que pueden liberar OH^- dan reacciones básicas. El ácido nítrico tiene reacción ácida puesto que libera H^+ . ($HNO_3 \rightarrow NO_3^- + H^+$). (Baixauli 2002).

El medio ácido lo encontramos cuando la concentración de protones es superior a la de grupos hidroxilo y el medio será básico cuando se dé el caso contrario. (Baixauli 2002).

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales. (Baixauli 2002)

El valor de pH a utilizar en la solución nutritiva debe permitir una buena asimilación de los nutrientes, evitando posibles fitotoxicidades y precipitados. Por encima de pH 7 la mitad del hierro se encuentra no disponible para la planta formando $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitado, a no ser que el hierro se encuentre en forma de quelato. Por debajo de 6,5, el hierro se encuentra disuelto. El manganeso también ve reducida su solubilidad con niveles de pH altos. (Baixauli 2002).

Por encima de pH 6,5 la disponibilidad del fósforo y del calcio puede decrecer. En el rango de pH de 5,5 a 6,5 la práctica totalidad de los nutrientes está en forma asimilable. Por encima de 6,5 se pueden producir precipitados y por debajo de 5 puede verse deteriorado el sistema radicular de la planta, y más en sistemas de cultivo sin suelo en los que se emplean sustratos con bajo poder tampón. (Baixauli 2002).

En el agua de riego el pH suele ser básico y para bajarlo generalmente hacemos uso de ácidos, como puede ser el ácido fosfórico o el nítrico, encargados de neutralizar al ión bicarbonato: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. (Baixauli 2002).

El bicarbonato actúa de elemento tampón, debiendo mantener en las soluciones nutritivas finales unos 0,5 mmol/litro para evitar caídas bruscas de pH. Como puede verse la cantidad de ácido necesaria para conseguir bajar el pH a un cierto valor, va a depender de la cantidad de bicarbonatos existente en nuestra agua de riego. (Baixauli 2002).

Uno de los problemas con los que nos solemos encontrar en el manejo de soluciones nutritivas en cultivos hortícolas, son las variaciones de pH del drenaje, detectando en determinadas especies un pH superior al de entrada, en otras y en ciertos momentos del cultivo, pH incluso inferior al que estamos suministrando por medio del sistema de riego. (Baixauli 2002).

Sobre el pH tiene influencia la forma de nutrirse la planta, principalmente en cómo toma los cationes o los aniones. Generalmente, un exceso de absorción de cationes sobre aniones provoca un descenso del pH, mientras que un exceso de absorción de aniones sobre cationes produce una subida del pH, ello se explica con el caso del nitrógeno, según las formas nítricas o amoniacales afectando sobre el pH final. (Baixauli 2002).

2.12.2. Conductividad Eléctrica (CE).

La (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica. (Baixauli 2002).

Tan importante es conocer la CE de un agua de riego o de una solución nutritiva, como la concentración de sus iones, puesto que los puede haber en niveles de concentración que pueden resultar fitotóxico. (Baixauli 2002).

En general, podemos decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0,75 mS/cm, permisible con valores de 0,75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; el fresón y la judía son sensibles. (Baixauli 2002).

Tabla de parámetros de CE para diferentes tipos de cultivo ((1mS/cm)

| Cultivo | 0% de perdida | | 10% de perdida | | 25% de perdida | |
|----------|---------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | CEe | CEw | CEe | CEw | CEe | CEw |
| Tomate | 2.5 | 1.7 | 3.5 | 2.3 | 5 | 3.4 |
| Melón | 1.2 | 1.5 | 3.6 | 2.4 | 5.7 | 3.8 |
| Papa | 1.7 | 1.1 | 2.5 | 1.7 | 3.8 | 2.5 |
| Lechuga | 1.3 | 0.9 | 2.1 | 1.4 | 3.2 | 2.1 |
| Olivo | 2.7 | 1.8 | 3.8 | 2.6 | 5.5 | 3.7 |
| Limonero | 1.7 | 1.1 | 2.3 | 1.6 | 3.3 | 2.2 |
| Manzano | 1.7 | 1 | 2.3 | 1.6 | 3.3 | 2.2 |
| Nogal | 1.7 | 1.1 | 2.3 | 1.6 | 3.3 | 2.2 |
| Vid | 1.5 | 1 | 2.5 | 1.7 | 4.1 | 2.7 |
| Palto | 1.3 | 0.9 | 1.8 | 1.2 | 2.5 | 1.7 |
| frutilla | 1 | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 1.8 | 1.2 |

Fuente: ASCE, 1977.

Ce= Conductividad eléctrica del extracto, **Cw=** Conductividad del agua

Los iones disueltos están formados por: aniones, que son los iones de carga negativa y los cationes, que son los de carga positiva. Puesto que la electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre, el sumatorio de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l., deben ser 0 o <5%. La relación entre la CE y la suma de aniones o cationes en meq/l. debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos y/o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros. (Baixauli 2002).

2.13. Diferentes formulaciones de soluciones.

La técnica de hidroponía se basa en formular soluciones nutritivas (Cuadro A6, A7 Y A8), en las que existen dos clasificaciones: Las fórmulas comerciales balanceadas, que viene preparadas para las diferentes fases fenológicas del cultivo y las que se elaboran a base de materias primas (sales inorgánicas)

Formula de una solución nutritiva que es elaborada en base a materias primas (sales inorgánicas en el mercado)

Es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable. En el país el CENTA, en coordinación con el KOICA, presenta su formulación (Cuadro A. 9).

2.14. Fertilizante sólido. Blaukorn® o fertilizante azul

Contiene nutrientes de elevada eficiencia. Es un fertilizante recomendado para aplicaciones de arranque (basales) y también para aplicaciones complementarias posteriores durante el desarrollo del cultivo. Especialmente indicado para aquellos cultivos con alta sensibilidad al cloro y suelos con alta salinidad. Sus usos están principalmente indicados en horticultura, floricultura, plantas ornamentales y cultivos especiales a campo o bajo cubierta. (Carrillo Ramírez, *et al.* 1994).

El nitrógeno contenido en el Blaukorn® se presenta en forma nítrica de actividad rápida (59%) y la mitad amoniaco lenta y duradera; el fosforo (P_2O_5) se encuentra en un 12 % totalmente disponible a la planta (66 % soluble en citrato y un 33 % soluble en agua); contiene un 17 % de potasio totalmente soluble en agua (Carrillo Ramírez, *et al.* 1994).

El nitrógeno contenido en el Blaukorn® se presenta en forma nítrica de actividad rápida (59%) y la mitad amoníaco lenta y duradera; el fosforo (P_2O_5) se encuentra en un 12 % totalmente disponible a la planta (66 % soluble en citrato y un 33 % soluble en agua); contiene un 17 % de potasio totalmente soluble en agua (Carrillo Ramírez, *et al.* 1994).

2.15. Funciones y síntomas de deficiencia de nutrientes.

Aparecen sólo después que el suministro de un nutriente es tan bajo que la planta no puede completar su función adecuadamente. La marcada carencia de un determinado nutriente puede provocar la aparición de síntomas característicos en la planta, que pueden ser visibles (Cuadro A.10). Sin embargo, la carencia de un nutriente no produce síntomas directamente, sino que en la planta se generan procesos que conducen a desbalances nutricionales, con acumulación de un determinado compuesto orgánico intermediario, o a la falta de formación de un compuesto. Esto lleva a que las situaciones anormales sean reconocidas como síntomas. Estos abarcan desde un reducido rendimiento hasta debilidad severa de plantas, síntomas específicos en hojas, anormalidades internas como obstrucción de conductos, retardo de la madurez y baja calidad del producto (Barbazán, 1998).

2.16. Riego

En los cultivos hidropónicos es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarle los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera, hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador automático de riego. Uno de los sistemas más ventajosos es el de riego por goteo, mediante el cual el agua es conducida hasta el pie de la planta por medio de mangueras y vertida con goteros que la dejan salir con un determinado caudal. Con este sistema se aumenta la producción de los cultivos, se disminuye el uso de mano de obra, menos daños por salinidad y mejores condiciones fitosanitarias (Castillo Rivas, 2001).

2.17. Calidad del agua

Es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de establecer los cultivos a producir. Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres

categorías: químicos, físicos y biológicos. Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales en el agua, así como a los parámetros derivados de la composición de sales en la misma (Cuadro A.11), parámetros tales como la Conductividad Eléctrica / sólidos totales disueltos (CE / STD), Relación de Absorción de Sodio (RAS), la alcalinidad y la dureza del agua (CENTA –KOICA 2010, California Fertilizer Association 1995).

2.18. Investigaciones realizadas

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es la hortaliza más cultivada y rentable. En la presente década se han incorporado nuevas tecnologías; tales como: coberturas plásticas, fertirriego e hidroponía. Los cultivos hidropónicos requieren de sustratos adecuados y soluciones nutritivas específicas para cada tipo de cultivo. En la investigación se evaluó el efecto de dos sustratos arena y fibra de coco en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de fruto de dos variedades de tomate (Loreto y SUN 7705) bajo condiciones hidropónicas e invernadero. Para ambas variedades el sustrato fibra de coco en comparación a la arena, provoco mayor respuesta para las variables: altura y grosor de planta, numero de racimos por planta, numero de frutos por planta, peso total de frutos, materia seca (raíz, hojas, tallos, y frutos) y materia seca total. Sin embargo, para las variables de calidad de fruto (diámetro polar y ecuatorial, color, pH, grados Brix, acidez titulable y azucares totales), no hubo diferencias significativas. Baldomero (2007).

Según Alfaro Torres et al 2013. En su investigación. Evaluación del efecto de seis programas de fertilización con calcio y boro, en la prolongación de la vida en anaquel del tomate almacenado a dos temperaturas, con el propósito de dar respuesta a la interrogante: ¿son los cambios en las concentraciones de calcio y boro en la solución madre para el fertirriego y las temperaturas de almacenamiento de tomate, factores que prolonguen la vida en anaquel del fruto? Se midieron a nivel de campo el diámetro de tallo, la altura de la planta, el peso del fruto y el rendimiento. A nivel de almacenamiento post cosecha se midieron el peso de fruto, diámetro de fruto, firmeza, grados brix, contenido de calcio, contenido de boro y duración del fruto.

Ninguna de las variedades a nivel de campo presento resultados significativos por efectos de los programas de fertilización. A nivel de anaquel, las temperaturas ejercieron efecto significativo sobre la firmeza del fruto y la duración, también los programas de fertilización

ejercieron efectos significativos sobre las variables en anaquel exceptuando el contenido de boro en el fruto, de la siguiente manera. El testigo brindo estadísticamente el mayor diámetro de fruto y mayor contenido de boro en el fruto, el programa dos (+25 % Ca y B) proporciono mayor firmeza de fruto, el programa tres (+50% Ca y B) el mayor dato de grados brix, y el programa seis (-50% Ca y B) el mayor contenido de calcio en el fruto. Económicamente el programa cinco (-25% Ca y B) resulto con una tasa de retorno marginal del 749% siendo el más factible desde el punto de vista.

Según Arriaza Orrellan,GA; Hernandez Quele,GA. 1999. En su investigación respuesta del cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) a dos condiciones de siembra (bajo cubierta y a la interperie) y dos fertilizaciones químicas (con soluciones nutritivas y con fertilizante solido). El manejo proporcionado al cultivo fue similar en ambos tratamientos, en este se consideraron las condiciones ambientales como parcelas grandes y los tipos de fertilización como parcelas pequeñas. Las variables analizadas fueron: altura de planta diámetro de tallo numero promedio de racimos florales, numero promedio de frutos por racimo, numero promedio de frutos por planta, diámetro de fruto y peso de fruto.

3. METODOLOGIA

3.1. Descripción del lugar.

El establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), se realizó en la Colonia Bernal, pasaje Barahona, del Departamento de San Salvador, durante los meses noviembre de 2014 a marzo de 2015. Siendo sus coordenadas geográficas, las siguientes: Latitud 13°43'13.72" N y Longitud 89° 13'5.07" W, las condiciones climáticas son: temperatura promedio 24.75°C, precipitación 1,652 mm, humedad relativa del 70%, y una radiación solar promedio de 5.8 kw/h/m², con 10 horas de sol promedio al día y a una altura de 700 msnm (SNET, 2013).

3.2. Metodología de campo

3.2.1. Infraestructura.

La investigación se realizó bajo techo, de forma tipo capilla, con dos caídas de agua, las dimensiones de 5 metros de ancho por 8 metros de largo con un área de 40 metros cuadrados, con una altura lateral de 2.50 metros y central de 3 metros, los materiales de construcción de forma artesanal fueron: postes de bambú, reglas pachas y costaneras. Los materiales de recubrimiento en la parte superior se utilizó plástico transparente UV y las partes laterales con malla agril, anexos (Figura. A.2 y A.3).

3.2.2. Selección del terreno

Se realizó una visita de reconocimiento del lote, en el mes de julio de 2014 donde se estableció la infraestructura para la fase de campo (Figura A.4.). Esto se ejecutó antes del montaje del experimento.

3.2.3. Módulos o contenedores.

Se utilizó cajas plásticas con dimensiones de 0.46 m de largo, 0.28 m de ancho y 0.15 m de alto. La base interior de las cajas se cubrió forradas con plástico color negro; con el propósito de evitar la pérdida del sustrato de las cajas y retener por más tiempo el agua.

3.2.4. Establecimiento del cultivo

Sustratos solidos utilizados: Piedra pómez, Escoria volcánica, Fibra de coco

3.2.4.1. Preparación de sustratos

Tamizado de sustratos

Se utilizó zaranda calibre 3 mm, 6 mm y 12 mm, con el propósito de obtener granulometrías diferentes de piedra pómez y escoria volcánica roja. La fibra de coco no necesito preparación ya que viene lista para ser utilizada, ya que cuenta con una granulometría adecuada para hidroponía.

Llenado de cajas

Para el caso de la escoria volcánica y piedra pómez, al interior de la caja se colocó tres capas: la primera correspondió a la granulometría de 12 mm de diámetro (espesor de la capa, 3 cm de altura); en la segunda capa, se colocó la granulometría de 6 mm de diámetro (capa de 7 cm de altura); y la tercera granulometría fue de 3 mm de diámetro (capa superior de 3 cm de altura). La fibra de coco se utilizó tal como la produce el proveedor.

Desinfección de sustratos

Se realizó el método físico, el cual consistió en preparar dos galones de agua hirviendo por cada metro cuadrado, se aplicó 0.19 galones de agua hirviendo a las cajas que contenían el sustrato piedra pómez, escoria volcánica (la fibra de coco ya viene lista para ser utilizada) con volúmenes de 0.019 metros cúbicos, el propósito de reducir al mínimo la presencia de microorganismos patógenos.

3.2.5. Semilla utilizada

Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe es una variedad de crecimiento indeterminado con una altura de 1,5-1,7 metros.

Tallo principal: Es un eje, con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpodial) e inflorescencias.

Fruto: Frutos globosos de tamaño grande y superficie lisa. Pulpa muy carnosa y jugosa. Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos.

3.2.6. Prueba de germinación

Se realizó colocando 20 semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe al interior de una caja Petri, forrada internamente con papel toalla humedecida, colocándola en un lugar fresco, obteniendo de esta manera los días y el porcentaje de germinación. Se obtuvo un 80% de germinación en las semillas, en un tiempo de cuatro días.

3.2.7. Preparación de plantines

Se utilizaron bandejas de polietileno de color negro de 200 celdas sobre las cuales se colocó el sustrato a base de fibra de coco. Se depositó una semilla por celda a una profundidad de 0.05 m. Seguidamente se cubrió con una capa delgada del mismo sustrato y finalmente se realizó el riego respectivo. Las bandejas se colocaron en un propagador hasta el momento del trasplante que se realizó a los 22 después de la siembra. Durante este periodo se le dio el manejo y cuidado respectivo: regulación de la sombra, fertilización y riego, monitoreo de plagas y enfermedades, protección contra el viento, temperatura, y otros.

3.2.8. Trasplante.

El trasplante se realizó de los 22 días después de la siembra. Previo a esta labor se realizó un riego en las cajas para mantener la humedad a capacidad de campo. Se colocaron dos plántulas por caja distanciadas a 0.25 m entre plantas y Para el distanciamiento entre surco se tomó de base el centro de cada caja donde esta cada tallo de las plantas lo que significa el 0.80 m esta de tallo a tallo, en los laterales se dejó a 0.90 m entre la maya y el primer surco. Se colocaron cinco cajas por surco con un total de 30 cajas y 60 plantas.

3.2.9. Manejo agronómico

Se entiende que es toda actividad realizada en el lapso desde el trasplante de los plantines hasta la finalización de vida de las plantas, exceptuando las relacionadas con el riego y la fertilización, que son actividades implicadas en la aplicación de los programas de fertilización en estudio.

3.2.9.1. Nutrición de la planta

Un día después del trasplante se inició el programa de fertilización, en las que se utilizaron las sales minerales formuladas y balanceadas. Se consideró el pH de la solución nutritiva

que se trabajó con un valor de 6.00 y la conductividad eléctrica del agua con valores entre 1.00 a 1.70, los cuales fueron distribuidos según la etapa fenológica del cultivo (se trabajó con 1.00 S/cm en las primeras tres semanas, 1.4 S/cm desde la cuarta a la octava semana y 1.70 S/cm desde la octava hasta la última semana. S/cm.)

Para elaborar la solución madre que se aplicó a las plantas fue necesario calcular y pesar las cantidades necesarias de sales minerales para un volumen de agua determinado, el cual se tomó del cuadro 12. (Cuadro A.12). De esta solución se elaboró la solución nutritiva, con una concentración de 10 ml de solución madre por cada litro de agua

Para la aplicación del Blaukorn® en el tratamiento testigo (T4, T5, T6), se agregó de 191 g/caja, fraccionado en 19 aplicaciones: una de 8 g al trasplante; 17 aplicaciones de 10 g por semana y la última de 13 g a la semana 19, se aplicó disuelto en agua.

Cuadro 1: Composición química del Blaukorn® disponible en el mercado

| Grado equivalente: 12-8-16 + 3(MgO) + 10 (S) + ME | |
|--|-----------|
| pH: 5-5,5 a 20 °C (1:10 dilución en agua) | |
| Nitrógeno (N) total | 12% P/V |
| Nitratos NO₃ | 5% P/V |
| Amonio NH₄ | 7% P/V |
| Fósforo (P₂O₅) | 8% P/V |
| Potasio (K₂O) | 16% P/V |
| Magnesio (MgO) | 3% P/V |
| Azufre (S) | 10% P/V |
| Boro (B) | 0,02% P/V |
| Hierro (Fe) | 0,06% P/V |
| Zinc (Zn) | 0,01% P/V |

Fuente: Carrillo Ramírez, et al. 1994

Ambas actividades se realizaron simultáneamente, ya que en cada riego se le proporciono la nutrición necesaria a las plantas para su buen crecimiento y desarrollo.

3.2.9.2. Riego

Para el sistema de riego se aplicó la técnica de fertirriego por goteo, que estuvo controlado por un sistema eléctrico de bombeo a través de dos timer unidos a una bomba

que trabajaba con una presión inicial de 20 psi y una final de 45 psi y de medio hp de potencia. Un barril de 242 litros y una cubeta de 19 litros en la cual se depositó la solución madre, cada uno con una válvula de pie que regula la succión del agua de un tanque de 24 litros (Fig. A-5 y A-6), que se encargó de distribuir la solución nutritiva hacia cada uno de los 60 goteros auto compensados con una capacidad de descarga de cuatro litros por hora cada uno, colocados al pie de cada planta que fueron controlados por un timer que es para el sistema de riego programado de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Este trabajó en ciclos de una hora. Para cada ciclo se programó de acuerdo al tiempo de riego. La programación fue de cuatro ciclos para las primeras tres semanas, cada ciclo se activó por un tiempo máximo de dos minutos y se apagó durante 58 minutos. Después del trasplante y de la octava semana en adelante fue una programación de ocho ciclos, se activó por un tiempo máximo de tres minutos y se apagó durante 57 minutos. De la cuarta a la octava semana en adelante fue una programación de cuatro ciclos, se activó por un tiempo máximo de cuatro minutos y se apagó durante 56 minutos. El otro timer controló la cantidad de agua a descargarse por los nebulizadores que tenían una descarga de 0.51 litro/minuto. Estos trabajaron en ciclos de cinco minutos. Se activaron durante cinco segundos, descargando una cantidad de agua de 42.5 ml en los cinco segundos, y se apagaron durante cuatro minutos con cincuenta y cinco segundos. Para un ciclo de cultivo de 150 días, la programación de fertirriego en hidroponía se detalla en el cuadro. (Cuadro A.13)

3.2.10. Tutoreo

Se realizó utilizando postes de bambú con una altura de 3 m, enterrándolos a una profundidad de 0.5 m. con un distanciamiento entre tutores de 2 m.

Se colocó la primera hilada de alambre galvanizado calibre 18, a una altura de 0.20 m del nivel del sustrato. Se realizó 20 días después del trasplante. La segunda y tercera hilada fueron colocadas a 0.30 m una de la otra, dependiendo del desarrollo de las plantas.

3.2.11. Podas

Podas sanitaria: consistió en la eliminación de aquellas hojas basales que estaban en contacto directo con el sustrato, hojas con maduras fisiológica; evitando así focos de infección y mejorando la ventilación e iluminación de las plantas.

Poda de producción: Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza días después del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación.

3.2.12. Monitoreo de plagas y enfermedades

Se llevó a cabo un monitoreo semanalmente de plagas y enfermedades.

3.2.13. Cosecha

Se realizó a partir de los 70-75 días después del trasplante, haciéndose manualmente dos veces por semana, cosechando todos aquellos frutos que presentaron una tonalidad rojiza (sazones) y rojo (maduros).

3.3. Método estadístico

3.3.1. El nivel de confianza fue del 5%

3.3.2. Diseño estadístico:

Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones. La estructura del análisis de varianza se puede ver (Cuadro A.14).

Factores en estudio: sustratos piedra pómez, escoria volcánica, fibra de coco y dos fuentes de fertilización sales minerales y Blaukorn®

Cuadro 2. Tratamientos en estudio

| Tratamientos | Descripción |
|----------------|---------------------------------------|
| T ₁ | Piedra pómez con sales minerales |
| T ₂ | Escoria volcánico con sales minerales |
| T ₃ | Fibra de coco con sales minerales |
| T ₄ | Piedra pómez con Blaukorn® |
| T ₅ | Escoria volcánico Blaukorn® |
| T ₆ | Fibra de coco con Blaukorn® |

3.3.3. Distribución espacial de los tratamientos en campo

Se realizó el sorteo al azar y los tratamientos se distribuyeron en la infraestructura tal como se muestra en la distribución espacial. Anexo (figura A-7)

3.3.4. Prueba estadística.

Se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05.

C₁: T1; T4

C₂: T2; T 5.

C₃: T3; T6.

3.3.5. Variables evaluadas

Y1= altura de la planta (m):

Se midió desde la parte inferior del tallo cerca del sustrato hasta la parte superior de la planta, utilizando una cinta métrica plástica.

Y2= diámetro del tallo (cm):

Este se midió a una distancia de 15 cm desde el piso del sustrato, utilizando el calibrador vernier (pie de rey)

Y3= número de flores por racimo:

Se contaron todas las flores que tenía cada racimo y se llevó un registro, el conteo se hizo cada semana.

Y4= número de frutos por racimo:

Los frutos se contaron por racimo cada quince días, a partir del primer conteo de flores que se realizó.

Y5= diámetro del fruto (cm):

Se realizó después de cada corta, utilizando el calibrador tipo vernier, se midieron los lados laterales del fruto obteniendo de esta manera su diámetro exterior.

Y6= peso del fruto (g): Cada fruto se pesó en una balanza digital.

Y7= grados brix: Se colocó una gota del jugo del fruto en un refractómetro previamente calibrado.

Y8= dureza del fruto (Lb/cm): Utilizamos un penetrometro, el cual se coloca en el fruto y se realiza una fuerza moderada para poder penetrar el fruto.

Y9= rendimiento por planta. Se hizo la sumatorio total de los frutos, de cada uno de los tratamientos (Lb)

3.4. Metodología económica.

Para el análisis económico de la investigación, se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigación del Maíz y Trigo (CIMMYT), el cual consiste en un presupuesto parcial, análisis de dominancia y la tasa de retorno marginal (Ulloa Erroa, 2010).

3.4.1 presupuesto parcial.

Es un instrumento que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los ingresos, costos y los beneficios de los diferentes tratamientos alternativos (tecnologías)

3.4.2. Análisis de dominancia.

Este análisis se efectuó ordenando, los costos que varían de menor a mayor, de los diferentes tratamientos, colocándoles a la par su respectivo beneficio neto; se dice que un tratamiento es dominado cuando, este tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos (Ulloa Erroa 2010).

3.4.3. Tasa de retorno marginal.

En el cálculo de la tasa de retorno marginal solo participan los tratamientos no dominados; la operación consiste en dividir el incremento de los beneficios netos entre los incrementos de los costos que varían al pasar de un tratamiento a otro, expresada en porcentaje. La tasa marginal de retorno calculada, indica lo que el productor puede recibir en promedio, por el uso de la tecnología.

También se puede interpretarse como lo que espera ganar el agricultor por cada dólar invertido en la nueva tecnología alternativa. (Ulloa Erroa, 2010).

Fórmula para calcular la tasa de retorno marginal. (TRMg).

$$TRMg = \frac{\Delta BN}{\Delta CV} \times 100 = \frac{BN2 - BN1}{CV2 - CV} = \%$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad marglobe empleando la técnica de hidroponía bajo techo, se realizó evaluando dos fuentes de fertilización (sales minerales y Blaukorn®) y utilizando tres sustratos sólidos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) en los meses de noviembre de 2014 a marzo de 2015. A continuación, se detallan cada una de las variables en estudio.

4.1. Altura de la planta de tomate variedad marglobe.

Los datos promedio de altura de planta son en metros, para cada una de las repeticiones obtenidas se detallan en la gráfica 1.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 15, (Ver cuadro A.15) Estadísticamente la interacción fuente (sales minerales y Blaukorn®) y sustrato (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco). Produjeron efectos significativos con una probabilidad de 0.05; por lo tanto, algunas de las combinaciones están produciendo efectos diferentes sobre la variable altura de las plantas. Con respecto a la fuente de variación sales minerales y también se Blaukorn® produjeron efectos significativos sobre la variable altura, es decir que los mejores efectos son producidos por la fuente sales minerales con una media igual a 2.38 metros. (Ver cuadros A.15 y A.16)

La combinación sales minerales y fibra de coco está produciendo efectos significativos con 2.07 unidades más, con respecto a sales con piedra pómez y sales con escoria en la altura de las plantas, tal como se observa en el cuadro 17 y 18(Ver cuadro A.17 Y A.18) y el grafico 1. Mientras que la combinación Blaukorn® más fibra de coco produjo 0.13 unidades más que Blaukorn® con piedra pómez y el Blaukorn® con escoria.

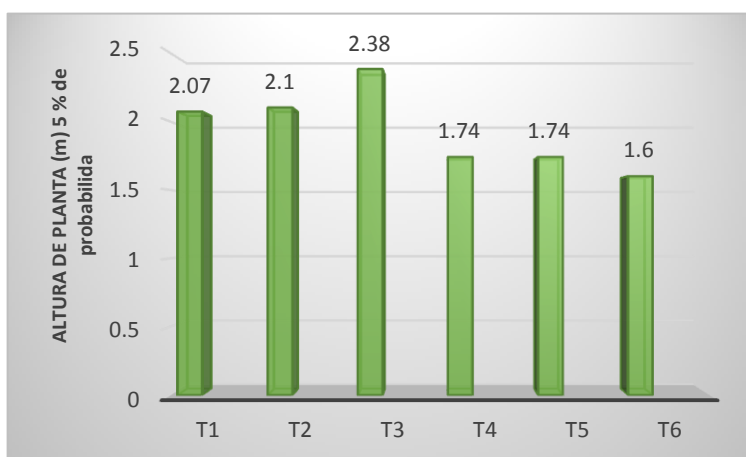


Grafico 1. Interacción de la fuente de fertilización y sustratos en relación a la altura de la planta de tomate, bajo la técnica de hidroponía.

En relación a los términos estadísticos, la altura de la planta expresa variabilidad en el comportamiento de los tratamientos. La combinación sales minerales con fibra de coco (T3), produjo las mayores alturas de plantas con una media igual 2.38 m, seguidos de los tratamientos T2, T1, T5, T4 y T6 con medias iguales a 2.10, 2.07, 1.74, 1.74, y 1.60 m.

Joyar Tiznado, FM de; et al (1994). En su investigación, la cual demuestra que en esta etapa vegetativa la densidad de 6 plantas por metro cuadrado, obtiene una altura promedio de 2.5 inferiores a densidades mayores de 3.10m, la nutrición fue uniforme para cada planta independientemente de la densidad, por lo que la diferencia probablemente se deba solo al factor luz.

En esta investigación al utilizar las diferentes combinaciones entre las fuentes y los sustratos, se obtuvo que las mejores alturas de las plantas, se producen al ser fertilizadas con sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), obteniendo valores promedios de 2.38 m, mientras que para los tratamientos T2, T1, T5, T4 y T6 con medias iguales a 2.10, 2.07, 1.74, 1.74, y 1.60 que con Blaukorn®; sobre sustrato de fibra de coco.

4.2 Diámetro de tallo de tomate variedad marglobe

Los datos promedios del diámetro de tallo son en centímetros, de cada una de las

repeticiones se detallan en la gráfica.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 19. (Ver cuadro A.19)

Estadísticamente las fuentes, los sustratos y combinaciones de los niveles de ambos factores es no significativa lo que indica que se están produciendo iguales efectos sobre la variable diámetro de tallo en centímetros con una probabilidad del 0.05. Por lo que todas sus diferencias a nivel de medias son producto del azar, no producto de los tratamientos, tal como se observa en el cuadro 20(Ver A.20) y grafico 2.

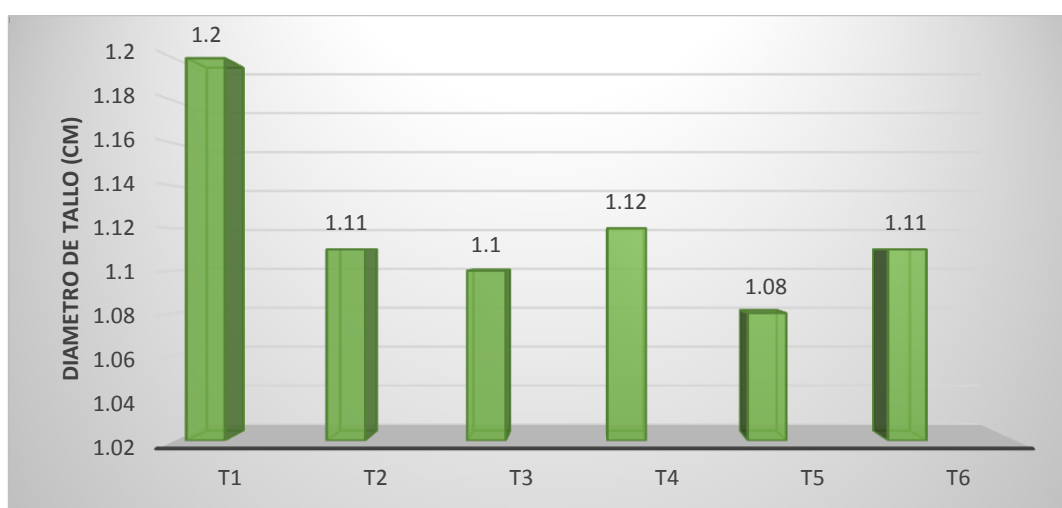


Grafico 2. Diámetro de tallo de tomate en cultivo hidropónico.

Desde el punto de vista Estadístico, no hay variabilidad sobre el comportamiento de los tratamientos, sin embargo, la combinación sales minerales con piedra pómez (T1), presentó una media igual a 1.20 centímetros, seguido de los tratamientos: T4, T2, T6, T1 y T5 con medias iguales a 1.12, 1.11, 1.11, 1.10 y 1.08 cm.

Baldomero H. Zarate Nicolás (2007) en su investigación; menciona que el diámetro de tallo influye de manera significativa en el rendimiento del cultivo, ya que el reportó valores de 2.27 cm como máximo y 1.65 cm como mínimo; sin embargo, el área total del tallo y sus diferentes tejidos pueden ser afectados por factores ambientales y de manejo, así temperaturas elevadas (30°C) propician el crecimiento de tallos delgados. También, luminosidades bajas dan lugar a tallos delgados y débiles.

Otro factor que puede modificar la variable mencionada es la densidad de plantación,

teniéndose que a mayor densidad menor diámetro de tallo.

Sin embargo, en esta investigación los promedios de diámetros obtenidos se encuentran por debajo de los rangos antes mencionados; teniendo un valor de 1.20 cm. Se puede afirmar que las sales aplicadas a piedra pómez producen mayor diámetro promedio en tallos. Estos resultados pueden estar relacionados con la temperatura y el efecto en si del cultivar.

4.3 Numero de flores por racimo en plantas de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de número de flores por planta de cada una de las repeticiones, obtenidos se detallan en la grafica

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 21. (Ver cuadro A.21)

Estadísticamente la fuente de variación sales minerales y Blaukorn® produjeron efectos significativos con una probabilidad del 0.05, por lo tanto, alguna de las fuentes está produciendo efectos diferentes sobre la variable número de flores por planta cuadro 22. (Ver cuadro A.22)

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 14.87 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el número de flores por planta, tal como se observa en el cuadro: 23, 24 (Ver cuadro A23 y 24) y el gráfico: 3. No así: sustratos e interacciones que presentaron iguales efectos.

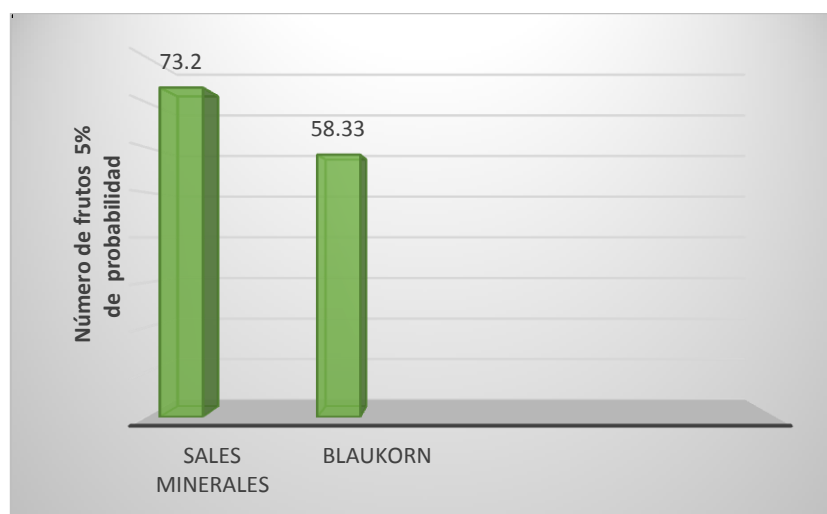


Gráfico 3. Numero de flores por planta de tomate en cultivo hidropónico

En relación a la estadística, hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes es decir en su efecto sobre el número de flores por planta. La fuente sales minerales, está produciendo mayor número de flores con una media igual 73.20, seguido del Blaukorn® con una media igual a 58.33.

Esto puede relacionarse con el factor sales minerales ya que son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

4.4 Número de frutos por racimo en plantas de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de número de frutos por racimo de cada una de las repeticiones, obtenidos se detallan en la gráfica.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 25. (Ver cuadro A.25)

Estadísticamente las fuentes (sales minerales y Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativos con una probabilidad del 0.05; por lo tanto, alguna de las fuentes o alguno de los sustratos están produciendo efectos diferentes sobre la variable número de frutos por planta cuadro 26. (Ver cuadro A.26)

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el número de frutos por racimo, tal como se observa en el cuadro: 27, 28(Ver cuadro A.27 y A.28) y el gráfico: 4.

El sustrato escoria volcánica está produciendo efectos significativos en 0.80 unidades más, con respecto a los sustratos fibra de coco y piedra pómez en el número de frutos por racimo, tal como se observa en el cuadro: 29, 30(Ver cuadro A.29 y A.30) y el gráfico: 5

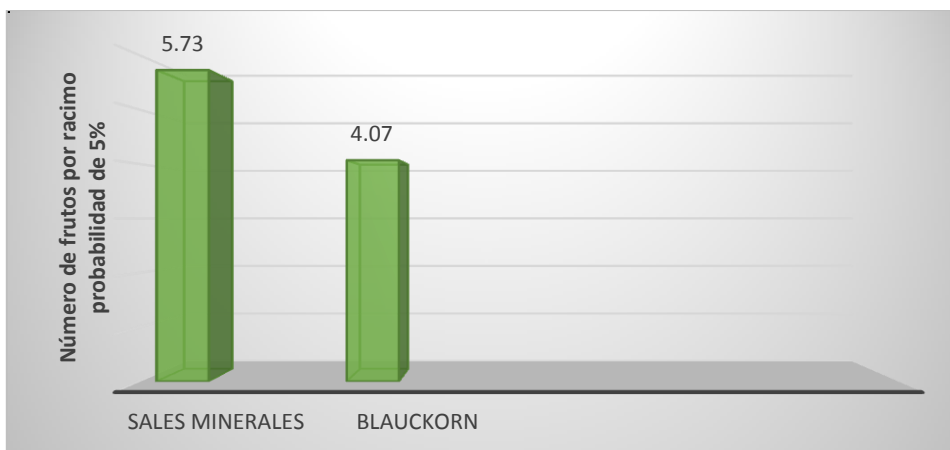


Grafico 4. Numero de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (fuentes).

Gráficamente hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el número de frutos por racimo. Las sales minerales, están produciendo mayor número de frutos por racimo con una media igual 5.73, seguido del Blaukorn® con una media igual a 4.07 tal como se muestra en el gráfico: 4.

Esto está relacionado con el número de flores por planta, ya que las que fueron tratadas con las sales minerales produjeron más y por esa razón tendrán más frutos. Ya que las sales minerales son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

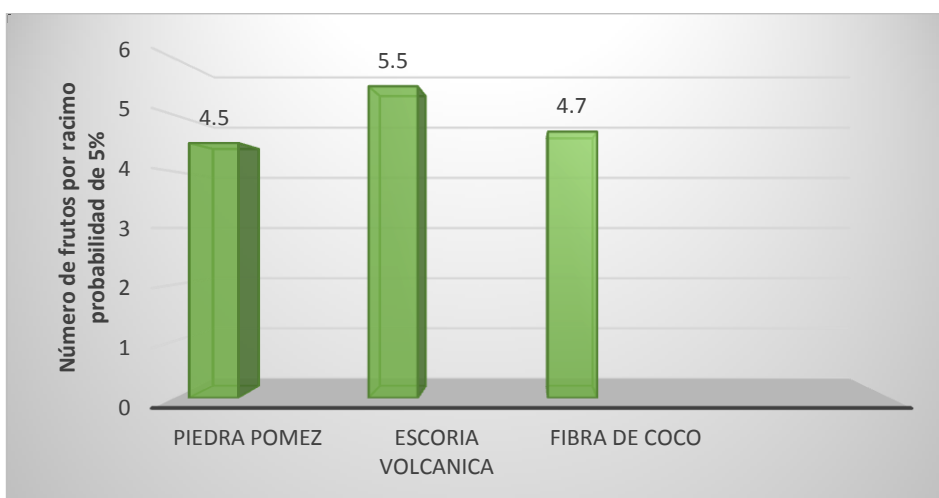


Grafico 5: número de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

En términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el número de frutos por racimo. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor número de frutos por racimo con una media igual a 5.50. Seguido de los sustratos fibra de coco y piedra pómez con medias iguales a 4.70 y 4.50. tal como se muestra en el gráfico 5.

Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate hidropónico con sustratos bajo invernadero; menciona que utilizando fibra de coco + SUN 7705(variedad), obtuvo un promedio de 8.5 frutos por racimos, en la fase inicial de producción de la planta.

Sin embargo, en esta investigación, el número de frutos por racimo fueron inferiores a los datos antes mencionados. En la combinación sales minerales y escoria volcánica se obtuvo una media de 5.73 unidades por racimo, seguido de la combinación Blaukorn® y fibra de coco con una media igual a 4.07 unidades por racimo.

Esto puede estar relacionado a que el investigador trabajo con otra variedad de semilla y por esa razón no se pueden obtener resultados parecidos, también está asociado a factores ambientales, etc.

4.5 Diámetro de frutos de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de diámetro de frutos de cada una de las repeticiones, obtenidos, se detallan en la gráfica.

Análisis de la varianza.

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 31. (Ver cuadro A31)

Estadísticamente las fuentes (sales minerales y Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativos con una probabilidad del 0.05; por lo tanto, alguna de las fuentes o alguno de los sustratos están produciendo efectos diferentes sobre la variable diámetro de frutos cuadro 32. (Ver cuadro A.32)

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 0.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el diámetro de frutos, tal como se observa en el cuadro: 33, 34(Ver cuadros A.33 YA.34) y el gráfico 6.

El sustrato fibra de coco está produciendo efectos significativos, con respecto a los sustratos escoria volcánica y piedra pómez en el diámetro de frutos, tal como se observa en el cuadro: 35, 36(Ver cuadro A.35 Y A.36) y el gráfico 7

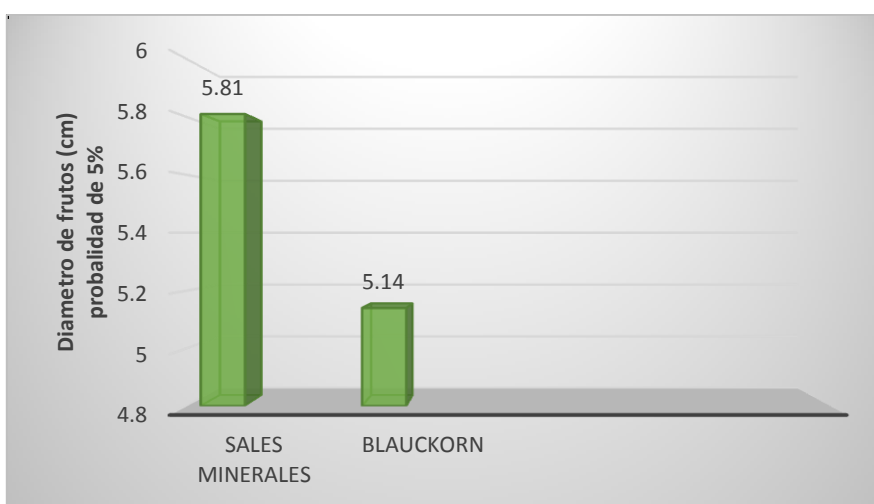


Grafico 6. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (fuentes).

En relación a los términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el diámetro de frutos. Las sales minerales, están produciendo mayor diámetro de frutos de tomate con una media igual 5.81, seguido del Blaukorn® con una media igual a 5.41 tal como se muestra en el gráfico: 6.

Las sales minerales producen mejores diámetros en los frutos de tomate, ya que estas plantas fueron las que mejor desarrollo presentaron (plantas más frondosas), y por lo consiguiente sus resultados serían mucho mejor

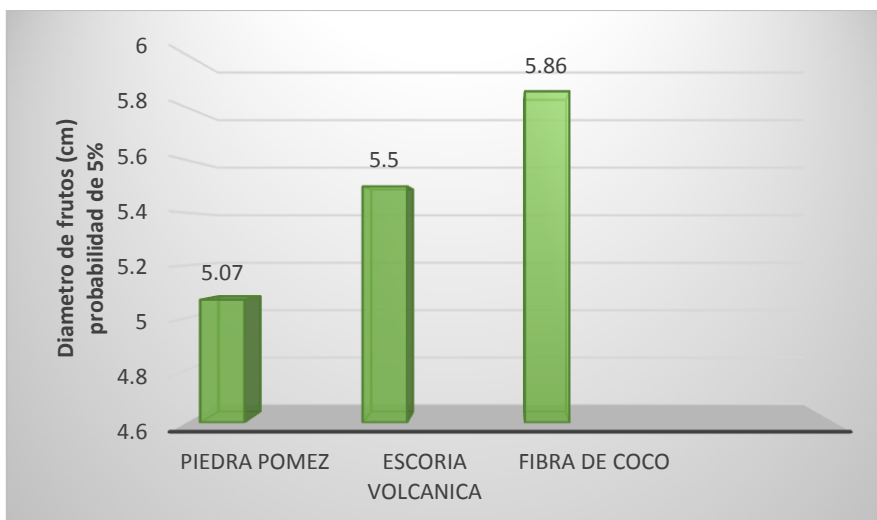


Grafico 7. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)

Desde el punto de vista Estadístico hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el diámetro de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor diámetro de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad marglobe con una media igual a 5.86. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07. tal como se muestra en el gráfico: 7.

Joyar Tiznado, FM de; Barakat Larios, MB. 1994. En su investigación el promedio obtenido de los frutos se encuentra dentro del tipo medio (diámetro transversal entre 4.0 y 7.9 cm).

Los diámetros obtenidos son menores a los reportados por DIVAGRO- FUSADES (1988), quienes evaluaron, en la localidad de Zapotitán, 13 variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) las cuales presentaron mejores resultados (Caramelo, Umayá, fresh pak y luxor), con diámetros de fruto de 7.6, 8.0, 9.5 y 10 cm.

Sin embargo, esta investigación los promedios de diámetros obtenidos se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que las sales aplicadas a fibra de coco producen mayor diámetro promedio en los frutos que en piedra pómez y escoria volcánica.

4.6 Peso de frutos en plantas de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de peso de frutos (g), de cada una de las repeticiones, obtenidos, se detallan en la gráfica.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 37(Ver cuadro A.37)

Por otra parte en términos estadísticos los factores fuentes de fertilización (sales minerales y Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativos con una probabilidad del 0.05; por lo tanto alguna de las fuentes o alguno de los sustratos están produciendo efectos diferentes sobre la variable peso de frutos de tomate cuadro 38(Ver cuadro A.38).

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 11.56 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el peso de frutos, tal como se observa en el cuadro: 39, 40(Ver cuadro A.39 y A.40) y el gráfico 8.

El sustrato fibra de coco está produciendo efectos significativos, con respecto a los sustratos escoria volcánica y piedra pómez en el diámetro de frutos, tal como se observa en el cuadro: 41, 42(Ver cuadro A.41 y A.42) y el gráfico 9.

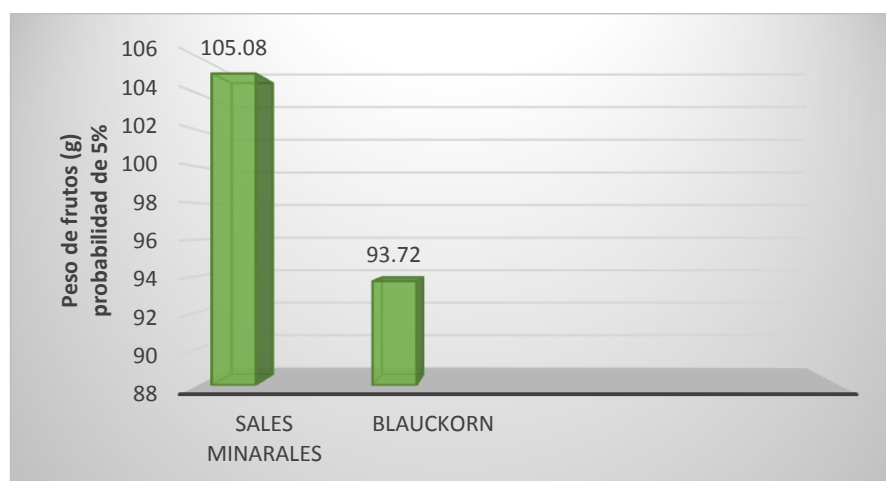


Gráfico 8. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (fuentes).

En términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el peso promedio de frutos. Las sales minerales, están produciendo mayor peso de frutos de tomate con una media igual 105.08, seguido del Blaukorn® con una media igual a 93.72 tal como se muestra en el gráfico: 8.

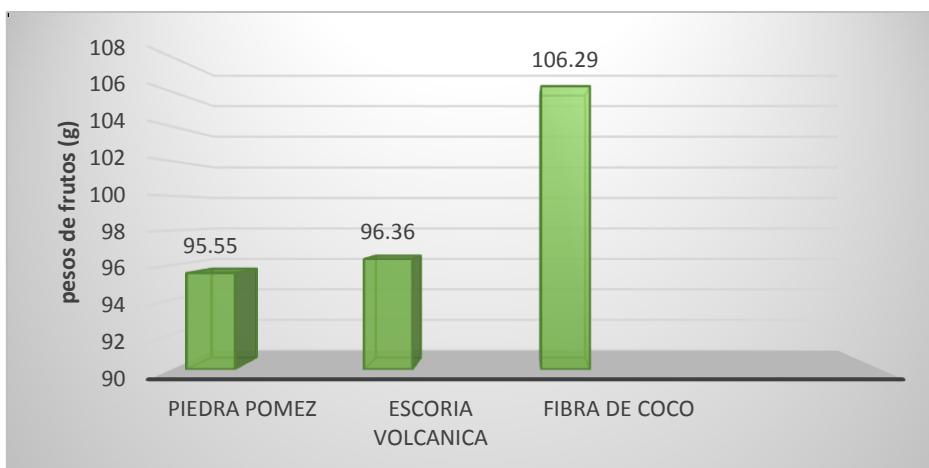


Gráfico 9. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)

Hay variabilidad desde el punto de vista estadístico en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el peso promedio de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor peso de frutos de tomate con una media igual a 106.29. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55. Tal como se muestra en el gráfico: 9.

Wittwer et. Al. (1979), citado por Joyar Tiznado y Barakat (1994), reporta rangos en peso de fruto de 130gr a 150 gr, sin embargo, Vilanova (1992), obtuvo rangos de 110 gr a 130 g, para la variedad floradade bajo hidroponía; Citado también por Joyar Tiznado y Barakat; donde menciona que los resultados son similares a los de la investigación, lo que comprueba que el peso promedio por fruto está relacionado por la variedad y factores ambientales.

Sin embargo en esta investigación los promedios de pesos obtenidos por fruto se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que los pesos cambian según la variedad que se utilice; comprobando de esta manera que la variedad Marglobe se obtuvo peso de hasta 310 gr, utilizando sales minerales aplicadas a fibra de coco ya que este produjo mayor peso promedio en los frutos que piedra pómez y escoria volcánica.

4.7. Grados brix en plantas de tomate variedad marglobe

Datos promedio de diámetro de frutos de cada una de las repeticiones, obtenidos, se detallan en la gráfica.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 43(Ver cuadroA.43)

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®, en los grados brix, tal como se observa en el cuadro: 45, 46(Ver cuadroA.45 Y A.46) y el gráfico 10

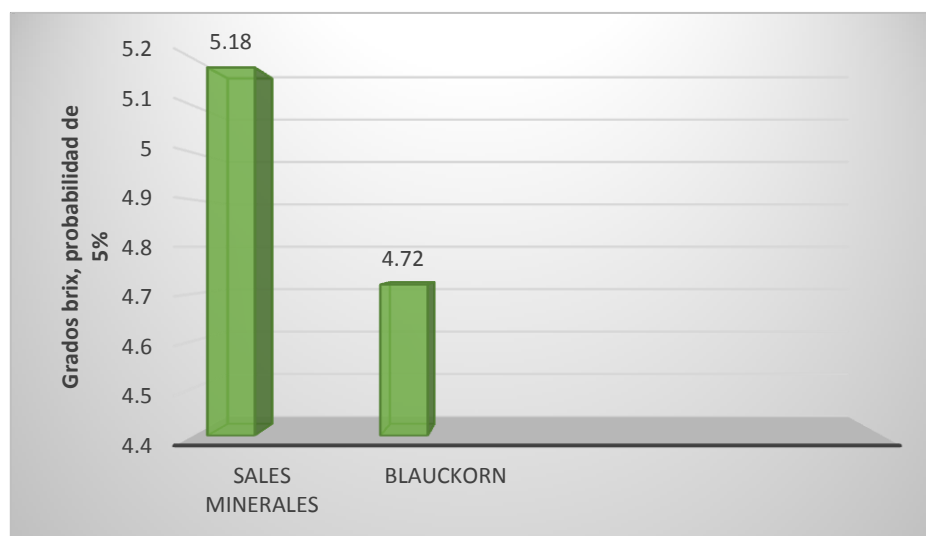


Grafico 10. Grados brix de frutos de tomate en cultivo hidropónico.

Estadísticamente hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre los grados brix de frutos. Las sales minerales, están produciendo mayor cantidad de grados brix con una media igual 5.18, seguido del Blaukorn® con una media igual a 4.72 tal como se muestra en el gráfico: 10.

Santiago, J. et al. (1998). En su investigación menciona que de acuerdo a los grados brix, el genotipo híbrido bingo presento un valor de 5.0° brix. En general los frutos de todos los genotipos arrojaron un valor arriba de 4.0° brix, a excepción de la de la variedad flodade que presento un valor de 3.9° lo que pudiera ser menor atractivo este genotipo, a pesar de que ocupa el segundo lugar en rendimiento por planta.

En esta investigación las plantas que obtuvieron mayor porcentaje de grados brix fueron a las que se les aplicó sales minerales con valor de 5.18°, mientras que con Blaukorn® se obtuvo datos de 4.76°. Esto puede estar relacionado con la cantidad de los elementos y la concentración de las sales minerales, en relación con el Blaukorn® ya que las sales permiten la mejor formación de azúcares en los frutos.

4.8 Dureza de fruto en plantas de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de dureza de frutos de cada una de las repeticiones, obtenidos, se detallan en el cuadro 47. (Ver cuadro A.47)

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 47 (Ver cuadro A.47)

En términos estadísticos las fuentes de fertilización (sales minerales y Blaukorn®), los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) y combinaciones de los niveles de ambos factores son no significativa lo que indica que se están produciendo iguales efectos sobre la variable dureza de fruto con una probabilidad del 0.05. Por lo que todas sus diferencias a nivel de medias son producto del azar, no producto de los tratamientos, tal como se observa en la tabla 48 (Ver cuadro A.48)

Fernández ed. Al. 2007 en su investigación evaluación agronómica e de calidad de diferentes cultivares de tomate "CC. Calidad controlada" de Cantabria reporta que los valores más altos de dureza para la mayor parte de las recolecciones correspondieron a los cultivares de Sinatra y Caramba. La firmeza del tomate varía con el cultivar. En el ensayo se encontraron diferencias estadísticas significativas entre cultivares. Sinatra y Caramba presentaron las medias más altas con valores de 2.94 y 2.83 Kg respectivamente mientras que Jack apareció como la más blanda con una media de 2.53 Kg

4.9. Rendimiento por planta en plantas de tomate variedad marglobe.

Datos promedio de rendimiento de frutos por planta de cada una de las repeticiones, obtenidos, se detalla en la gráfica.

Análisis de la varianza

De los resultados obtenidos se realiza ANVA a los datos del cuadro 49. (Ver cuadro A.49)

Estadísticamente las fuentes (sales minerales y Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativos con una probabilidad del 0.05; por lo tanto, alguna de las fuentes o alguno de los sustratos están produciendo efectos diferentes sobre la variable rendimiento de frutos por planta cuadro 52. (Ver cuadro A.50)

La fuente sales minerales está produciendo efectos significativos con 21.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el rendimiento de frutos por planta, tal como se observa en el cuadro: 51, 52 (Ver cuadro A.51 Y A.52) y el gráfico11.

El sustrato escoria volcánica está produciendo efectos significativos, con 9.60 unidades más, con respecto a los sustratos fibra de coco y piedra pómez en el rendimiento de frutos por planta, tal como se observa en el cuadro: 53, 54 (Ver cuadro A.53 y A.54) y el gráfico12.

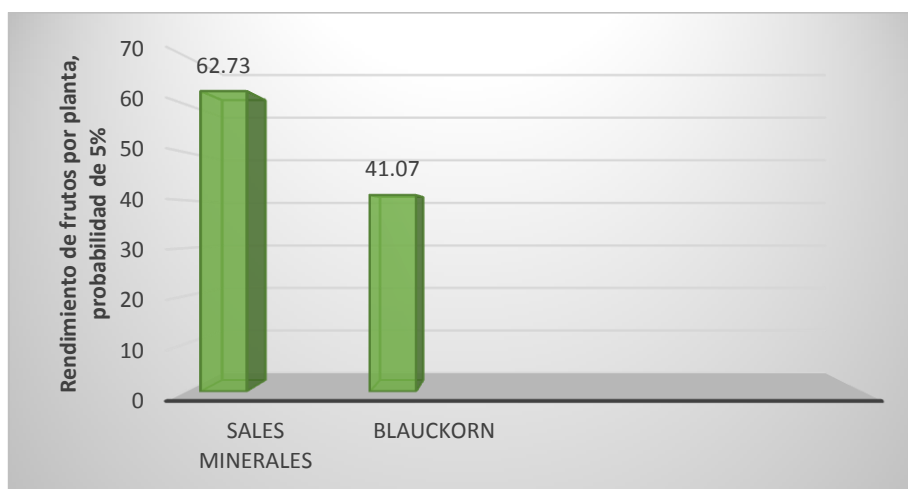


Gráfico 11. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (fuentes)

Desde el punto de vista estadístico hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el rendimiento de frutos por planta. Las sales minerales, están produciendo mayor rendimiento de frutos por planta de tomate con una media igual 62.73, seguido del Blaukorn® con una media igual a 41.07 tal como se muestra en el gráfico 11.

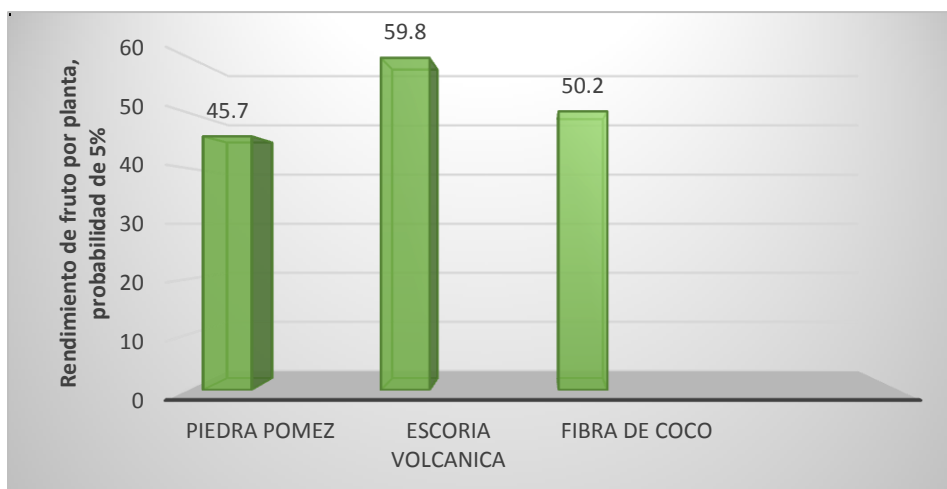


Grafico 12. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (sustratos)

000000000000000000

En relación a los términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el rendimiento de frutos pro planta. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor rendimiento de frutos por planta de tomate con una media igual a 59.80. Seguido de los sustratos fibra de coco con una media de 50.20 y piedra pómez con media de 45.70.tal como se muestra en el gráfico: 7.

Baldomero H. Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) Hidropónico con sustratos bajo invernadero; señala que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia (lo cual está estrechamente relacionado con el peso medio del fruto), siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta. En la investigación se reportaron 44 frutos promedio por planta en sustrato fibra de coco.

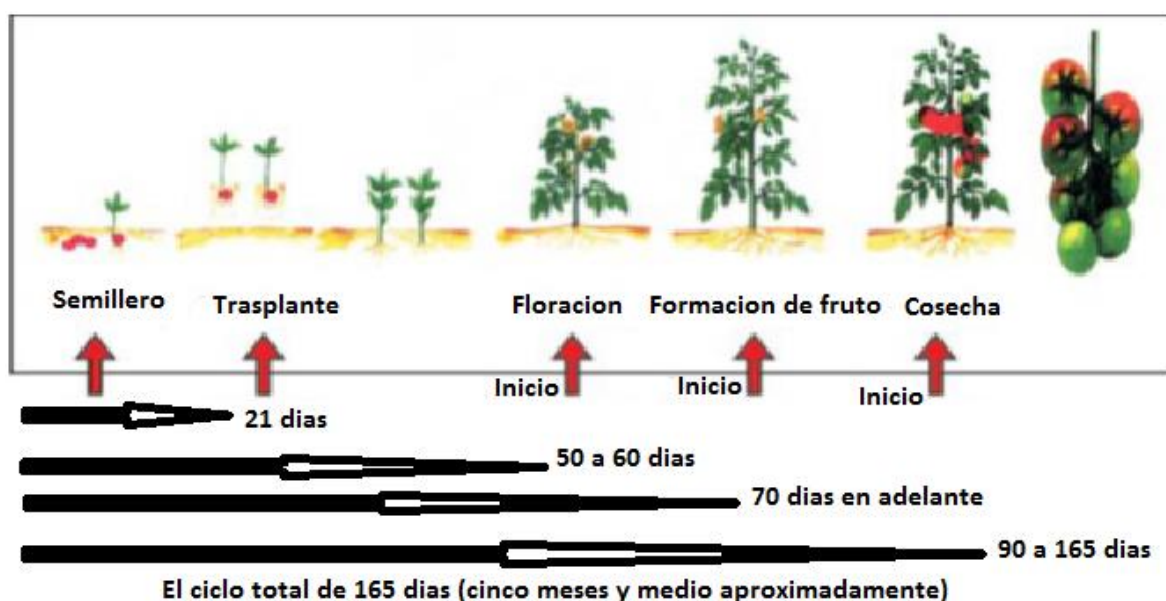
Sin embargo, en lainvestigación los promedios de rendimiento se encuentran arriba de los rangos mencionados anteriormente; siendo la mejor escoria volcánica con un 59.80 unidades promedio, seguido de fibra de coco con un 50.20 y piedra pómez con 45.70.

Por otra parte, si expresamos el resultado por m^2 en la investigación se empleó una densidad de siembra de tres plantas por m^2 obtenemos un rendimiento total de 180 frutos lo que representa un peso promedio de $20.50 \text{ kg}/m^2$.

4.10. Fenología del cultivo

La fenología del cultivo inicia cuando emerge y pasa a plántula en el semillero por un espacio de tres a cuatro semanas (20 a 25 días) y cuando tiene una altura adecuada o el primer par de hojas se trasplanta, pasando su etapa vegetativa por unos 30 a 35 días; a los 50 a 60 días inicia la floración. La etapa reproductiva se extiende por unos 32 a 40 días, llegando a la cosecha, que se inicia 65 a 75 días después del trasplante.

Figura 1. Fenología del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe, en invernadero utilizando la técnica de hidroponía en el año 2014-2015.



Fuente: propia

Según el gráfico se muestra el crecimiento de las plantas en las diferentes etapas fenológicas, del cultivo de tomate variedad Marglobe, que tiende a incrementarse a medida que pasan los días se puede observar el cambio que ocurre desde que emerge hasta concluir con su fase de producción (cosecha).

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Presupuesto parcial.

El presupuesto parcial muestra en forma organizada los datos experimentales de los costos que varían y los beneficios netos de los tratamientos alternativos de las diferentes combinaciones de fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria).

volcánica y fibra de coco), en el cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad Marglobe.

Cuadro 3. Presupuesto parcial del rendimiento del cultivo de tomate variedad Marglobe, bajo la técnica de hidroponía

| Especificaciones | Tratamientos | | | | | |
|---|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Rendimiento total (unidades) | 275 | 353 | 307 | 182 | 245 | 189 |
| Precio de venta de tomates (\$) | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Beneficio bruto total (\$) | 110 | 141.2 | 122.8 | 54.6 | 73.5 | 79.2 |
| Costos que varían (\$) | | | | | | |
| Piedra pómez (saco) | 3.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 0.00 | 0.00 |
| Escoria volcánica (cubeta) | 0.00 | 10.50 | 0.00 | 0.00 | 10.50 | 0.00 |
| Fibra de coco (saco) | 0.00 | 0.00 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 9.00 |
| Sales minerales (g) | 1.11 | 1.11 | 1.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Blaukorn® (g) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.10 | 2.10 | 2.10 |
| Fertilizante foliar | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| fungicida | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 |
| Mano de obra para la aplicación de riego y aplicación de sales minerales. | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 | 4.16 |
| Mano de obra para la aplicación de Blaukorn® y fertilizante foliar. | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| Mano de obra por aplicación de fungicida | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Total de costos que varían(\$) | 17.18 | 24.68 | 23.18 | 18.17 | 25.67 | 24.17 |
| Beneficios netos (\$) | 86.82 | 116.52 | 99.62 | 36.43 | 47.83 | 55.03 |

Fuente: propia.

En el presupuesto parcial el beneficio bruto es el resultado del producto del rendimiento medio obtenido en unidades de tomate cosechados por tratamiento multiplicados por el precio unitario al que lo adquiere la población en los diferentes mercados y supermercados.

5.2. Análisis de dominancia

En el cuadro 59 se presentan de forma ordenada los costos que varían, de menor a mayor con su respectivo beneficio neto para cada uno de los tratamientos, y así determinar los tratamientos que presentan efecto de dominancia.

También se puede observar las diferentes combinaciones de las fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco), bajo la técnica de hidroponía en el cultivo de tomate. Resultaron dominados los tratamientos T4 y T6 debido a que presentaron beneficios netos muy bajos y a la vez negativos (Ulloa, JA.2010)

Cuadro 4. Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio

| Tratamientos | Costos que varían (\$) | Beneficio neto (\$) | Dominancia |
|---|------------------------|---------------------|------------|
| T1: Piedra pómez con sales minerales | 17.18 | 86.82 | - |
| T4: Piedra pómez con Blaukorn® | 18.17 | 36.43 | D |
| T3: Fibra de coco con sales minerales | 23.18 | 99.62 | - |
| T6: Fibra de coco con Blaukorn® | 24.17 | 55.03 | D |
| T2: Cascajo volcánico con sales minerales | 24.68 | 116.52 | - |
| T5: Cascajo volcánico Blaukorn® | 25.67 | 47.83 | D |

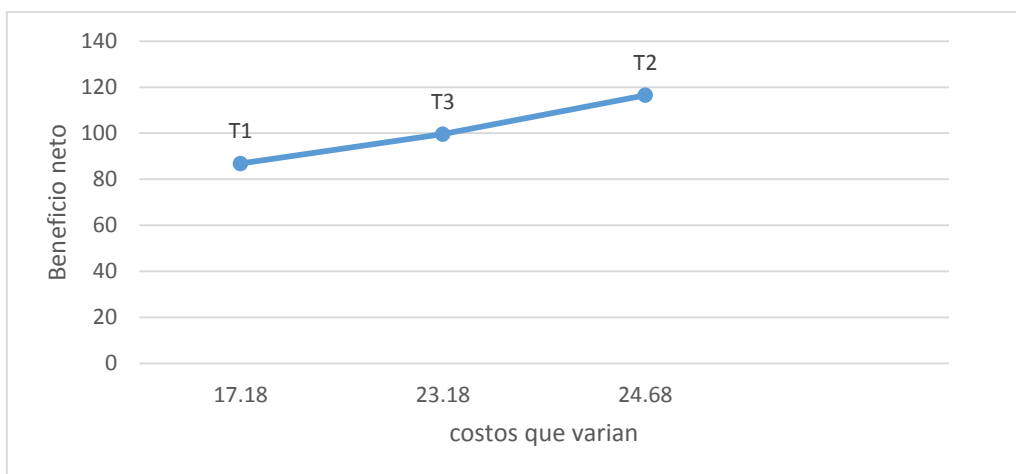
Fuente: propia

*D= tratamiento dominado

5.3. Curva de beneficio neto

El análisis de dominancia a excluido a tres tratamientos alternativos indicando que la curva de beneficio neto (grafica 14) muestra los puntos de los tratamientos T1, T3 y T2, los cuales no son dominados dentro del análisis de dominancia lo que significa al aplicar las diferentes

combinaciones de fuente y sustratos bajo la técnica de hidroponía se puede tener un mayor margen de rentabilidad.



Grafica 14. Curva de beneficio neto

5.4. Tasa de retorno marginal

En el cuadro 5 se presentan los tratamientos alternativos que determinan la tecnología a la que puede optar las personas basándose en la tasa de retorno marginal para cultivar tomate bajo la técnica de hidroponía empleando las diferentes combinaciones de fuentes y sustratos.

Cuadro 5. Tasa de retorno marginal

| Tratamientos | Costos que varían (\$) | Costo marginal (\$) | Beneficio neto (\$) | Beneficio neto marginal (\$) | TRM (%) |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|----------|
| T1: Piedra pómez con sales minerales | 17.18 | | 86.82 | | |
| | | 6.00 | | 12.8 | 213.33% |
| T3: Fibra de coco con sales minerales | 23.18 | | 99.62 | | |
| | | 1.5 | | 16.9 | 1126.66% |
| T2: Cascajo volcánico con sales minerales | 24.68 | | 116.52 | | |

Fuente: propia

*TRM = Tasa de Retorno Marginal (%)

Fórmula para calcular la tasa de retorno marginal. (TRMg).

$$\text{TRMg} = \frac{\Delta \text{BN}}{\Delta \text{CV}} \times 100 = \frac{\text{BN2} - \text{BN1}}{\text{CV2} - \text{CV1}} = \%$$

$$\text{TRMg} = \frac{99.62 - 86.82}{23.18 - 17.18} \times 100 = \frac{12.80}{6} = 213.33\%$$

$$\text{TRMg} = \frac{116.52 - 99.62}{24.68 - 23.18} \times 100 = \frac{16.9}{1.5} = 1126.66\%$$

El cuadro 5 indica que las diferentes tecnologías a las que el productor puede optar, o lo que puede esperar ganar con su inversión cuando decide cambiar de una tecnología a otra. Por cada dólar invertido al cambiar de tecnología el agricultor espera ganar el dólar invertido más un \$ 2.13 adicional. El cuadro 5 nos indica la tasa de retorno marginal de cambiar de un tratamiento a otro o lo que el agricultor puede esperar ganar al cambiar de una tecnología a otra.

Al cambiar del tratamiento tres (fibra de coco con sales minerales) al tratamiento dos (escoria volcánica con sales minerales), una alternativa que vale la pena para el productor ya que puede esperar obtener por cada dólar invertido \$ 11.26 adicionales.

Para la determinación de los costos por m² o de cuanto se podría emplear por área, se tiene que tener claro los costos del capital invertido, en este caso se empleó una inversión de \$727.91 esto dividido entre 60 m² que es el área total del invernadero, nos da un total de \$12.13 por cada m² y tenemos un rendimiento de 20.50 kg/m² multiplicado por el precio promedio de mercado de \$ 3.51 kg, nos da un rendimiento total de \$ 72 m² lo que significa que el productor obtendrá \$ 59.87 más por cada m².

6. CONCLUSIONES

- La mejor fuente de fertilización en combinación con los sustratos; las sales minerales presentaron los mejores resultados en todas las variables a diferencia del Blaukorn®.
- La fibra de coco presentó los mejores resultados en altura de planta, número de flores por planta, peso de frutos y dureza de fruto., en relación a las fuentes de fertilización
- los mejores rendimientos por planta se obtuvieron en el T2 con un valor de 70 frutos, así como también presentó el mayor beneficio neto obtenido un total de \$116.52, superando al resto de los tratamientos en estudio.
- Para el área urbana la técnica de hidroponía, bajo condiciones de invernadero es una alternativa para la producción de tomate.
- Se obtiene un mejor aprovechamiento de los insumos agrícolas bajo condiciones de invernadero

7. RECOMENDACIONES

- Utilizar sales minerales como fuente de fertilización, ya que produce incrementos significativos en cuanto la producción de frutos.
- Se recomienda el uso del sustrato fibra de coco ya que este presentó los mejores resultados en cuanto a los otros sustratos en estudio, para la producción en contenedores bajo sistemas hidropónicos.
- Implementar la técnica de hidroponía bajo condiciones de invernaderos, ya que se tiene un mejor control de las condiciones climáticas que afectan los cultivos del sistema tradicional.

8. BIBLIOGRAFIA

Alarcón Vera, AL. 2014. Fertirrigación práctica. DISAGRO. Guatemala. p 23 -30

Alvares, M. 2011. Hidroponía. Una guía esencial para cultivo en agua de frutas, hortalizas y plantas florales. AR. 111 p

Arévalo Henríquez, RJ; Dueñas Ardon, JA. 1992. Interacción de tres programas de fertilización y tres densidades de siembra en cultivo hidropónico de cebolla (*Allium cepa*) utilizando como sustrato escoria volcánica roja. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV, UES. 123 p

Arriaza Orellana, GA; Hernández Quele, GA. 1999. Respuesta del cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum*) a dos condiciones de siembra y dos fertilizaciones químicas. Tesis Ing. Agr. San Salvador, UES. 122 p.

ASCE.1977.Libro Azul SQM, adaptado de "Quality of wáter for irrigation" RS. Aysers. Joulman of the irrig. and Drain Div; vol 13

Baixauli Soria, Aguilar Olivert, JM. 2002. Cultivo sin Suelos en Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias. (en línea). Valencia, ES. Consultado el 25 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.ivia.es/sdta/pdf/libros/n53.pdf> . Serie Divulgación Técnica.....

Barbazán, M.1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes, Universidad de la Republica de Montevideo, UY. 27 p

Barros, P. 1999. La hidroponía. (en línea). Consultado el 10 de Septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.librosmaravillosos.com>.

California Fertilizer Association. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. Trad. Manuel Guzmán Ortiz. LIMUSA- MX. p 42-52

Carrillo Ramírez, JR; Martínez Vázquez, OM; Pénate Flores, RE. 1994. Evaluación de la interacción de tres sustratos con programas de fertilización tradicional y aminoproteínas en zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo la técnica de hidroponía. Tesis Ing. Agr. San Salvador, UES. p 14,15

Castillo Rivas, C. 2001. La hidroponía como alternativa de producción vegetal (en línea) Madrid, ES. Consultado el 13 de junio del 2013. Disponible en www.virtual.chapingo.mx/dona/paginalntAgronomia/hidroponia2.pdf.191

CATIE. 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Turrialba, CR. 130 p

CENTA-KOIKA (Agencia de Cooperación internacional de Korea). 2010. Desarrollo de tecnología hidropónica de hortalizas bajo invernadero. San Salvador, SV. 31 p

Cerón Chávez, J; Rodríguez Delgado, S.2012. Fenología del Tomate Marglobe, Manejado en Sistema de Cultivo Sin Suelo, Bajo Riego en Tingo María. Artículo Científico. Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María Facultad de Agronomía. 16 P

CIMMYT 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.

Corona Salazar, JP. s.f. El uso de los sustratos hidropónicos en la producción de cultivos. s.n.t. 4 p

Corpeño, B. 2004. Manual del cultivo de tomate. CIDEA. San Salvador, SV. 31 p

Escrivá, MG, 2010. Huerta orgánica en macetas. Una guía esencial para el cultivo de hortalizas y hierbas aromáticas en balcones, terrazas y patios. ARG. 110 p

Gilsanz, JC. 2007. Hidroponía, Montevideo, UR. Ed. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología. 26 p

Gordillo Anda, G de. s.f. La agricultura urbana y peri urbana: Alternativas productivas para la seguridad alimentaria (en línea). FAO. Consultado el 12 de octubre de 2012. Disponible en: www.inforural.com.mx/IMG/pdf/Agricultura_urbana.pdf

Guzmán, AM; Noreña, JJ; Rodríguez, VP; Zapata, AM. 2006. *Cultivo de tomate bajo invernadero (Lycopersicon esculentum. Mill.)*, CORPOICA. p 46

Guzmán Díaz, GA. 2004. *Hidroponía en casa, una actividad familiar*. San José. C.R. MAG. p 25

Holwerda, HT. 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad, tomate. YARA. p 81

Joyar Tizado, FM de; Barakat Larios, MB. 1994. Evaluación de densidades y variedades de tomate de crecimiento determinado en cultivo hidropónico, utilizando escoria volcánica como sustrato. Tesis Ing. Agroindustrial. San Salvador, SV, universidad Doctor José Matías Delgado. p 130.

Lagos, JA. 1997. Compendio de botánica sistemática. Consejo nacional para la cultura y el arte (CONCULTURA). San Salvador. SV. p 309

MAG. (Ministerio de Agricultura y Ganadería).2011.Anuario de Estadísticas Agropecuaria. 2010-2011.Divicion de Estadísticas Agropecuaria .SV. p 42-43

MAG. (Ministerio de Agricultura y Ganadería) 2015. . División General de Estadísticas Agropecuarias 2014- 2015.SV. 53 p

Maroto Borrego, JV, 2000. Elementos de horticultura general. Especialmente aplicadas al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Madrid, ES. 424 p

Marulanda, C.2003. La huerta hidropónica popular: curso audiovisual. Santiago, CL, FAO.132 p.

Monardes, MH. 2009. Manual del cultivo de tomate. InnovaChile, CORFO CL. 13 p

Mora, L. 1999. Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. INAGRO, San José, CR. 100 p

Nuila de Mejía, JA. 2009. Diseño Completamente al Azar o Irrestricto al Azar (DIA).Facultad de Ciencias Agronómicas .Universidad de El Salvador. San Salvador, SV. 10 p

Nuño Moreno, R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. MX. 26 p

Pérez Ascencio, MA. 2007. Técnicas de producción de plantines: semilleros en bandejas. San salvador, SV. 12 p

Pérez, j; Hurtado, G; Aparicio, V; Argueta, Q; Larín, MA. 2010. Guía técnica. Cultivo de tomate. CENTA. 48 p

Reckmann, O. 2011. Fibra de Coco. Un Sustrato con Grandes Ventajas. (en línea). Consultado el 10 de Septiembre de 2013. Disponible en: www.protekta.cl/dmdocuments/Artículo%20Fibra%20de%20Coco.pdf.

Resh, H, M. 1992 .Cultivos Hidropónicos: nuevas técnicas de producción. Trad. Ceballos; García, E. 3ed. Madrid, ES. 368 p

Samperio Ruiz, G.1997. Hidroponía Básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. E.3ed. Distrito Federal, MX. 153 p

Santiago, j; Mendoza, M; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate *Lycopersicon esculentum*, MILL en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Saltillo Coahuila. Mx. 65 p

SNET (Servicio Nacional De Estudios Territoriales). 2013. Información Climática General. (en línea). San Salvador SV. Consultado el 13 de junio del 2013. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/meteorologia/climaelsal.htm>

Solórzano, J. s.f. Huertos hidropónicos como alternativa de producción de hortalizas y vegetales en las escuelas. Guatemala, INCAP. p 1

Tjalling Holwerda, H. 2006. Guía de Manejo. Nutrición Vegetal Especialidad Tomate. (en línea). Consultado el 23 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf.....

Ulloa Erroa, JA. 2010. Evaluación Económica de una Investigación Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. San. Salvador, SV. 8 p

UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina, PE). 1997. Hidroponía: una esperanza para Latinoamérica. Ed. A Rodríguez Delfín. Lima, PE. 353 p.

Urrestarua Gavilán, M. 2004. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo; tratado de cultivo sin suelo. 3° ed. Mundi prensa, ES. p 3-17

Zarate Nicolás, BH. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Hidropónico con sustratos, bajo invernadero. (en línea). Oaxaca, MX. Consultado el 23 de octubre de 2015. Disponible en : [/tesis_maestria_baldomero.pdf](#). 176 p

.

9. ANEXOS

Cuadro A1. Composición química de la escoria volcánica roja utilizada como sustrato en cultivos hidropónicos.

| Características | Valor | características | Valor |
|------------------|------------|------------------|-----------|
| Nitrógeno | 35.0 ppm | Manganeso | 23.75 ppm |
| Fosforo | 105.45 ppm | Cobre | 1.0 ppm |
| Sodio | 60.0 ppm | Hierro | 31.5 ppm |
| Potasio | 38.75 ppm | Zinc | 2.18 ppm |
| Calcio | 602.50 ppm | Boro | 0.41 ppm |
| Magnesio | 70 ppm | Azufre | 6.0 ppm |

Fuente: Aguilar, *et al*, (1999), citato por Arriaza Orellana y Hernández Quele (1999)

Cuadro A2. Composición química de la piedra pómez utilizada en hidroponía.

| Propiedades físicas | | Propiedades químicas | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|------------------|---------|
| Granulometría | 2.00mm 3.7% | pH | 6.4 | Hierro | 0.9 ppm |
| Conductividad Hidráulica | 4.19×10^{-3} (medio) | Conductividad | 0.07 milésimas | Manganeso | 4.3 ppm |
| Saturación: | 53.70 | Nitrógeno | 16 ppm | Zinc | 0.3 ppm |
| Capacidad de campo: | 36.20% | Fosforo | 19 ppm | Cobre | 0.4 ppm |
| Punto de | 18.70% | Potasio | 60 ppm | Boro | 0.1 ppm |

| | | | | | |
|------------------------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| marchitez | | | | | |
| Total agua disponible | 28.70 % | Calcio | 240 ppm | Azufre | 21 ppm |
| Porosidad: | 24.2 % | Magnesio | 570 ppm | Aluminio | 1,0 ppm |

Fuente: (Mora, 1999)

Cuadro A3. Propiedades físico-químicas de la fibra de coco.

| Propiedad | Fibra de coco | |
|---|---------------|---------|
| | intervalo | Mediana |
| Índice de grosor (%) | 11 – 66 | 34 |
| Densidad aparente (g/cm³) | 0,02- 0,09 | 0,05 |
| Espacio poroso total (% vol.) | 93,8 – 98,7 | 96,1 |
| Capacidad de aireación (% vol.) | 22,2 – 90,5 | 44,9 |
| Agua fácilmente disponible (% vol.) | 0,7 -36,8 | 19,9 |
| Agua de reserva (% vol.) | 0,1 – 7,8 | 3,5 |
| Capacidad de retención del agua (ml/l sustrato) | 110 – 797 | 523 |
| Contracción (% vol.) | n.d, - 28 | 14 |
| pH (pasta saturada) | 4,76 – 6,25 | 5,71 |
| Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dS/m) | 0,36 – 6,77 | 3,52 |
| Capacidad de intercambio catiónico (m.e./ 100 g) | 31 – 97 | 61 |
| Materia orgánica total (%) | 88,6- 95,7 | 93,8 |
| Relación C/N | 74 – 194 | 132 |
| Elementos asimilables: (ppm extracto de saturación) | | |
| N-NO₃ | n.d. – 1,7 | 0,21 |
| N-NH₄⁺ | n.d. – 1,8 | 0,14 |
| P | 7,4 -104 | 41 |

| | | |
|-----------------------------------|------------|------|
| K⁺ | 115 – 2.34 | 956 |
| Ca⁺⁺ | 6,9 – 114 | 26 |
| Mg⁺⁺ | 2,6 – 59 | 20 |
| Cl⁻ | 27 – 2.24 | 1.08 |
| SO₄⁻ | 2,5 – 314 | 23 |
| Na⁺ | 25 - 294 | 137 |

Fuente: (Baixauli Soria, Aguilar Oliver. 2002)

Cuadro A4. Cultivares de tomate en el salvador

| Variedad | Días madures relativa | Habito de crecimiento | Forma de fruto | Peso prom. De fruto (g) | Resistencia o tolerancia a enfermedades | Otras características |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|---|---|
| Polinización abierta | | | | | | |
| Santa clara | 90 | Indeterminado | Globoso | 60 | V, F1, S | |
| Butte | 105 | Determinado | Redondo | 68 | V, F1, A | Resistente al transporte |
| Peto 98 | 95 | Determinado | Poco redondo | 70 | ASC, F1 F2, ST | 4.8 – 5.8° brix |
| Híbridos | | | | | | |
| Gem pride | 90 | Determinado | Redondo | 85 | V, F1, F2, ASC | Susceptible a tizonas y marchitez bacterial |
| Trynity pride | 92 | Indeterminado | t. roma | 85 | F1, F2, MB, To MV | Tolerancia a marchites bacterial |
| Gem Star | 100 | Determinado | Redondo | 114 | V1, F1, F2 | |
| Heat Master | 99 | Determinado | Redondo | 200 | V, F1, F2, N, ASC | Tolerante a T° arriba de los 80° C |
| Maya | 93 | Determinado | Blocoso | 70 | V, F1, F2, ASC, N, MB | |
| Tolstoi | 85 | Indeterminado | Redondo | 100 | F1, V1, Mosaico | Recomendado para altitudes de 600 a 2000 msnm |
| Sheriff | 60 | Determinado | Poco | 110 | V, F1, F2, N | Se adapta a los 200 – 1000 |

| | | | | | | |
|---|--|--|---------|-----------------------------------|--|------|
| | | | redondo | | | msnm |
| ASC Cáncer del tallo por alternaría sp | | | | V Verticilium | | |
| F1 Fusarium de la raza 1 | | | | ST Stemphylium | | |
| F2 Fusarium de la raza 2 | | | | ToMV Mosaico del virus del tomate | | |
| MB Marchitez bacteriana (algunos tipos) | | | | N Nematodos | | |

Fuente: Perez et. Al. 2010

Cuadro A5. Elementos esenciales para la mayoría de las plantas.

| Elemento | Símbolo | Forma disponible | Peso atómico | Ppm | Concentración en tejido seco |
|-----------------------|---------|---|--------------|---------|------------------------------|
| Hidrogeno | H | H ₂ O | 1,01 | 60.000 | 6 |
| Carbono | C | CO ₂ | 12,01 | 450.000 | 45 |
| Oxigeno | O | O ₂ H ₂ O | 16,00 | 450.000 | 45 |
| Macroelementos | | | | | |
| Nitrógeno | N | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ | 14,01 | 15.000 | 1,5 |
| Potasio | K | K ⁺ | 39,10 | 10.000 | 1,0 |
| Calcio | Ca | Ca ⁺⁺ | 40,08 | 5.000 | 0,5 |
| Magnesio | Mg | Mg ⁺⁺ | 24,32 | 2.000 | 0,2 |
| Fosforo | P | H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁼ | 30,98 | 2.000 | 0,2 |
| Azufre | S | SO ₄ ⁼ | 32,07 | 1.000 | 0,1 |
| Microelementos | | | | | |
| Cloro | Cl | Cl ⁻ | 35,46 | 100 | 0,01 |
| Boro | B | BO ₃ ⁼ , B ₄ O ₇ ⁼ | 10,82 | 20 | 0,002 |
| Hierro | Fe | Fe ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺ | 55,85 | 100 | 0,01 |
| Manganeso | Mn | Mn ⁺⁺ | 54,94 | 50 | 0,005 |

| | | | | | |
|-----------|----|------------------------------------|-------|-----|---------|
| Zinc | Zn | Zn ⁺⁺ | 65,38 | 20 | 0,002 |
| Cobre | Cu | Cu ⁺⁺ , Cu ⁺ | 63,54 | 6 | 0.0006 |
| Molibdeno | Mo | MoO ₄ ⁻ | 95,95 | 0,1 | 0,00001 |

Fuente: Resh (2001)

Cuadro A. 6. Sales inorgánicas disponibles en el mercado

| Nombre comercial | Formula química | Nombre comercial | Formula química |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Fosfato monopotásico Map | KH ₂ PO ₄ | Sulfato de magnesio | (SO ₄ Mg). |
| Sulfato ferroso | (SO ₄ Fe). | Nitrato de calcio | (NO ₃ Ca) ₂ . |
| Sulfato de manganeso | (SO ₄ Mn). | Ácido bórico. | H ₃ BO ₃ |
| Sulfato de cobre | (SO ₄ Cu). | Ácido sulfúrico. | H ₂ SO ₄ |
| Sulfato de zinc | (SO ₄ Zn). | Ácido fosfórico. | H ₃ PO ₄ |
| Nitrato de potasio | (NO ₃ K). | | |

Fuente: Barros, 1999.

Cuadro A. 7. Fórmula sencilla de solución nutritiva que contiene seis elementos básicos, para cien litros de agua (Barros, 1999).

| Compuesto | Formula | Cantidad |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------|
| Nitrato de Calcio | (NO ₃ Ca) ₂ | 118 g |
| Sulfato de Magnesio | (SO ₄ Mg) | 49 g |
| Fosfato Monopotásico | KH ₂ PO ₄ | 29 g |

Fuente: Barros, 1999.

Cuadro A.8. Solución nutritiva de ocho elementos para cien litros de agua (Barros, 1999).

| Compuesto | Formula | Cantidad |
|----------------------------|-----------------------------------|----------|
| Nitrato de Calcio | (NO ₃ Ca) ₂ | 85 g |
| Nitrato de potasio | (NO ₃ K) | 58 g |
| Sulfato de Magnesio | (SO ₄ Mg) | 42 g |

| | | |
|-----------------------------|--------------------------|------|
| Fosfato Monopotásico | KH_2PO_4 | 14 g |
|-----------------------------|--------------------------|------|

Fuente: Barros, 1999.

Cuadro A.9: solución hidropónica estándar para tomate (solución madre), en 1000 litros de agua por tanque.

| | Formula y nombre del fertilizante | Cantidad de fertilizante por 1000 lt de agua |
|-----------------|--|--|
| Tanque A | Nitrato de calcio | 72.5 Kg |
| | Fe – EDTA Quelato de Hierro | 1.54 Kg |
| | KNO_3 Nitrato de Potasio | 31.73 Kg |
| Tanque B | KNO_3 Nitrato de Potasio | 53.92 Kg |
| | KH_2PO_4 Monofosfato de Potasio | 11.8 Kg |
| | $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ Fosfato Monoamonico | 13.1 Kg |
| | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sulfato de Magnesio heptahidratado | 26.5 Kg |
| | $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sulfato de Manganeso monohidratado | 217 g |
| | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sulfato de Zinc heptahidratado | 89 g |
| | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sulfato de Cobre pentahidratado | 20 g |
| | H_3BO_3 ácido Bórico | 144 g |
| | Na_2MoO_4 molibdato de sodio | 13 g |
| Tanque C | Ácido nítrico | 33 l |

Fuente: CENTA-KOICA (2010).

Cuadro A.10. Contenido de nutriente en planta de tomate, función, movilidad dentro de la planta y síntomas de deficiencia.

| Nutriente | Función | Aspectos bioquímicos | Movilidad en planta | Síntomas de deficiencia |
|----------------|---|--|---------------------|--|
| N Nitrógeno | Incrementa el área foliar (hojas), aumenta el tamaño de la planta, Incrementa la tasa fotosintética. | Constituyente de Proteínas (enzimas, nucleoproteínas), aminoácidos, clorofila | Muy móvil | Clorosis, Amarillamiento en hojas viejas, o rojizo |
| P Fosforo | Estimula el desarrollo radicular, favorece una floración uniforme, importante en la formación de semillas. | Almacenamiento y transferencia de energía (ATP, ADP), constituyente de Ac. Nucleicos, fitina, fosfolípidos. | Muy móvil | Color verde oscuro de follaje, rojo o púrpura en hojas o pecíolos |
| K Potasio | Aumenta el tamaño de la fruta, aumenta el contenido de jugo (balance hídrico), mejora el contenido de grados Brix, mejora la resistencia a las sequias. | Translocación, apertura de estomas, balance de cationes y aniones, relación hídrica energética. Activador de enzimas. | Móvil | Hojas viejas clorosis y necrosis cerca de márgenes, clorosis internerval |
| S Azufre | Incrementa la síntesis de clorofila, uniformiza la maduración de frutos, aumenta la formación de aceites esenciales, mejora el sabor y aroma de los frutos. | Síntesis de AA y proteínas. Constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas. | Variable movilidad | Clorosis general, 1° en hojas Jóvenes |
| | Reduce la incidencia de la pudrición apical del | Mantenimiento de la membrana, división y | Inmóvil | Bitterpit en frutales, tomate, puntas |

| | | | | |
|-----------------|---|--|--------------------|--|
| Ca Calcio | fruto, mejora la resistencia al manejo post cosecha, incrementa el vigor de la planta (tolerancia a enfermedades) | elongación celular, balance catiónico y aniónico, osmoregulación. Activador Enzimático. | | quemadas de hojas. |
| Mg Magnesio | Incrementa la actividad fotosintética, mejora la translocación de azúcares al fruto, promueve el fósforo. | Constituyente de la clorofila, síntesis de proteínas, activa enzimas. Constituyente de clorofila, ribosomas. | Móvil | Clorosis internerval en hojas viejas |
| B Boro | Reduce el aborto de flores. Mejora la polinización. | Metabolismo de hidratos de C, RNA, DNA | Inmóvil | Muerte de puntos de crecimiento, hojas mal formadas, frutos deformes, pecíolos débiles |
| Fe Hierro | Mejora la síntesis de clorofila. Procesos redox. | Activa enzimas (citocromos). Producción de clorofila. Oxidoreducción en transporte electrónico. | Inmóvil | Clorosis internerval, |
| Mn Manganeso | | Activa enzimas, metabolismo de COOH-, en reacciones de fosforilación, constituyente de cloroplastos | Inmóvil | Clorosis internerval, necrosis. |
| Cu Cobre | Formación de polen y fertilización. | Síntesis de lignina, reacciones redox, | Variable movilidad | Muerte de hojas jóvenes, clorosis, lignificación irregular. |
| Zn Zinc | Disminuye el aborto de frutos. Mejora la actividad hormonal. | Metabolismo de auxinas, síntesis de nucleótidos, constituyente de enzimas. | Variable movilidad | Poco follaje, hojas arrosadas, clorosis moteado. |
| Mo Molibdeno | | Fijación de N, reducción del NO ₃ absorbido, activa nitrogenasa, nitrato reductasa. | Variable movilidad | Amarillamiento en coliflor. |
| Cl Cloro | Actúa como activador de enzimas para producción de oxígeno a partir del agua de la fotosíntesis | Función no clara, exceso perjudica a solanáceas | Móvil | |

Fuente: (Barbazán, 1998).

Cuadro A.11. Calidad del agua para irrigación en cultivos.

| Clasificación | Conductividad eléctrica (mmhos/cm ³) | Sólidos disueltos (mg/L) | Sodio % | Boro mg/L |
|----------------|--|--------------------------|---------|-------------|
| Excelente | ≤ 0.25 | ≤ 175 | ≤ 20 | ≤ 0.33 |
| Bueno | 0.25 – 0.75 | 175 – 525 | 20 – 40 | 0.33 – 0.67 |
| Permitido | 0.75 – 0.25 | 525 – 175 | 40 – 20 | 0.67 – 1.00 |
| Dudoso* | 2.0 – 3.0 | 1400 – 1200 | 60 – 80 | 1.00 – 1.25 |
| Inadecuado | ≥ 3.0 | ≥ 2100 | ≥ 80 | ≥ 1.25 |
| E: agua lluvia | 0.01 | 5 | | 0.01 |

*Dudoso: Por el riesgo que implica el uso de esta agua. Puede o no puede funcionar.

Fuente: CENTA –KOICA (2010), California Fertilizer Association (1995)

Cuadro A.12. Preparación de la solución madre.

| | Formula y nombre del fertilizante | Cantidad de fertilizante por 100 L de agua |
|-----------------|--|--|
| Tanque A | Nitrato de calcio | 7.25 Kg |
| | Fe – EDTA Quelato de Hierro | 0.154 Kg |
| | KNO ₃ Nitrato de Potasio | 8.56 Kg |
| | KH ₂ PO ₄ Monofosfato de Potasio | 1.18 Kg |
| | NH ₄ H ₂ PO ₄ Fosfato Monoamónico | 1.31 Kg |
| | MgSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Magnesio heptahidratado | 2.65 Kg |

| | | |
|-----------------|---|--------|
| | MnSO ₄ H ₂ O sulfato de Manganeso monohidratado | 21.7 g |
| | ZnSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Zinc heptahidratado | 8.9 g |
| | CuSO ₄ 5H ₂ O sulfato de Cobre pentahidratado | 2.0 g |
| | H ₃ BO ₃ ácido Bórico | 14.4 g |
| | Na ₂ MoO ₄ molibdato de sodio | 1.3 g |
| Tanque B | Ácido nítrico | 3.3 L |

Fuente: modificado de CENTA-KOICA.

Cuadro A 13. Programa de fertirriego en hidroponía.

| Edad de la planta en semanas | Ciclos de fertirriego | Tiempo para cada riego | Volumen de solución ciclo/caja* | Volumen de solución caja/día | Volumen de solución (l/día) (en 45 cajas) |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| 1 – 3 | 4 | 2 min | 100 ml | 400 ml | 9 |
| 4 – 8 | 4 | 3 min | 150 ml | 600 ml | 13.5 |
| 8 – 12 | 8 | 4 min | 200 ml | 1600 ml | 72 |

*cada caja contiene dos plantas.

Fuente: Modificada de CENTA-KOICA

Cuadro A14. Estructura del análisis de varianza

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F calculada |
|-------------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|-------------------------|
| Tratamientos | ab – 1 | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{ij}}{n} - FC$ | $\frac{S.C.TRAT.}{(ab - 1)}$ | $\frac{C.M.TRAT.}{CME}$ |
| Factor A (fuentes de fertilización) | a – 1 | $\sum_{i=1}^a \frac{Y^2_{i.}}{bn} - FC$ | $\frac{S.C.A.}{(a - 1)}$ | $\frac{C.M.A.}{CME}$ |
| Factor B (sustratos) | b – 1 | $\sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{.j}}{an} - FC$ | $\frac{S.C.B.}{(b - 1)}$ | $\frac{C.M.B.}{CME}$ |
| Interacción A x B | (a – 1)(b – 1) | SC Subtotal – (S.C.A. + S.C.B.) + S.C. REP | $\frac{S.C.AxB}{(a - 1)(b - 1)}$ | $\frac{C.M.AxB}{CME}$ |

| Error Experimental | $(ab-1)(n-1)$ | Diferencia | $\frac{S.C.ERROR}{(AB-1)(n-1)}$ | |
|--------------------|---------------|---|---------------------------------|--|
| Total | $abn-1$ | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y^2_{ijk} - FC$ | | |

Fuente: Nuila de Mejía (1990)

Cuadro A15. Medias de la variable altura de la planta.

| Repeticiones | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|-----------|
| Tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 2.08 | 2.05 | 2.13 | 1.87 | 2.24 | 2.07 |
| T2 | 1.97 | 2.06 | 2.12 | 2.05 | 2.29 | 2.10 |
| T3 | 2.45 | 2.42 | 2.32 | 2.40 | 2.33 | 2.38 |
| T4 | 1.83 | 1.52 | 1.94 | 1.73 | 1.70 | 1.74 |
| T5 | 1.71 | 1.60 | 1.59 | 1.95 | 1.84 | 1.74 |
| T6 | 1.47 | 1.57 | 1.67 | 1.70 | 1.61 | 1.60 |

Fuente: propia

Cuadro A16. Análisis de Varianza altura de planta (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------|------|----|------|--------|---------|
| Modelo (tratamientos) | 2.16 | 5 | 0.43 | 27.94 | <0.0001 |
| Fuente (fertilizantes) | 1.80 | 1 | 1.80 | 116.42 | <0.0001 |
| Sustratos | 0.04 | 2 | 0.02 | 1.41 | 0.2638 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 0.32 | 2 | 0.16 | 10.23 | 0.0006 |
| Error | 0.37 | 24 | 0.02 | | |
| Total | 2.53 | 29 | | | |

Cuadro A17. Contrastes de altura de planta.

| Fuente*Sustratos | Contraste | E.E. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|------|------|----|------|--------|---------|
| Contraste1 | 0.80 | 0.30 | 0.11 | 1 | 0.11 | 6.93 | 0.0146 |
| Contraste2 | 0.92 | 0.25 | 0.21 | 1 | 0.21 | 13.74 | 0.0011 |
| Contraste3 | 2.07 | 0.19 | 1.78 | 1 | 1.78 | 114.98 | <0.0001 |
| Contraste4 | 0.15 | 0.14 | 0.02 | 1 | 0.02 | 1.15 | 0.2945 |
| Contraste5 | 0.13 | 0.08 | 0.04 | 1 | 0.04 | 2.90 | 0.1014 |
| Total | | | 2.16 | 5 | 0.43 | 27.94 | <0.0001 |

Cuadro A18. Coeficientes de los contrastes de la altura de planta.

| Fuente*Sustratos | Ct.1 | Ct.2 | Ct.3 | Ct.4 | Ct.5 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1 | 5.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| T2 | -1.00 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| T3 | -1.00 | -1.00 | 3.00 | 0.00 | 0.00 |
| T4 | -1.00 | -1.00 | -1.00 | 2.00 | 0.00 |
| T5 | -1.00 | -1.00 | -1.00 | -1.00 | 1.00 |
| T6 | -1.00 | -1.00 | -1.00 | -1.00 | -1.00 |

Cuadro A19. Medias de la variable diámetro de tallos.

| Tratamientos | Repeticiones | | | | | X̄ |
|--------------|--------------|------|------|------|------|------|
| | RI | RII | RIII | RIV | RV | |
| T1 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| T2 | 1.16 | 1.12 | 1.10 | 1.02 | 1.17 | 1.11 |
| T3 | 1.00 | 1.12 | 1.13 | 1.15 | 1.12 | 1.10 |
| T4 | 1.06 | 1.10 | 1.17 | 1.12 | 1.15 | 1.12 |
| T5 | 1.32 | 0.95 | 1.02 | 1.00 | 1.12 | 1.08 |
| T6 | 1.02 | 1.10 | 1.17 | 1.12 | 1.14 | 1.11 |

Fuente: propia.

Cuadro A 20. Análisis de varianza del diámetro de tallos (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo (tratamientos). | 0.04 | 5 | 0.01 | 1.46 | 0.2382 |

| | | | | | |
|------------------------|-------------|-----------|---------|------|--------|
| Fuente (fertilizantes) | 0.01 | 1 | 0.01 | 1.67 | 0.2088 |
| Sustratos | 0.02 | 2 | 0.01 | 2.00 | 0.1573 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 0.01 | 2 | 4.6E-03 | 0.83 | 0.4494 |
| Error | 0.13 | 24 | 0.01 | | |
| <u>Total</u> | <u>0.18</u> | <u>29</u> | | | |

Cuadro A 21. Medias de la variable número de flores por planta

| Repeticiones | | | | | | |
|--------------|-----|-----|------|-----|----|-----------|
| Tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 62 | 97 | 79 | 48 | 60 | 69.20 |
| T2 | 116 | 71 | 63 | 76 | 72 | 79.60 |
| T3 | 94 | 84 | 53 | 74 | 49 | 70.80 |
| T4 | 58 | 49 | 73 | 52 | 47 | 55.80 |
| T5 | 66 | 61 | 74 | 54 | 73 | 65.60 |
| T6 | 52 | 61 | 48 | 46 | 61 | 53.60 |

Fuente: propia

Cuadro A22. Análisis de varianza de número de flores por planta (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo (tratamientos). | 2379.37 | 5 | 475.87 | 2.03 | 0.1109 |
| Fuente (fertilizantes) | 1657.63 | 1 | 1657.63 | 7.06 | 0.0138 |
| Sustratos | 700.87 | 2 | 350.43 | 1.49 | 0.2450 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 20.87 | 2 | 10.43 | 0.04 | 0.9566 |
| Error | 5636.00 | 24 | 234.83 | | |
| <u>Total</u> | <u>8015.37</u> | <u>29</u> | | | |

Cuadro A 23. Contrastes del número de flores por planta

| <u>Fuente</u> | <u>Contraste</u> | <u>E.E.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|---------------|------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Contraste1 | 14.87 | 5.60 | 1657.63 | 1 | 1657.63 | 7.06 | 0.0138 |

Total 1657.63 1 1657.63 7.06 0.0138

Cuadro A24. Coeficientes de los contrastes número de flores por planta

Fuente Ct.1

1 1.00
2 -1.00

Cuadro A25. Medias de la variable número de frutos por racimo.

| Repeticiones | | | | | | |
|--------------|----|-----|------|-----|----|-----------|
| Tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 5 | 6 | 6 | 4 | 5 | 5.20 |
| T2 | 9 | 7 | 5 | 6 | 6 | 6.60 |
| T3 | 6 | 7 | 4 | 5 | 5 | 6.60 |
| T4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3.80 |
| T5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4.40 |
| T6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4.00 |

Fuente: propia

Cuadro A26. Análisis de Varianza del número de frutos por racimo (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------|-------|----|-------|-------|---------|
| Modelo (tratamientos). | 27.50 | 5 | 5.50 | 6.23 | 0.0008 |
| Fuente (fertilizantes) | 20.83 | 1 | 20.83 | 23.58 | 0.0001 |
| Sustratos | 5.60 | 2 | 2.80 | 3.17 | 0.0600 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 1.07 | 2 | 0.53 | 0.60 | 0.5548 |
| Error | 21.20 | 24 | 0.88 | | |
| Total | 48.70 | 29 | | | |

Cuadro A 27. Contrastes del número de frutos por racimo (fuentes)

| Fuente | Contraste | E.E. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|-----------|------|-------|----|-------|-------|---------|
| Contraste1 | 1.67 | 0.34 | 20.83 | 1 | 20.83 | 24.33 | <0.0001 |

Total 20.83 1 20.83 24.33 <0.0001

Cuadro A28. Coeficientes de los contrastes del número de frutos por racimo (fuentes)

Fuente Ct.1

1 1.00

2 -1.00

Cuadro A29. Contrastes del número de frutos por racimo (sustratos)

Sustratos Contraste E.E. SC gl CM F p-valor

Contraste1 -1.20 0.72 2.40 1 2.40 2.80 0.1061

Contraste2 0.80 0.41 3.20 1 3.20 3.74 0.0642

Total 5.60 2 2.80 3.27 0.0541

Cuadro A30. Coeficientes de los contrastes del número de frutos por racimo (sustratos)

Sustratos Ct.1 Ct.2

1 2.00 0.00

2 -1.00 1.00

3 -1.00 -1.00

Cuadro A31. Medias de la variable diámetro de frutos (cm).

| Repeticiones | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|-----------|
| Tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 4.33 | 5.6 | 5.93 | 5.04 | 5.62 | 5.30 |
| T2 | 5.54 | 6.04 | 5.98 | 5.98 | 6.06 | 5.90 |
| T3 | 5.85 | 6.7 | 6.05 | 6.21 | 6.32 | 6.23 |
| T4 | 4.9 | 4.7 | 4.95 | 4.75 | 4.9 | 4.84 |
| T5 | 5.15 | 5.08 | 5 | 5.15 | 5.1 | 5.10 |
| T6 | 4.75 | 5.5 | 5.2 | 6.1 | 5.9 | 5.49 |

Fuente: propia

Cuadro A 32. Análisis de Varianza del diámetro de frutos (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo (tratamientos). | 6.61 | 5 | 1.32 | 9.27 | 0.0001 |
| Fuente (fertilizantes) | 3.35 | 1 | 3.35 | 23.48 | 0.0001 |
| Sustratos | 3.10 | 2 | 1.55 | 10.87 | 0.0004 |

| | | | | | |
|------------------------|--------------|-----------|------|------|--------|
| Fuente*Sustratos (A*B) | 0.16 | 2 | 0.08 | 0.57 | 0.5742 |
| Error | 3.42 | 24 | 0.14 | | |
| <u>Total</u> | <u>10.03</u> | <u>29</u> | | | |

Cuadro A33. Contrastes del diámetro de frutos (fuentes)

| <u>Fuente</u> | <u>Contraste</u> | <u>E.E.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|---------------|------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|--------------|-------------------|
| Contraste1 | 0.67 | 0.14 | 3.35 | 1 | 3.35 | 24.29 | <0.0001 |
| <u>Total</u> | | | <u>3.35</u> | <u>1</u> | <u>3.35</u> | <u>24.29</u> | <u><0.0001</u> |

Cuadro A34. Coeficientes de los contrastes diámetro de frutos (fuentes)

| <u>Fuente</u> | <u>Ct.1</u> |
|---------------|-------------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | -1.00 |

Cuadro A35. Contrastes del diámetro de frutos (sustratos)

| <u>Sustratos</u> | <u>Contraste</u> | <u>E.E.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------|------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|--------------|----------------|
| Contraste1 | -1.21 | 0.29 | 2.46 | 1 | 2.46 | 17.83 | 0.0003 |
| Contraste2 | -0.36 | 0.17 | 0.64 | 1 | 0.64 | 4.65 | 0.0405 |
| <u>Total</u> | | | <u>3.10</u> | <u>2</u> | <u>1.55</u> | <u>11.24</u> | <u>0.0003</u> |

Cuadro A36. Coeficientes de los contrastes diámetro de frutos (sustratos)

| <u>Sustratos</u> | <u>Ct.1</u> | <u>Ct.2</u> |
|------------------|-------------|-------------|
| 1 | 2.00 | 0.00 |
| 2 | -1.00 | 1.00 |
| 3 | -1.00 | -1.00 |

Cuadro A37. Medias de la variable peso del fruto (g).

| Tratamientos | Repeticiones | | | | | Ā |
|---------------------|---------------------|------------|-------------|------------|-----------|----------|
| | RI | RII | RIII | RIV | RV | |
| T1 | 95.85 | 87.71 | 108.25 | 109.5 | 99.11 | 100.08 |
| T2 | 105.73 | 73.42 | 103.99 | 112.96 | 107.8 | 100.78 |
| T3 | 111.37 | 101.67 | 128.46 | 113.35 | 116.98 | 114.37 |
| T4 | 88.9 | 79.7 | 90.1 | 95.25 | 101.12 | 91.01 |

| | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| T5 | 92.4 | 91.61 | 88.76 | 94.23 | 92.62 | 91.93 |
| T6 | 82.45 | 99.74 | 95.03 | 110.66 | 103.15 | 98.21 |

Fuente: propia

Cuadro A38. Análisis de Varianza del peso del fruto (SC tipo III).

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo (tratamientos). | 1785.3 | 5 | 357.07 | 3.47 | 0.0175 |
| Fuente (fertilizantes) | 997.66 | 1 | 997.66 | 9.71 | 0.0049 |
| Sustratos | 584.12 | 2 | 292.06 | 2.84 | 0.0789 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 109.57 | 2 | 54.79 | 0.53 | 0.5939 |
| Error | 2364.20 | 23 | 102.79 | | |
| <u>Total</u> | <u>4149.56</u> | <u>28</u> | | | |

Cuadro A39. Contrastes del peso del fruto (fuentes)

| <u>Fuente</u> | <u>Contraste</u> | <u>E.E.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|---------------|------------------|-------------|---------------|-----------|---------------|-------------|----------------|
| Contraste1 | 11.56 | 3.70 | 964.30 | 1 | 964.30 | 9.75 | 0.0045 |
| <u>Total</u> | | | <u>964.30</u> | <u>1</u> | <u>964.30</u> | <u>9.75</u> | <u>0.0045</u> |

Cuadro A40. Coeficientes de los contrastes del peso del fruto (fuentes)

| <u>Fuente</u> | <u>Ct.1</u> |
|---------------|-------------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | -1.00 |

Cuadro A41. Contrastes del peso del fruto (sustratos)

| <u>Sustratos</u> | <u>Contraste</u> | <u>E.E.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------|------------------|-------------|---------------|-----------|---------------|-------------|----------------|
| Contraste1 | -11.25 | 7.78 | 206.98 | 1 | 206.98 | 2.09 | 0.1605 |
| Contraste2 | -9.64 | 4.58 | 438.98 | 1 | 438.98 | 4.44 | 0.0454 |
| <u>Total</u> | | | <u>627.27</u> | <u>2</u> | <u>313.63</u> | <u>3.17</u> | <u>0.0593</u> |

Cuadro A42. Coeficientes de los contrastes del peso del fruto (sustratos)

| Sustratos | Ct.1 | Ct.2 |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 2.00 | 0.00 |
| 2 | -1.00 | 1.00 |
| 3 | -1.00 | -1.00 |

Cuadro A43. Medias de la variable grados brix.

| Grados brix de fruto | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|-----------|
| Tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 5.35 | 5.30 | 5.15 | 5.0 | 5.45 | 5.25 |
| T2 | 5.20 | 5.25 | 5.15 | 5.10 | 5.40 | 5.22 |
| T3 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.15 | 4.9 | 5.07 |
| T4 | 4.55 | 4.75 | 4.55 | 4.50 | 4.70 | 4.81 |
| T5 | 4.85 | 4.75 | 4.75 | 4.40 | 4.70 | 4.69 |
| T6 | 4.70 | 4.90 | 4.50 | 4.60 | 4.55 | 4.65 |

Fuente: propia.

Tabla A44. Análisis de Varianza de los grados brix (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo (tratamientos) | 1.77 | 5 | 0.35 | 8.03 | 0.0001 |
| Fuente (fertilizantes) | 1.61 | 1 | 1.61 | 36.45 | <0.0001 |
| Sustratos | 0.15 | 2 | 0.07 | 1.64 | 0.2143 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 0.02 | 2 | 0.01 | 0.19 | 0.8247 |
| Error | 1.06 | 24 | 0.04 | | |
| Total | 2.83 | 29 | | | |

Cuadro A45. Contrastes de los grados brix

| Fuente | Contraste | E.E. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|-----------|------|----|----|----|---|---------|
|--------|-----------|------|----|----|----|---|---------|

| | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|---|------|-------|---------|
| Contraste1 | 0.46 | 0.07 | 1.61 | 1 | 1.61 | 38.86 | <0.0001 |
| <u>Total</u> | | | 1.61 | 1 | 1.61 | 38.86 | <0.0001 |

Cuadro A46. Coeficientes de los contrastes de los grados brix

Fuente Ct.1

| | |
|----------|--------------|
| 1 | 1.00 |
| <u>2</u> | <u>-1.00</u> |

Cuadro A47. Medias de la variable dureza de frutos.

| Dureza de frutos () | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|-----------|
| tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 3.35 | 3.45 | 3.30 | 3.49 | 3.49 | 3.41 |
| T2 | 3.34 | 3.44 | 3.41 | 3.38 | 3.36 | 3.39 |
| T3 | 3.40 | 3.38 | 3.46 | 3.41 | 3.44 | 3.42 |
| T4 | 3.43 | 3.42 | 3.52 | 3.49 | 3.37 | 3.44 |
| T5 | 3.46 | 3.31 | 3.37 | 3.47 | 3.41 | 3.40 |
| T6 | 3.52 | 3.41 | 3.40 | 3.38 | 3.44 | 3.43 |

Fuente: propia

Cuadro A48. Análisis de la Varianza de la dureza de frutos (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo (tratamientos). | 0.01 | 5 | 2.1E-03 | 0.57 | 0.7252 |
| Fuente (fertilizantes) | 3.3E-03 | 1 | 3.3E-03 | 0.91 | 0.3490 |
| Sustratos | 0.01 | 2 | 3.2E-03 | 0.89 | 0.4254 |
| Fuente*Sustratos (A*b) | 5.3E-04 | 2 | 2.6E-04 | 0.07 | 0.9303 |
| Error | 0.09 | 24 | 3.6E-03 | | |
| <u>Total</u> | <u>0.10</u> | <u>29</u> | | | |

Cuadro A49. Medias de la variable rendimiento de frutos por planta.

| Rendimiento de frutos por planta | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|------|-----|----|-----------|
| tratamientos | RI | RII | RIII | RIV | RV | \bar{X} |
| T1 | 42 | 75 | 68 | 44 | 46 | 55.00 |
| T2 | 100 | 61 | 53 | 73 | 66 | 70.60 |
| T3 | 73 | 71 | 47 | 69 | 47 | 62.60 |
| T4 | 36 | 30 | 47 | 35 | 34 | 36.40 |
| T5 | 47 | 51 | 48 | 40 | 59 | 49.00 |
| T6 | 33 | 40 | 35 | 29 | 52 | 37.80 |

Fuente: propia

Cuadro A50. Análisis de la Varianza del rendimiento de frutos por planta (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo (tratamientos) | 4606.30 | 5 | 921.26 | 5.87 | 0.0011 |
| Fuente (fertilizantes) | 3520.83 | 1 | 3520.83 | 22.44 | 0.0001 |
| Sustratos | 1037.40 | 2 | 518.70 | 3.31 | 0.0540 |
| Fuente*Sustratos (A*B) | 48.07 | 2 | 24.03 | 0.15 | 0.8588 |
| Error | 3766.40 | 24 | 156.93 | | |
| Total | 8372.70 | 29 | | | |

Cuadro A51. Contrastes del rendimiento de frutos por planta (fuentes)

| Fuente | Contraste | E.E. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|-----------|------|---------|----|---------|-------|---------|
| Contraste1 | 21.67 | 4.42 | 3520.83 | 1 | 3520.83 | 24.00 | <0.0001 |
| Total | | | 3520.83 | 1 | 3520.83 | 24.00 | <0.0001 |

Cuadro A 52. Coeficientes de los contrastes del rendimiento de frutos por planta (fuentes)

| Fuente | Ct.1 |
|--------|-------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | -1.00 |

Cuadro A 53. Contrastes del rendimiento de frutos por planta (sustratos)

| Sustratos | Contraste | E.E. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|-----------|------|---------|----|--------|------|---------|
| Contraste1 | -18.60 | 9.38 | 576.60 | 1 | 576.60 | 3.93 | 0.0581 |
| Contraste2 | 9.60 | 5.42 | 460.80 | 1 | 460.80 | 3.14 | 0.0881 |
| Total | | | 1037.40 | 2 | 518.70 | 3.54 | 0.0438 |

Cuadro A54. Coeficientes de los contrastes del rendimiento de frutos por planta (sustratos)

| Sustratos | Ct.1 | Ct.2 |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 2.00 | 0.00 |
| 2 | -1.00 | 1.00 |
| 3 | -1.00 | -1.00 |

Cuadro A55. Fenología del cultivo de tomate, variedad Marglobe de crecimiento indeterminado en hidroponía.

| Fechas | Fase Fenológica | Tiempo (días) |
|----------------------------------|-----------------|---------------|
| 16 de octubre de 2014 | Emergencia | 5 a 6 |
| 03 de noviembre de 2014 | Plántula | 12 a 13 |
| 18 de noviembre de 2014 | Vegetativa | 16 - 17 |
| 06 de diciembre de 2014 | Floración | 25 - 30 |
| 14 de diciembre de 2014 | Fructificación | 20 - 25 |
| 12 de enero - 28 de marzo | Cosecha | 72 - 73 |

Fuente: propia



Figura A.1. Comportamiento de los Precios en el cultivo de tomate, anualmente

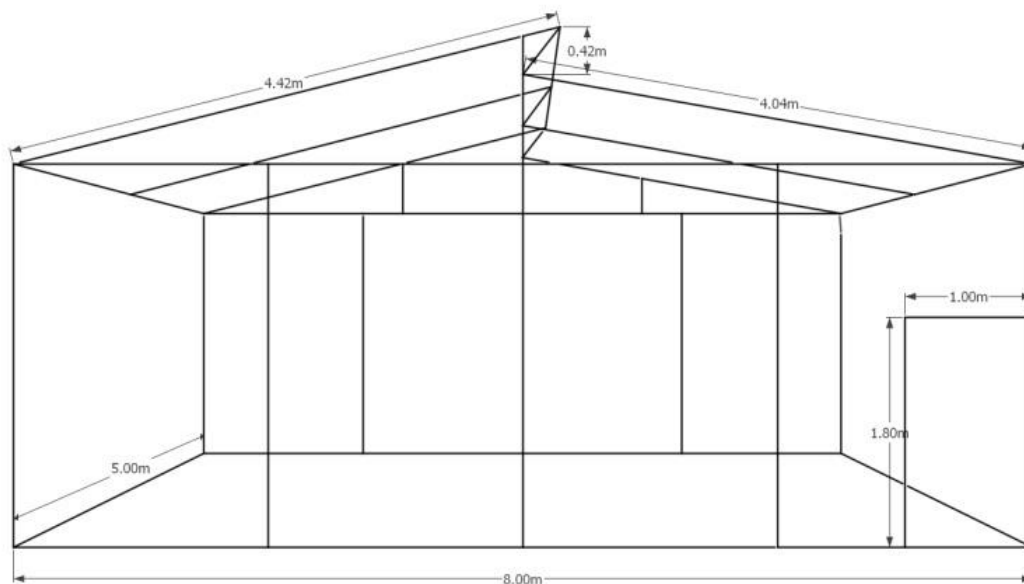


Figura A.2. Vista lateral de invernadero

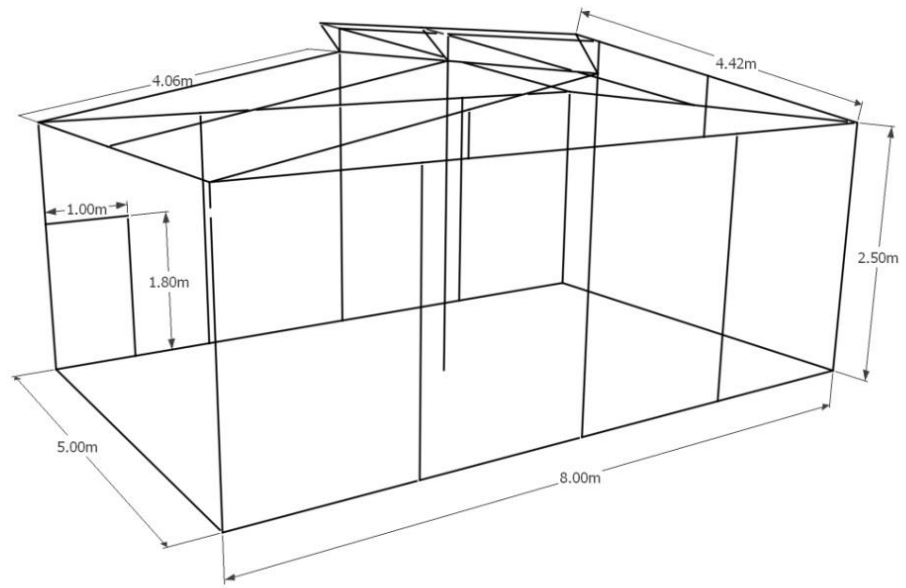


Figura A.3. Vista frontal de invernadero



Figura A.4. a) selección del terreno, b) elaboración de infraestructura

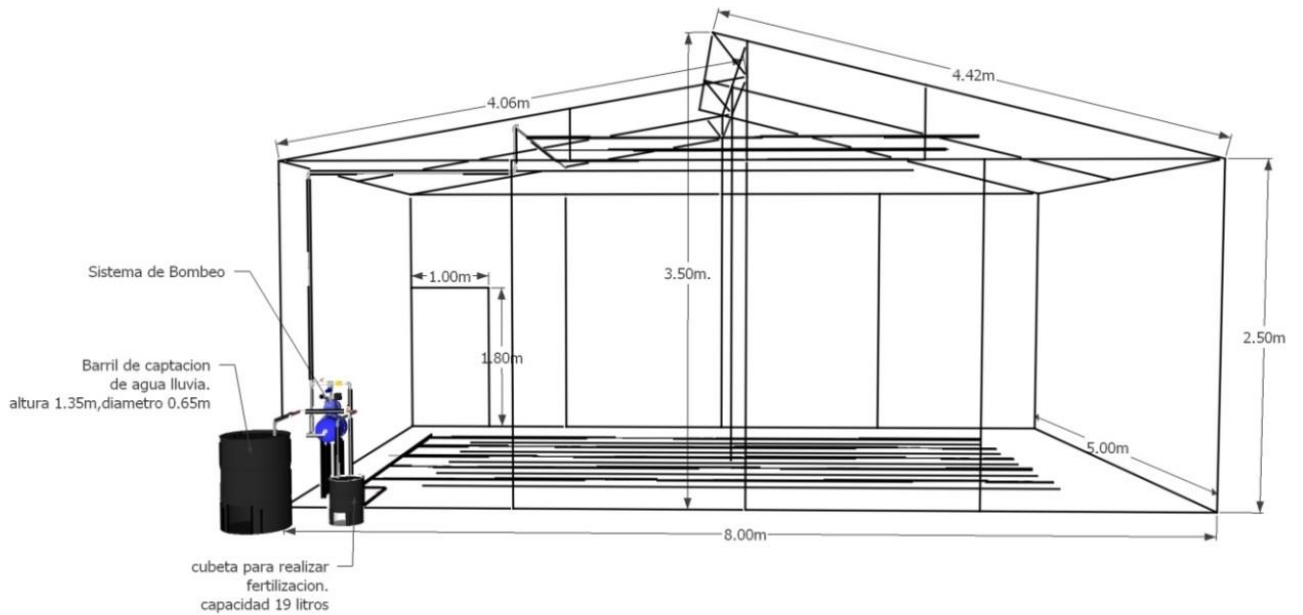


Figura A.5. Vista frontal del invernadero con sistema de riego por goteo

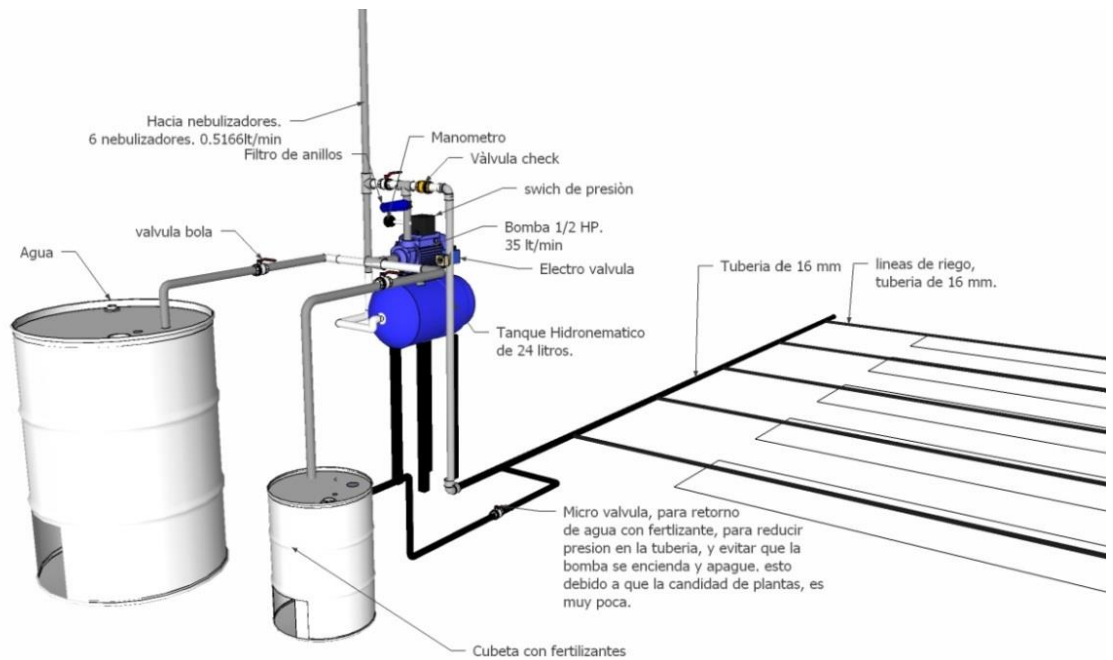


Figura A.6. Sistema de riego por goteo

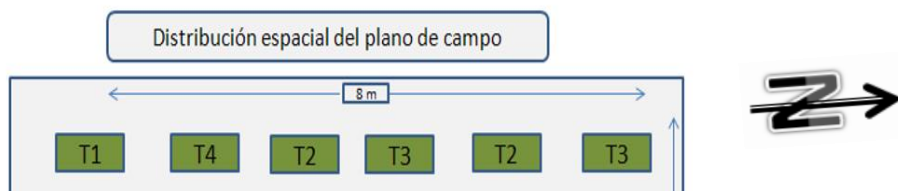


Figura A.7. Distribución espacial de los tratamientos en campo

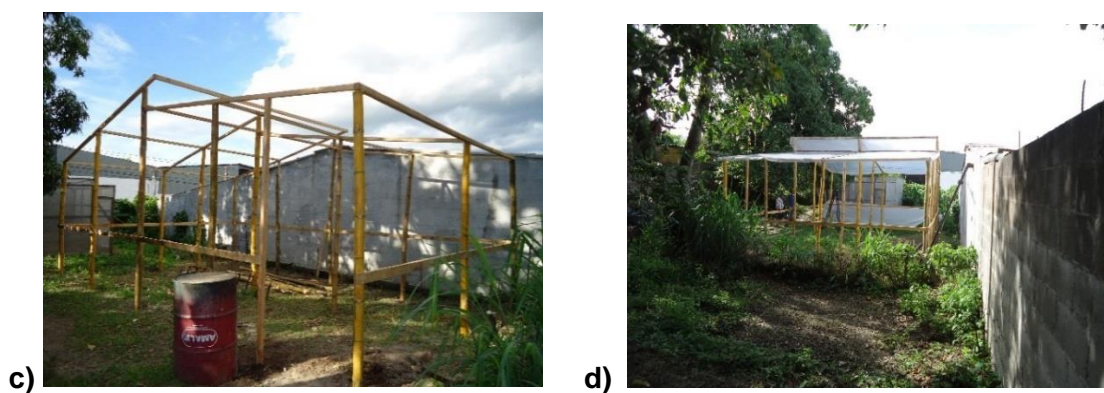


Figura A.8. c) elaboración de infraestructura, d) colocación de plástico U.V. en la parte superior.



Figura A.9. Recubrimiento laterales del invernadero con maya agril. (e, f)

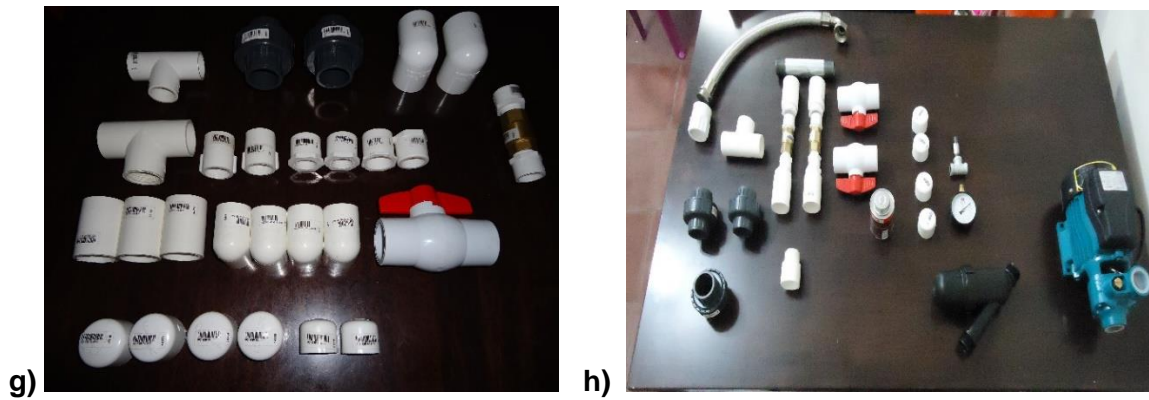


Figura A.10. Materiales que se emplearon para la construcción del sistema de riego y aspersion.(g, h)



Figura A.11. i) Materiales que se utilizaron para la intalacion del sistema de riego.



j)

Figura A.12. j) tamizado



k)

k) preparacion de sustratos.



l)



m)

Figura A.13 Llenado de cajas con las diferentes medidas granulometricas de los sustratos de escoria volcanica. (l, m)



n)



ñ)

Figura A.14. n) llenado de cajas con sustrato fibra de coco, ñ) llenado de cajas con sustrato de piedra pomez.

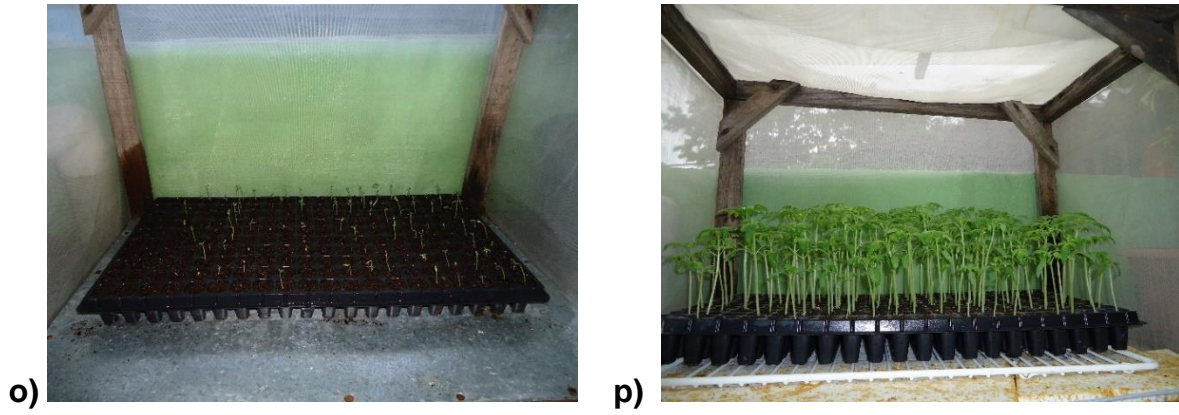


Figura A.15. o) emergencia de las plantas, p) plantines listos para el trasplante.

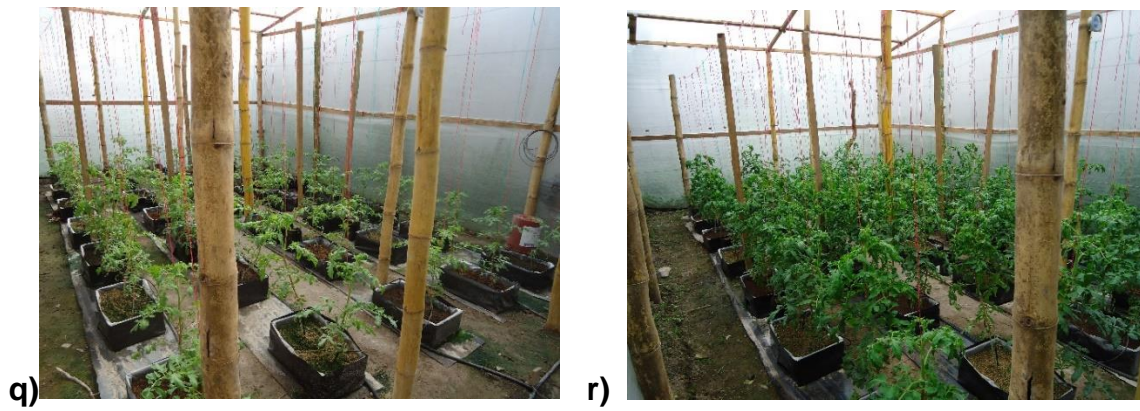


Figura A.16. E etapas de la fase vegetativa de las plantas de tomate(q,r)



Figura A.17. s) fase de florasion

t) fase de fractificacion

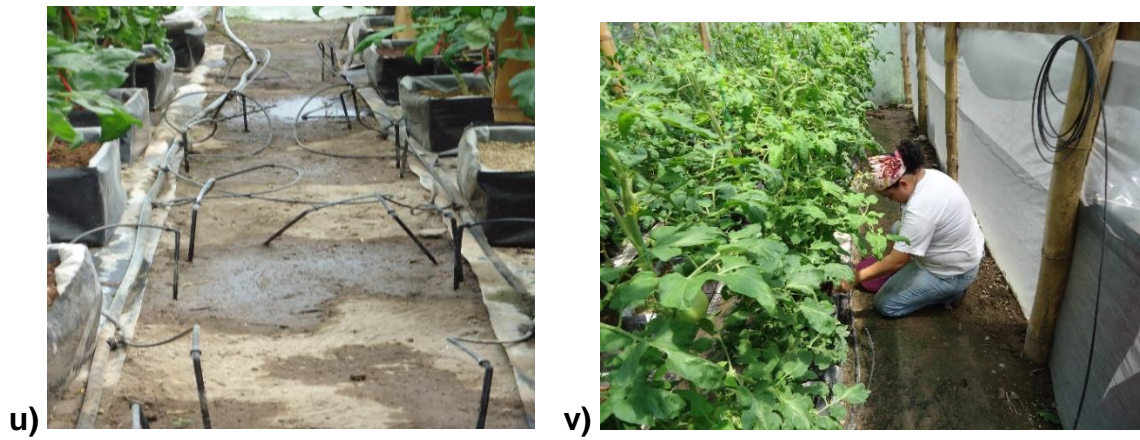


Figura A.18. Limpieza del sistema de riego (u, v)



Figura A.19. x) pesado de las sales minerales. y) Preparación de la solución madre.

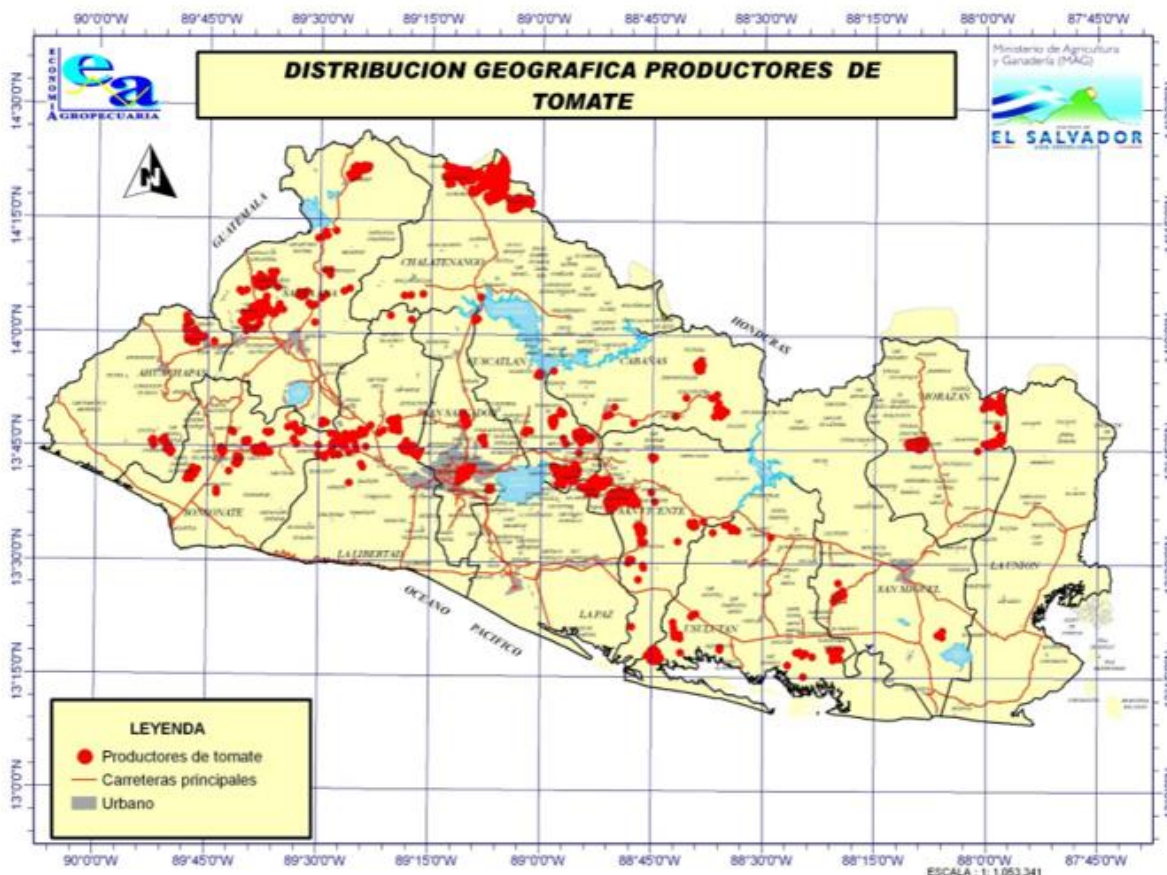


Figura A.20. Mapa de áreas cultivadas de tomate en el salvador (2012)

Detalle y cálculo de los insumos que contiene cada tratamiento.

Piedra pómez.

El precio del saco de piedras pómez fue de \$1.00, cada saco tenía un peso de 20 libras y el total de sacos seis

Se utilizaron tres sacos para el T1 y tres sacos para el T4; con un costo por tratamiento de \$ 3.00 por cada uno

El número de cajas que se utilizaron con sustrato piedra pómez fueron 10, con un total de 12 libras por caja.

T1. Piedra pómez y sales minerales.

Piedra pómez.....\$ 3.00

| | |
|----------------------|----------------|
| Sales minerales..... | <u>\$ 1.11</u> |
| Total | 4.11 |

T4. Piedra pómez y blaukorn.

| | |
|-------------------|----------------|
| Piedra pómez..... | \$ 3.00 |
| Blaukorn..... | <u>\$ 2.10</u> |
| Total | 5.10 |

Escoria volcánica.

El precio de la cubeta de escoria volcánica roja fue de \$3.00, cada cubeta tenía un peso de 25 libras y el total de cubetas siete

Se utilizaron tres punto cinco cubetas para el T2 y tres punto cinco cubetas para el T5; con un costo por tratamiento de \$ 10.50 por cada uno

El número de cajas que se utilizaron con sustrato escoria volcánica roja fueron 10, con un total de 17.5 libras por caja.

T2. Escoria volcánica y sales minerales.

| | |
|------------------------|----------------|
| Escoria volcánica..... | \$10.50 |
| Sales minerales..... | <u>\$ 1.11</u> |
| Total | 11.61 |

T5. Escoria volcánica y blaukorn.

| | |
|------------------------|----------------|
| Escoria volcánica..... | \$10.50 |
| Blaukorn..... | <u>\$ 2.10</u> |
| Total | 12.60 |

Fibra de coco.

El precio del saco de fibra de coco fue de \$9.00, cada saco tenía un peso de 25 libras y el total de sacos dos

Se utilizó un saco para el T3 y un saco para el T6; con un costo por tratamiento de \$ 9.00 por cada uno

El número de cajas que se utilizaron con sustrato fibra de coco fueron 10, con un total de cinco libras por caja.

T3. Fibra de coco y sales minerales.

| | |
|----------------------|----------------|
| Fibra de coco..... | \$ 9.00 |
| Sales minerales..... | <u>\$ 1.11</u> |
| Total | 10.11 |

T6. Fibra de coco y blaukorn.

| | |
|--------------------|----------------|
| Fibra de coco..... | \$ 9.00 |
| Blaukorn..... | <u>\$ 2.10</u> |
| Total | 11.10 |

Blaukorn.

La libra de fertilizante blaukorn tiene un costo de \$0.90 cts. /lb

Se utilizaran 191gr por caja, y el total de cajas a fertilizar es de 15; se necesitaran aproximadamente siete libras, con un costo por tratamiento de \$2.10

Sales minerales

Para conocer las cantidades necesarias de cada sal mineral para la elaboración de la solución madre es necesario saber la cantidad de litros que se quieran hacer. Los requerimientos de cada elemento se obtienen del Cuadro 12.

Elaboración para seis litros de solución madre

- Calculó de la cantidad de nitrato de potasio

| | |
|-------------------|----------------------------|
| 100L de agua..... | 8.56 kg nitrato de potasio |
| 6.00L | X |

$$X = 0.5136\text{kg} \quad 0.5136 \times 1000 = \underline{513.6\text{g}}$$

Se necesitan 513.6g de nitrato de potasio para la elaboración de seis litros de solución madre.

En base a las cantidades obtenidas según los cálculos se puede saber cuánto es el costo de cada sal mineral y de esta forma conocemos el costo total de las sales utilizadas para los seis litros de solución madre

| | |
|-----------|--------|
| 454g..... | \$1.29 |
| 513.6g | x |

X: \$1.45

- Calculo de la cantidad de nitrato de calcio

100L de agua..... 7.25 kg nitrato de calcio

6.00L X

$$X = 0.435\text{kg}$$

$$0.435 \times 1000 = \underline{435\text{g}}$$

Se necesitan 435g de nitrato de calcio para la elaboración de seis litros de solución madre.

454g..... \$0.55 X= 0.53ctv

435g x

De esta manera se calcularon todas las sales minerales que se necesitaban para la elaboración de los seis litros de solución madre y el costo.

A.56. Medidas de resumen del proyecto de investigación “Evaluación de dos fuentes de fertilización, utilizando tres sustratos sólidos, aplicando la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.)

| Fuente | Sustratos | Variable | n | Media | D.E. | Mín | Máx |
|--------|-----------|---------------|---|---------|--------|---------|---------|
| 1 | 1 | Altura | 5 | 2.07 | 0.14 | 1.87 | 2.24 |
| 1 | 1 | Diametro | 5 | 1.20 | 0.00 | 1.20 | 1.20 |
| 1 | 1 | Nflores | 5 | 69.20 | 19.07 | 48.00 | 97.00 |
| 1 | 1 | Nfrutos | 5 | 5.20 | 0.84 | 4.00 | 6.00 |
| 1 | 1 | Diafrutos | 5 | 5.30 | 0.63 | 4.33 | 5.93 |
| 1 | 1 | Pfrutos | 5 | 100.08 | 9.05 | 87.71 | 109.50 |
| 1 | 1 | Grbrix | 5 | 5.25 | 0.18 | 5.00 | 5.45 |
| 1 | 1 | Drfruto | 5 | 2620.49 | 516.75 | 1983.98 | 3118.98 |
| 1 | 1 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.41 | 0.09 | 3.30 | 3.49 |
| 1 | 1 | Renplanta | 5 | 55.00 | 15.33 | 42.00 | 75.00 |
| 1 | 2 | Altura | 5 | 2.10 | 0.12 | 1.97 | 2.29 |
| 1 | 2 | Diametro | 5 | 1.11 | 0.06 | 1.02 | 1.17 |
| 1 | 2 | Nflores | 5 | 79.60 | 20.89 | 63.00 | 116.00 |
| 1 | 2 | Nfrutos | 5 | 6.60 | 1.52 | 5.00 | 9.00 |
| 1 | 2 | Diafrutos | 5 | 5.90 | 0.21 | 5.54 | 6.06 |
| 1 | 2 | Pfrutos | 5 | 100.78 | 15.66 | 73.42 | 112.96 |
| 1 | 2 | Grbrix | 5 | 5.22 | 0.12 | 5.10 | 5.40 |
| 1 | 2 | Drfruto | 5 | 2436.89 | 226.29 | 2210.98 | 2768.48 |
| 1 | 2 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.39 | 0.04 | 3.34 | 3.44 |
| 1 | 2 | Renplanta | 5 | 70.60 | 17.98 | 53.00 | 100.00 |
| 1 | 3 | Altura | 5 | 2.38 | 0.06 | 2.32 | 2.45 |
| 1 | 3 | Diametro | 5 | 1.10 | 0.06 | 1.00 | 1.15 |
| 1 | 3 | Nflores | 5 | 70.80 | 19.46 | 49.00 | 94.00 |
| 1 | 3 | Nfrutos | 5 | 5.40 | 1.14 | 4.00 | 7.00 |
| 1 | 3 | Diafrutos | 5 | 6.23 | 0.32 | 5.85 | 6.70 |
| 1 | 3 | Pfrutos | 5 | 114.37 | 9.70 | 101.67 | 128.46 |
| 1 | 3 | Grbrix | 5 | 5.07 | 0.10 | 4.90 | 5.15 |
| 1 | 3 | Drfruto | 5 | 2609.59 | 200.00 | 2383.50 | 2891.98 |
| 1 | 3 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.42 | 0.03 | 3.38 | 3.46 |
| 1 | 3 | Renplanta | 5 | 62.60 | 14.72 | 47.00 | 79.00 |
| 2 | 1 | Altura | 5 | 1.74 | 0.16 | 1.52 | 1.94 |
| 2 | 1 | Diametro | 5 | 1.12 | 0.04 | 1.06 | 1.17 |
| 2 | 1 | Nflores | 5 | 55.80 | 10.47 | 47.00 | 73.00 |
| 2 | 1 | Nfrutos | 5 | 3.80 | 0.45 | 3.00 | 4.00 |
| 2 | 1 | Diafrutos | 5 | 4.84 | 0.11 | 4.70 | 4.95 |
| 2 | 1 | Pfrutos | 5 | 91.01 | 7.96 | 79.70 | 101.12 |
| 2 | 1 | Grbrix | 5 | 4.81 | 0.40 | 4.55 | 5.50 |
| 2 | 1 | Drfruto | 5 | 2802.09 | 402.58 | 2324.48 | 3345.98 |
| 2 | 1 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.44 | 0.06 | 3.37 | 3.52 |
| 2 | 1 | Renplanta | 5 | 36.40 | 6.35 | 30.00 | 47.00 |
| 2 | 2 | Altura | 5 | 1.74 | 0.16 | 1.59 | 1.95 |
| 2 | 2 | Diametro | 5 | 1.08 | 0.15 | 0.95 | 1.32 |
| 2 | 2 | Nflores | 5 | 65.60 | 8.38 | 54.00 | 74.00 |
| 2 | 2 | Nfrutos | 5 | 4.40 | 0.55 | 4.00 | 5.00 |
| 2 | 2 | Diafrutos | 5 | 5.10 | 0.06 | 5.00 | 5.16 |
| 2 | 2 | Pfrutos | 5 | 91.93 | 2.01 | 88.76 | 94.23 |
| 2 | 2 | Grbrix | 5 | 4.69 | 0.17 | 4.40 | 4.85 |
| 2 | 2 | Drfruto | 5 | 2552.39 | 382.63 | 2043.00 | 2951.00 |
| 2 | 2 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.40 | 0.07 | 3.31 | 3.47 |
| 2 | 2 | Renplanta | 5 | 49.00 | 6.89 | 40.00 | 59.00 |
| 2 | 3 | Altura | 5 | 1.60 | 0.09 | 1.47 | 1.70 |
| 2 | 3 | Diametro | 5 | 1.11 | 0.06 | 1.02 | 1.17 |
| 2 | 3 | Nflores | 5 | 53.60 | 7.09 | 46.00 | 61.00 |
| 2 | 3 | Nfrutos | 5 | 4.00 | 0.71 | 3.00 | 5.00 |
| 2 | 3 | Diafrutos | 5 | 5.49 | 0.54 | 4.75 | 6.10 |
| 2 | 3 | Pfrutos | 5 | 98.21 | 10.49 | 82.45 | 110.66 |
| 2 | 3 | Grbrix | 5 | 4.65 | 0.16 | 4.50 | 4.90 |
| 2 | 3 | Drfruto | 5 | 2700.39 | 360.37 | 2383.50 | 3291.50 |
| 2 | 3 | LOG10_Drfruto | 5 | 3.43 | 0.06 | 3.38 | 3.52 |
| 2 | 3 | Renplanta | 5 | 37.80 | 8.87 | 29.00 | 52.00 |

Fuente: propia

A.57. Datos de las variable del proyecto de investigación “Evaluación de dos fuentes de fertilización, utilizando tres sustratos sólidos, aplicando la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon sculentum Mill.*)

| CASO | FUENTE | SUSTRATO | REPETICIONES | ALTURA | DIAMETRO | NFLORES | NFRUTOS | DIAFRUTOS | PFRUTOS | GRBRIX | DRFRUTO | LOG_10DR FRUTO | RENPLANTA |
|------|--------|----------|--------------|--------|----------|---------|---------|-----------|---------|--------|---------|----------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2.08 | 1.2 | 62 | 5 | 4.33 | 95.85 | 5.35 | 2215.52 | 3.35 | 42 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2.05 | 1.2 | 97 | 6 | 5.6 | 87.71 | 5.3 | 2664.98 | 3.43 | 75 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 2.13 | 1.2 | 79 | 6 | 5.93 | 108.25 | 5.15 | 1983.98 | 3.3 | 68 |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 1.87 | 1.2 | 48 | 4 | 5.04 | 109.5 | 5 | 3118.98 | 3.49 | 44 |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 2.24 | 1.2 | 60 | 5 | 5.62 | 99.11 | 5.45 | 3118.98 | 3.49 | 46 |
| 6 | 1 | 2 | 1 | 1.97 | 1.16 | 116 | 9 | 5.54 | 105.73 | 5.2 | 2210.98 | 3.34 | 100 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2.06 | 1.12 | 71 | 7 | 6.04 | 73.42 | 5.25 | 2768.48 | 3.44 | 61 |
| 8 | 1 | 2 | 3 | 2.12 | 1.1 | 63 | 5 | 5.89 | 103.99 | 5.15 | 2551.48 | 3.41 | 53 |
| 9 | 1 | 2 | 4 | 2.05 | 1.02 | 76 | 6 | 5.98 | 112.96 | 5.1 | 2383.5 | 3.38 | 73 |
| 10 | 1 | 2 | 5 | 2.29 | 1.17 | 72 | 6 | 6.06 | 107.8 | 5.4 | 2270 | 3.36 | 66 |
| 11 | 1 | 3 | 1 | 2.45 | 1 | 94 | 6 | 5.85 | 111.37 | 5.1 | 2497 | 3.4 | 79 |
| 12 | 1 | 3 | 2 | 2.42 | 1.12 | 84 | 7 | 6.7 | 101.67 | 5.1 | 2383.5 | 3.38 | 71 |
| 13 | 1 | 3 | 3 | 2.32 | 1.13 | 53 | 4 | 6.05 | 128.46 | 5.1 | 2891.98 | 3.46 | 47 |
| 14 | 1 | 3 | 4 | 2.4 | 1.15 | 74 | 5 | 6.21 | 113.35 | 5.15 | 2551.48 | 3.41 | 69 |
| 15 | 1 | 3 | 5 | 2.33 | 1.12 | 49 | 5 | 6.32 | 116.98 | 4.9 | 2724 | 3.44 | 47 |
| 16 | 2 | 1 | 1 | 1.83 | 1.06 | 58 | 4 | 4.9 | 88.9 | 4.55 | 2664.98 | 3.43 | 36 |
| 17 | 2 | 1 | 2 | 1.52 | 1.1 | 49 | 3 | 4.7 | 79.7 | 4.75 | 2610.5 | 3.42 | 30 |
| 18 | 2 | 1 | 3 | 1.94 | 1.17 | 73 | 4 | 4.95 | 90.1 | 4.55 | 3345.98 | 3.52 | 47 |
| 19 | 2 | 1 | 4 | 1.73 | 1.12 | 52 | 4 | 4.75 | 95.25 | 5.5 | 3064.5 | 3.49 | 35 |
| 20 | 2 | 1 | 5 | 1.7 | 1.15 | 47 | 4 | 4.9 | 101.12 | 4.7 | 2324.48 | 3.37 | 34 |
| 21 | 2 | 2 | 1 | 1.71 | 1.32 | 66 | 4 | 5.15 | 92.4 | 4.85 | 2891.98 | 3.46 | 47 |
| 22 | 2 | 2 | 2 | 1.6 | 0.95 | 61 | 5 | 5.08 | 91.65 | 4.75 | 2043 | 3.31 | 51 |
| 23 | 2 | 2 | 3 | 1.59 | 1.02 | 74 | 4 | 5 | 88.76 | 4.75 | 2324.48 | 3.37 | 48 |
| 24 | 2 | 2 | 4 | 1.95 | 1 | 54 | 4 | 5.16 | 94.23 | 4.4 | 2951 | 3.47 | 40 |
| 25 | 2 | 2 | 5 | 1.84 | 1.12 | 73 | 5 | 5.1 | 92.62 | 4.7 | 2551.48 | 3.41 | 59 |
| 26 | 2 | 3 | 1 | 1.47 | 1.02 | 52 | 4 | 4.75 | 82.45 | 4.7 | 3291.5 | 3.52 | 33 |
| 27 | 2 | 3 | 2 | 1.57 | 1.1 | 61 | 4 | 5.5 | 99.74 | 4.9 | 2551.48 | 3.41 | 40 |
| 28 | 2 | 3 | 3 | 1.67 | 1.17 | 48 | 4 | 5.2 | 95.03 | 4.5 | 2497 | 3.4 | 35 |
| 29 | 2 | 3 | 4 | 1.7 | 1.12 | 46 | 3 | 6.1 | 110.66 | 4.6 | 2383.5 | 3.38 | 29 |
| 30 | 2 | 3 | 5 | 1.61 | 1.14 | 61 | 5 | 5.9 | 103.15 | 4.55 | 2778.48 | 3.44 | 52 |

Fuente: propia