

**CRIA Oriente**

**Cadena Tomate**

**EVALUACIÓN DE SEIS SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA  
PRODUCCIÓN COMERCIAL DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.), DE  
CRECIMIENTO DETERMINADO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS  
EN LA ALDEA EL AMATILLO, MUNICIPIO DE IPALA, DEL  
DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.**

**Ismar Augusto Hidalgo Portillo**

**Nestor Iván Salguero Aldana**

**Zacapa, noviembre de 2018**



“Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de ésta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan”.

## AGRADECIMIENTOS A

- M. Sc. Carlos Augusto Vargas Gálvez:** Director Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-
- Ing. Cristian Rosales:** Coordinador Académico Centro Universitario de Zacapa - CUNZAC- .
- Dr. Manuel Barrios:** Coordinador del área de Investigación del Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-.
- Ing. Claudia Calderón** Coordinadora Técnica del IICA - CRIA
- Ing. Godofredo Ayala** Coordinador de la Cadena de Tomate IICA - CRIA
- Ing. Luis Calderón** Gestor de la Cadena de Tomate IICA - CRIA
- Estuardo Sandoval** Propietario del invernadero

### **Acrónimos**

CRIA	Consortios Regionales de Investigación Agropecuaria
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
USAC	Universidad San Carlos de Guatemala
CUNZAC	Centro Universitario de Zacapa
CUNORI	Centro Universitario de Oriente

## ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. JUSTIFICACION .....	6
2.2 Planteamiento del problema.....	6
2.3 Definición del problema.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1 El cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	8
3.2 Clasificación taxonómica del tomate .....	8
3.3 Cultivo de tomate en Guatemala.....	9
3.4 Situación de los sustratos en Guatemala.....	10
3.5 Sustrato.....	11
3.6 Materiales utilizados como sustratos .....	11
3.6.1 Sustratos químicamente inertes.....	11
3.6.2 Sustratos químicamente activos .....	11
3.6.3 Sustratos de subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas .....	12
3.6.4 Materiales inorgánicos o minerales de origen natural.....	12
3.7 Sustratos más utilizados .....	12
3.7.1 Compost .....	12
3.7.2 Humus .....	13
3.7.3 Cascarilla de arroz.....	13
3.7.4 Fibra de coco .....	14
3.7.5 Piedra pómez.....	14
3.7.6 Turbas (Peat Moss).....	14

4. OBJETIVOS .....	16
4.1 Objetivo General .....	16
4.2 Objetivo específicos .....	16
5. HIPÓTESIS .....	17
6. METODOLOGÍA .....	18
6.1 Localización del trabajo .....	18
6.2 Ubicación geográfica y descripción del área experimental.....	18
6.2.1 Chiquimula.....	18
6.2.2 Ipala.....	18
6.3 Clima.....	18
6.4 Características del invernadero .....	19
6.5 Material experimental .....	19
6.6 Factores a estudiar.....	20
6.7 Descripción de los tratamientos .....	20
6.8 Diseño experimental.....	20
6.9 Tamaño de la unidad experimental .....	21
6.10 Modelo estadístico .....	21
6.11 Croquis de campo .....	22
6.12 Manejo del experimento.....	24
6.12.1 Manejo Agrícola.....	24
6.12.2 Registro de datos de campo.....	25
6.13 Variables de respuesta.....	25
6.14 Medición del rendimiento .....	26
6.15 Estimación de la relación beneficio costo.....	26
6.16 Análisis de la información .....	26

6.16.1	Análisis estadístico y prueba de medias .....	26
6.16.2	Análisis económico .....	26
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
7.1	Fase de campo.....	27
7.1.1	Análisis estadístico.....	27
7.1.2	Desarrollo vegetativo .....	32
7.1.2.1	Materia Seca.....	33
7.1.3	Análisis económico .....	34
7.1.3.1	Costos variables.....	34
7.1.3.2	Beneficio bruto agrícola .....	35
7.1.3.3	Análisis de dominancia .....	35
7.1.3.4	Tasa marginal de retorno.....	36
7.1.4	Análisis Físico-químico y bacteriológico de agua .....	37
8.	CONCLUSIONES .....	39
9.	RECOMENDACIONES .....	41
10.	PRESUPUESTO .....	41
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
12.	ANEXOS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Clasificación taxonómica del tomate	8
2	Materiales a utilizar para sustrato	13
3	Características químicas de la fibra de coco	14
4	Conformación de tratamientos a evaluar para la producción comercial de tomate de crecimiento determinado bajo condiciones protegidas, Chiquimula 2017	19
5	Modelos estadísticos comparados	28
6	Prueba de medias por el método LSD de Fisher para los datos de primera calidad en la fase de campo	29
7	Prueba de medias por el método LSD Fisher para los datos de tercera calidad en la fase de campo	30
8	Prueba de medias por el método LSD Fisher para los datos de cuarta calidad en la fase de campo	32
9	Promedios del desarrollo vegetativo del cultivo	33
10	Cálculo de los costos variables de los tratamientos, El Amatillo, Ipala, Chiquimula	34
11	Rendimientos ajustados y beneficio bruto agrícola	35
12	Análisis de dominancia entre tratamientos	36
13	Cálculo de la tasa marginal de retorno	36
14	Porcentajes de rendimiento por categoría en los diferentes tratamientos	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Visualización de las dimensiones de la unidad experimental	22
2	Visualización de croquis a nivel de campo del ensayo experimental	23
3	Rendimiento de los tratamientos de primera calidad en Kg/Ha	27
4	Rendimiento de los tratamientos de tercera calidad en Kg/Ha	30
5	Rendimiento de los tratamientos de cuarta calidad (rechazo) en Kg/Ha	31
6	Ubicación de los tratamientos en cada bloque	45
7	Vista aérea, localización de invernadero. El Amatillo, Ipala	46
8	Vista frontal de invernadero, El Amatillo, Ipala	46
9	Análisis de Materia seca en Follaje realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–	47
10	Análisis de Materia seca en Raíces realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–	48
11	Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua realizada en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–	49
12	Supuestos de la varianza (homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos), del análisis realizado para la variable rendimiento / Hectárea de tomate en primera calidad	50
13	Ubicación del invernadero en la Aldea El Amatillo, municipio de Ipala, departamento de Chiquimula.	51
14	Recepción de las pacas de sustratos.	51
15	Preparación de sustratos y llenado de bolsas	52
16	Preparación del invernadero	52
17	Colocación de las bolsas dentro del invernadero bajo el esquema del diseño experimental	53
18	Rellenado de las bolsas	53
19	Instalación del sistema de riego	54

20	Compra de pilones de tomate	54
21	Pruebas de riego y preparación de solución madre para el fertirriego	55
22	Trasplantación de los pilones de tomate	55
23	Colocación de tutorado	56
24	Colocación de pitas	56
25	Limpieza del sistema de riego dentro del invernadero	57
26	Fertilizaciones foliares	57
27	Deshojado del cultivo	58
28	Polinización mecánica	58
29	Día de campo	59
30	Cosecha de tomate	59
31	Clasificación de los frutos	60
32	Pesaje de los frutos por tratamiento	60
33	Toma de datos (uso de cinta métrica y vernier)	61
34	Cultivo en óptimas condiciones	61
35	Sistema radicular del T1	62
36	Sistema radicular del T2	62
37	Sistema radicular del T3	63
38	Sistema radicular del T4	63
39	Sistema radicular del T5	64
40	Sistema radicular del T6	64
41	Boxplot del rendimiento de primera calidad	66
42	Boxplot de la altura del cultivo de tomate	66
43	Boxplot del diámetro del cultivo de tomate	67

**EVALUACIÓN DE SEIS SUSTRATOS ALTERNATIVOS EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.), DE CRECIMIENTO DETERMINADO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS EN LA ALDEA EL AMATILLO, MUNICIPIO DE IPALA, DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.**

Ing. Agr. Ismar Augusto Hidalgo Portillo<sup>1</sup>  
Nestor Iván Salguero Aldana<sup>2</sup>

**RESUMEN EJECUTIVO**

1. En la región de oriente de Guatemala una de las mayores limitantes en la producción en el cultivo de tomate es la presencia de plagas como la mosca blanca y la bacteria *Ralstonia Solanacearum*, la primera presente en el follaje y la segunda habitando en el suelo; provocando en la planta el taponamiento de los haces vasculares tales como el xilema y el floema y con ello provocando la muerte de la planta y por ende la pérdida parcial o total de la producción. De ahí surge esta investigación para evaluar diferentes sustratos que puedan aislar a la planta de tomate de dicha bacteria. La investigación se llevó a cabo en un invernadero propiedad de un agricultor-colaborador y productor en la aldea El Amatillo del municipio de Ipala del departamento de Chiquimula. Las variables evaluadas fueron las siguientes rendimiento (Kg/Ha), diámetro de tallo, altura de planta, calidad de fruto, análisis económico de cada uno de los tratamientos, análisis de materia seca de follaje y radicular y finalmente análisis de agua. Para dicho experimento se empleó un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones con un distanciamiento entre surcos o calles de 1.50 metros y 0.40 cm entre planta o posturas, obteniendo un área total de diseño de 590.40 metros cuadrados y área de unidad experimental de 24 metros cuadrados. Los sustratos evaluados fueron: T1 100% fibra de coco comercial; T2 100% de peat moss (BM6); T3 100% de peat moss (TS1); T4 80% de piedra pómez más 20% ceniza de cascarilla de arroz; T5 80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa) y T6 50% de fibra de coco más

---

<sup>1</sup> Investigador Principal de CUNZAC

<sup>2</sup> Investigador Auxiliar de CUNZAC

50% de piedra pómez, los diferentes sustratos fueron introducidos en contenedores (bolsas plásticas perforadas de polipropileno perforadas de color negro de 14 x 14 pulgadas equivalente a 10 litros capacidad). En la prueba de medias por el método LSD Fisher se conformaron tres grupos siendo A, B y C, siendo el tratamiento T5 el que se ubicó en la literal A que obtuvo el mayor rendimiento de tomate de primera calidad alcanzando 10,221.29 Kg/Ha superando al resto de tratamientos. En las variables altura de planta y diámetro de tallo no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos. En el análisis de presupuestos parciales, los tratamientos T5 obteniendo un ingreso de Q 144,764.33 seguido del T4 obteniendo un ingreso de Q 89,579.76 son los que económicamente son más rentables. En el análisis de agua realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI– se encontraron en los rangos aceptables, lo cual garantizó el desarrollo óptimo del cultivo. Los resultados del análisis bacteriológico del agua presentaron problemas debido a la presencia de *Escherichia coli*, Coliformes fecales y Coliformes totales. En esta investigación se comprobó que si es factible producir tomate dentro de contenedores o bolsas plásticas perforadas cuyo sustrato sea a base de Piedra pómez de diferente granulometría en terrenos en donde exista la presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum*. Debido a las tazas diferenciales de lixiviación del agua que se apreciaron en la fase de campo se recomienda realizar un estudio sobre cantidad (láminas) y frecuencia de riegos en los mejores tratamientos.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tomate es la presencia generalizada de bacterias de suelo, plagas de suelo y otros agentes causantes de la baja producción y el alto costo que representa su control. Estos factores están reduciendo tanto el número de productores tomateros, así como las áreas de siembra, hasta provocar la casi desaparición de su cultivo del departamento de Zacapa y parte de Chiquimula.

En el año 2016 se llevó a cabo una investigación que sirvió como trabajo de graduación de un estudiante de Agronomía del Centro Universitario de Oriente(CUNORI) con el apoyo del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), en donde se evaluaron diferentes sustratos para la producción de tomate en pilones; a nivel de la iniciativa privada se está produciendo comercialmente haciendo uso de sustratos; pero lamentablemente dicha información generada no está disponible para los demás productores de tomate. Por este motivo, es necesario determinar bajo las condiciones de los productores de tomate cuál de los seis sustratos a evaluar presenta los mejores rendimientos y un costo de producción menor al de los demás para evitar que se sigan reduciendo las áreas de producción como también el ingreso de los productores y familias que venden su mano de obra (jornales), en esta actividad agrícola en esta zona del país.

En la zona oriental de Guatemala el área de producción de tomate se produce tanto a campo abierto y bajo condiciones protegidas; en este caso se utilizan diferentes estructuras de protección del cultivo a través de micro túneles, macro túneles, mega túneles, casas malla y muy excepcionalmente invernadero; estas técnicas permiten dependiendo de sus costos un control intermedio o total en cuanto a las plagas y daños provocados por el agua de lluvia pero no pueden garantizar que la calidad del factor suelo esté libre de la presencia de hongos, bacterias, nematodos o cualquier otro factor limitante en la producción de tomate.

En el departamento de Zacapa, la siembra del cultivo de tomate ha desaparecido casi totalmente debido a la presencia de mosca blanca (*Bemisia sp*), ya que hay mucha fuente de inóculo, lo que requiere la implementación de una infraestructura que evite el ingreso de

dicho insecto al cultivo, generando costos adicionales que con los precios de venta actuales es imposible justificarlo.

Con esta investigación se evaluaron seis diferentes tipos de sustratos en una localidad, en el cultivo de tomate de crecimiento determinado bajo condiciones protegidas. Este ensayo estuvo ubicado en una finca de un productor-colaborador en la aldea El Amatillo en el municipio de Ipala, departamento de Chiquimula y su ejecución coincidió con la época de mayor siembra de cultivo, ya que es en el mes de octubre.

En Guatemala la utilización de sustratos comerciales para la producción de hortalizas ha tenido una mayor demanda, principalmente en la producción de pilones; ya que se requiere producir plantas exentas de enfermedades para garantizar un buen inicio en el proceso de producción de dicho cultivo.

Así mismo, se pretendió generar alternativas tecnológicas para la producción del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), de crecimiento determinado bajo condiciones protegidas, utilizando alternativas de sustrato en contenedores plásticos (bolsas plásticas de 14 pulgadas de alto por 14 pulgadas de diámetro) y con ello ofrecerle al productor una práctica de producción que le permita aislar la planta de tomate de la presencia de bacterias en el suelo, mejorar sus rendimientos, así como obtener los mejores beneficios económicos de su cultivo. Con la posibilidad de poder reutilizar dicho sustrato para un segundo ciclo de cultivo y hasta probablemente un tercer ciclo, con lo cual estaría distribuyendo el costo de inversión del sustrato.

Con el apoyo del Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria-CRIA-, a través de la cadena de Tomate Oriente, se propuso el establecimiento de un ensayo para la evaluación de seis sustratos en tomate: 100% fibra de coco comercial; 100% de peat moss (BM6); 100% de peat moss (TS1); 80% de piedra pómez más 20% ceniza de cascarilla de arroz; 80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa) y 50% de fibra de coco más 50% de piedra pómez.

El diseño que se utilizó fue bloques completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones en la aldea El Amatillo, municipio de Ipala, del departamento de Chiquimula para garantizar los mejores coeficientes de variación en los análisis por tratamiento.

Dentro de las variables respuesta fueron tomadas: la altura de la planta, diámetro del tallo, el rendimiento de frutos tanto de primera calidad, segunda, tercera y de rechazo (cuartilla), con su respectivo costo variable de producción para el análisis de costos parciales y la tasa marginal de retorno a capital.

Con los resultados se contribuye a la solución de problemas de enfermedades de suelo, provocadas por bacterias en el cultivo de tomate para que puedan ser más productores los que se dediquen a esta importante actividad y también al incremento de áreas de siembra con lo que van a generar fuentes de trabajo, muy necesarias en esta región del oriente de Guatemala.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La presencia de *Ralstonia* en las siembras de tomate se ha ido incrementando en los diferentes campos de Chiquimula y con ello la generación de grandes pérdidas económicas; ya que se pierde totalmente el cultivo cuando es dañado por esta bacteria patógena y esto conlleva a que muchos tomateros busquen áreas nuevas libres de la presencia de dicha bacteria dejando inclusive sus propias tierras de cultivo, lo que significa que se conviertan en agricultores nómadas.

La producción de tomate en los suelos hace que las raíces del cultivo entren en contacto con la bacteria (*Ralstonia solanacearum*) causando serios daños a la misma no permitiendo el paso de los nutrientes y agua a la planta y así mismo la deficiencia en los frutos del cultivo.

Ante dicha problemática en la producción de tomate, se priorizó realizar una investigación bajo condiciones protegidas utilizando diferentes sustratos en sustitución del suelo para aislar a la planta en donde habita la bacteria (*Ralstonia solanacearum*) con lo que se pretende lograr producciones en cantidad y calidad para garantizar ingresos a los productores y a las personas que trabajan vendiendo su mano de obra en dicho cultivo.

El fruto de tomate no solamente sirve como un condimento en la dieta de los guatemaltecos; sino que también para su producción se requiere de mucha mano de obra lo que permite generar ingresos a muchas familias para poder llevar el sustento a sus hogares.

### 2.2 Planteamiento del problema

En el oriente del país las áreas de siembra del cultivo de tomate cada vez están disminuyendo considerablemente, que podríamos decir que casi no se siembra por motivos de la alta incidencia de plagas (mosca blanca) y enfermedades principalmente (*Ralstonia solanacearum*) siendo una bacteria de suelo, Gram – negativa, de alta patogenicidad.

Por tanto, se tomó la decisión de realizar esta investigación seleccionando la comunidad en donde se reportó por primera vez la presencia de la bacteria *Ralstonia*, con ello se garantiza que el área donde se instalará el ensayo reúna las condiciones ad-hoc para dicha investigación, y la aldea El Amatillo, del municipio de Ipala, del departamento de Chiquimula, es el lugar que se eligió. Unos de los principales daños que ocasiona *Ralstonia* es en los tejidos de conducción, xilema y floema los que transportan el agua y nutrimentos de las raíces a las hojas y viceversa, esto es debido a que dicha bacteria coloniza las raíces generando un taponamiento que no permite que la planta pueda alimentarse y con ello finalmente le causa la muerte.

### **2.3 Definición del problema**

El cultivo de tomate es una de las hortalizas más importantes que se cultiva a nivel nacional, conteniendo un alto valor nutricional que conforma la dieta de los guatemaltecos y es de importancia económica para Guatemala.

Actualmente el cultivo de tomate de crecimiento determinado se produce bajo condiciones no protegidas y se trasplanta directamente al suelo que en muchos casos se encuentra infestado o colonizado por la bacteria *Ralstonia*, lo que da una alta incidencia y por ende un daño que se traduce en muchos casos en la muerte de la planta, la pérdida del cultivo y consecuentemente la no recuperación de la inversión de capital. Es por eso que algunos productores han optado por producir el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, lo que representa un alto costo para los productores de tomate, ya que se están utilizando diferentes tipos de protección o infraestructura, tales como: casas malla, mega túneles, macro túneles y micro túneles; estas técnicas de protección permiten un control parcial sobre las plagas, pero el elemento suelo sigue siendo un factor externo complejo en cuanto a su manejo y control, lo que también puede ser determinante en cuanto a la producción de tomate. (Watanebe, 2006)

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Según Aldana (2016), el origen del cultivo de tomate se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Probablemente desde allí fue traído a Centroamérica y México donde se domesticó y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Luego, fue llevado por los conquistadores a Europa. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos y para entonces habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá.

Así mismo, Arango (2017) establece que el tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda con el paso de los años aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente, al aumento en el rendimiento y, en menor proporción, al aumento de la superficie cultivada. El tomate fresco se consume de varias maneras, haciéndolo en un sentido subjetivo indispensable para la dieta y la forma de consumirlo.

#### 3.2 Clasificación taxonómica del tomate

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica del tomate*

TAXONOMÍA	
<b>CLASE</b>	Magnoliópsida
<b>SUBCLASE</b>	Asteridae
<b>ORDEN</b>	Solanales
<b>FAMILIA</b>	Solanaceae
<b>GÉNERO</b>	Solanum
<b>ESPECIE</b>	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

Fuente: Elaboración propia con base a: (ITIS, 2014)

### 3.3 Cultivo de tomate en Guatemala

El tomate, es una de las hortalizas de mayor consumo en Guatemala. La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos excepto a lo que se refiere al drenaje, el cual tiene que ser adecuado, ya que no soporta el exceso de agua. No obstante, a eso se deben el uso de suelos sueltos de textura arcillosa y ricos en materia orgánica. La industria del tomate no solo abastece el mercado local sino de igual manera exporta a países alrededor del mundo, siendo El Salvador y Estados Unidos los principales (Arango Aragón, 2017).

Sin embargo y basándonos en las estadísticas de precio del año 2015, donde las ventas oscilan a dos quetzales por libra, todo indica que el mercado ya está siendo fuertemente saturado por el incremento de productores y cosechas a lo largo de todo el año, dejando poco lugar para nuevos crecimientos. Sin embargo, el cultivo de tomate en Guatemala sigue desarrollándose y ha alcanzado avanzados niveles de tecnología, cultivándose tanto en temporada de lluvia como en temporada seca, bajo riego por goteo y en ambientes controlados. Es una de las hortalizas más importantes y de mayor producción y consumo, debido a que forma parte de la dieta alimenticia de los guatemaltecos por su sabor y alto valor nutritivo que posee, conteniendo cantidades considerables de vitaminas y minerales (Arango Aragón, 2017).

Según Arango (2017), la producción nacional de tomate se encuentra distribuida en los departamentos de la siguiente forma: Jutiapa (20%), Baja Verapaz (20%), Chiquimula (11%), Guatemala (8%), Zacapa (7%), El progreso (6%), Alta Verapaz (6%), Jalapa (5%), y los demás departamentos de la república suman en (17%) restante.

En el mes de junio y julio del año 2017 ha alcanzado precios hasta de Q350.00 la caja de 50 libras lo que equivale a Q7 cada libra al mayorista llegando al consumidor final a un precio de Q10 por libra; esto derivado de las condiciones ambientales: por el exceso de lluvia, lo que ha incrementado la presencia de plagas y con ello aumentando el costo de producción para su control y que ha representado hasta una merma de producción de hasta un 60% lo que justifica el incremento de precio en un 300%. Esta información

fue recabada tanto de visitas de lugares de comercialización y así como a productores tomateros de la zona. (FASAGUA, 2011)

### **3.4 Situación de los sustratos en Guatemala**

La investigación más reciente sobre sustratos en el país, fue la realizada por Rosas Velásquez, D. A. (2016). Que consta del estudio de evaluación de sustratos alternativos a nivel de Pilonos (Bandejas) compuestos por diferentes materiales orgánicos y locales, donde se determinó el efecto en el desempeño de las plantas de tomate en cuanto al porcentaje de germinación, tamaño de raíces, diámetro del tallo, vigorosidad de la plántula, altura de planta, materia seca de la parte aérea, materia seca de raíces, calidad de adobe, porcentaje de plantas trasplantables y porcentaje de rendimiento de las plántulas de tomate, hay que tomar en cuenta que cuando se evalúan sustratos bajo condiciones de bandeja para producir pilones las cantidades de sustratos que se requieren para satisfacer dicha demanda son mínimas en comparación a una producción comercial en la que la cantidad requerida es sustancialmente muy superior.

En la región nororiental de Guatemala existe potencial para la producción de sustratos orgánicos equiparables a las turbas comerciales. El contexto de la investigación es utilizar diferentes sustratos alternativos en la producción de pilones de tomate, utilizando diversos materiales locales como: cascarilla de arroz, cascarilla de arroz carbonizada, carbón, bocashi, semolina, fibra de coco, lombrihumus, paja de frijol carbonizada y tierra tratada, en donde se determinara el aporte real como sustrato y los nutrientes en la propagación de pilones de calidad, evaluando el comportamiento de las diferentes variables en la producción de pilón de tomate, lo cual permite obtener información confiable y de mucha importancia para todos los productores de tomate en la región y reducir los costos de producción al no depender directamente del sustrato actualmente utilizado (Rosas Velásquez, 2016).

La evaluación de sustratos alternativos en la producción comercial de tomates determinados en contenedor (bolsa plástica), es todavía en estos momentos una práctica muy poco conocida por parte de los productores comerciales de tomate de esta

región de Oriente; ante esta situación aprovechando la presencia del Consorcio Regional de Investigaciones Agropecuarias CRIA-TOMATE con el apoyo financiero de United States Agency International Development -USAID-y la administración del IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) se evaluó diferentes sustratos, tanto comerciales como materiales de la región para generar una solución para los productores de tomate que tienen presencia en sus terrenos de la Bacteria *Ralstonia solanacearum* y que no pueden producir por ese factor limitante.

### **3.5 Sustrato**

Según Calderón (2006), citado por Picón (2013), el término sustrato que se aplica en agricultura, se refiere a todo material natural, sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radicular, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno.

### **3.6 Materiales utilizados como sustratos**

Los sustratos pueden clasificarse según el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación:

#### **3.6.1 Sustratos químicamente inertes**

Arena granítica o silícea, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, entre otros. Estos actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante.

#### **3.6.2 Sustratos químicamente activos**

Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, sirven de soporte a la planta, pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

### **3.6.3 Sustratos de subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas**

La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, aserrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, entre otros).

### **3.6.4 Materiales inorgánicos o minerales de origen natural**

Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica), transformados o tratados, a partir de rocas o minerales mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida entre otros), residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón).

## **3.7 Sustratos más utilizados**

### **3.7.1 *Compost***

Son residuos orgánicos de estructura fina y descompuesta. Se usan excrementos animales, residuos de plantas, entre otros. Físicamente aumentan la aireación y el contenido de humedad y, químicamente, absorben los nutrientes evitando su lavado (nitrógeno y potasio) y liberando lentamente la solución en forma de nutrientes. El compost debe contener entre 35 y 50% de materia orgánica con relación al peso volumétrico, se emplea en mezcla con sustratos inactivos o inorgánicos como la turba, la perlita, la fibra de coco o la cascarilla de arroz.

El compost adicionado a la turba proporciona mayor aireación y reduce la retención de agua de la misma. Además, se ha comprobado que tiene efectos supresores a través de los organismos antagonistas que se desarrollan en él. Las altas temperaturas que se alcanzan durante el proceso del compostaje eliminan la mayor parte de las malas hierbas y microorganismos dañinos.

En el caso de la utilización de un compost como sustrato se puede utilizar como base los siguientes materiales disponibles en la región:

**Tabla 2**

*Materiales a utilizar para sustrato*

Compost	68,00%
Gallinaza	14,00%
Arena	17,53%
Cal dolomítica	0,09%
Fosforita	0,19%
Superfosfato triple	0,19%
Total	100,00%

Fuente: Elaboración propia

### **3.7.2 Humus**

Resulta de los excrementos de lombrices (*Eisenia foetida*), después de digerir residuos vegetales o excrementos animales fermentados, luego se seca y se pasa a través de un tamiz para obtener una buena textura. Sirve de fertilizante y reemplaza el compost, además ofrece muy buenas características químicas. (Gómez, 2001)

### **3.7.3 Cascarilla de arroz**

Sustrato orgánico de baja descomposición por su alto contenido de sílice que, además, aumenta la tolerancia de las plantas contra insectos y organismos patógenos. Se debe usar en mezcla hasta en un 30%, favorece el buen drenaje y la aireación, presenta baja retención de la humedad y baja capilaridad. Para evitar la presencia de malezas en el semillero, es necesario humedecer previamente la cascarilla para hacer germinar las semillas de arroz y otras plantas que siempre contiene; además, se requiere realizar pruebas previas de germinación de semillas para verificar que no haya presencia de residuos de herbicidas en ella. (Saboya, 2011)

### 3.7.4 Fibra de coco

Su contenido de nitrógeno es bajo y alto el de potasio; contiene cerca de 2 ppm de boro y debe llevarse hasta 0,2 ppm para utilizarlo en hortalizas, por ello es necesario darle hasta 5 lavadas y así reducir su salinidad ya que son muy sensibles al exceso de boro. Adecuándolo, es una buena alternativa para países como el nuestro, donde abunda esta planta (especialmente en la Costa Atlántica) y por los altos costos de otros sustratos importados como la turba.

**Tabla 3**

*Características químicas de la fibra de coco*

Parámetro	Valor	Unidad
Ph	5	
Conductividad eléctrica	2.15	mS/cm
Nitrógeno total	0.51	%
Fósforo total $P^2O^5$	0.20	%
Potasio total $K^2O$	0.60	%
Calcio total CaO	1.40	%
Magnesio total MgO	0.20	%
Sodio total NaO	0.187	%
Hierro total Fe	0.206	%

Fuente: Tomada de (Nichols, 2009)

### 3.7.5 Piedra pómez

Es un material disponible en países con yacimientos volcánicos. Posee una retención de agua de un 38%, tiene una buena estabilidad física y gran durabilidad; desde el punto de vista biológico es un material completamente libre de microorganismos, lo que le hace atractivo para el uso en cultivos muy delicados y susceptibles a agentes biológicos parasitarios como las flores.

### 3.7.6 Turbas (Peat Moss)

Las turbas también conocidas como peat moss son los sustratos orgánicos naturales de uso más general en horticultura. Es el resultado de la descomposición completa de árboles (especialmente del género *Sphagnum*) y se produce en países de las zonas templadas como Canadá, Alemania, Finlandia, Suiza, Irlanda, Rusia entre otros.

Se encuentran dos tipos de turbas; las poco descompuestas que son materiales de reacción ácida y las turbas pobres en minerales por estar muy lavados, debido a su origen de zona saltas de precipitaciones abundantes que se conservan parcialmente su estructura y un buen equilibrio entre agua y aire después del riego.

Las turbas ofrecen las mejores condiciones para la germinación y el enraizamiento en semilleros, sin embargo, algunas si aportan nutrientes, tienen alta capacidad de intercambio de cationes y de retención de humedad y un alto grado de porosidad. Son ácidas (pH entre 3,5 y 4,5), aunque en el mercado se encuentran turbas con pH corregido (5,5 – 6,5) y un contenido de materia orgánica de 95%.

El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas (presencia de hormonas y sustancias húmicas) de las turbas es la causa de su amplia difusión en el cultivo de plantas en sustratos. Su empleo se extiende tanto a la producción de plántulas en semilleros como al cultivo de plántulas en contenedores y, así mismo, al cultivo sin suelo en general. Su uso está siendo revaluado debido al impacto medioambiental que implica su utilización, ya que éste es un material natural no renovable, además por ser importado tiene un alto costo. (Jaramillo Noreña, J. E; Rodríguez, J.; Rodríguez, V. P.; Guzmán Arroyave, M.; Zapata Cuartas, M.A.; Reginfo, Martínez, T. J. 2007).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Evaluar seis sustratos alternativos para la producción del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), de crecimiento determinado bajo condiciones protegidas, en la zona productora de la aldea El Amatillo, municipio de Ipala en el departamento de Chiquimula.

### 4.2 Objetivo específicos

Identificar el sustrato donde las plantas presenten mejor desarrollo y el más alto rendimiento de producción.

Realizar el análisis financiero de los sustratos en el cultivo del tomate a través de presupuestos parciales.

Describir los parámetros física, química y microbiológicamente del agua a utilizar en el sistema de riego para ajustar el pH y la conductividad eléctrica y así obtener mejor respuesta de la planta frente al fertirriego.

## 5. HIPÓTESIS

Se analizó las siguientes hipótesis: la hipótesis alternativa (Ha) y la hipótesis nula (Ho).

Ha 1= al menos uno de los tratamientos presentará el mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de primera calidad y por ende un mejor ingreso económico.

Ho 1= los tratamientos no presentan diferencias significativas en cuanto al mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de primera calidad ni mejor ingreso económico.

Ha 2= al menos uno de los tratamientos presentará el mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de segunda calidad y por ende un mejor ingreso económico.

Ho 2= los tratamientos no presentan diferencias significativas en cuanto al mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de segunda calidad ni mejor ingreso económico.

Ha 3= al menos uno de los tratamientos presentará el mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de tercera calidad y por ende un mejor ingreso económico.

Ho 3= los tratamientos no presentan diferencias significativas en cuanto al mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de tercera calidad ni mejor ingreso económico.

Ha 4= al menos uno de los tratamientos presentará el mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de cuarta calidad (rechazo) y por ende un mejor ingreso económico.

Ho 4= los tratamientos no presentan diferencias significativas en cuanto al mejor desarrollo, mayor rendimiento de producción de cuarta calidad (rechazo) ni mejor ingreso económico.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Localización del trabajo

La unidad de producción agrícola cuyo propietario es Estuardo Sandoval se encuentra en la aldea El Amatillo, del municipio de Ipala, departamento de Chiquimula, localizada a una elevación de 832 msnm, a 14°41'43" Latitud Norte y 89°35'47" Longitud Oeste. (Ver Anexo 2); la finca se dista a 153.4km de la ciudad capital, por RN-18 y CA-19. Ahí se realizó el ensayo con tomate de crecimiento determinado, cuyo material fue el Retana que es el material que el agricultor siembra y es el más apetecido en el mercado debido a sus características organolépticas; pero tiene problemas de enfermedades de suelo.

### 6.2 Ubicación geográfica y descripción del área experimental

#### 6.2.1 Chiquimula

El departamento de Chiquimula se encuentra situado en el nororiente de la república de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Zacapa; al sur con la república de El Salvador y el departamento de Jutiapa; al este con la república de Honduras; y al oeste con los departamentos de Jalapa y Zacapa, su altura media oscila entre 324 msnm.

#### 6.2.2 Ipala

El municipio de Ipala del departamento de Chiquimula, se encuentra localizado en el oriente de la República de Guatemala; limita al norte con San José La Arada (Chiquimula); al éste con Quezaltepeque, Concepción Las Minas y San Jacinto (Chiquimula); al sur con Agua Blanca y Santa Catarina Mita (Jutiapa); y al oeste con San Luis Jilotepeque y San Manuel Chaparrón (Jalapa).

### 6.3 Clima

Las condiciones climáticas del área productiva de la aldea El Amatillo son:

- Precipitación pluvial anual: 901.33 mm
- Humedad relativa: 60% (época seca)
- Humedad relativa: 90% (época lluviosa)
- Altitud: 832 msnm
- Temperatura máxima: 30° C
- Temperatura mínima: 16.5°C
- Temperatura media anual: 25° C
- Precipitación pluvial media anual: 607.50 mm/año
- Humedad relativa: 55% (época seca) 95% (época lluviosa).

Fuente:(INSIVUMEH, 2018)

#### **6.4 Características del invernadero**

El área total del invernadero es de 20 metros de ancho por 40 metros de largo haciendo un área total de 800 metros cuadrados. El ensayo experimental ocupó más del 74% del área total del invernadero. Dicha infraestructura está construida de aluminio, en los laterales cubierto con sedazo plástico, el techo es de plástico para aislarlo del agua de lluvia. Cuenta con un área de bioseguridad para poder ingresar al mismo. El sistema de riego que se utilizó fue de doble manguera sobre los contenedores (bolsa plástica) para lograr una cobertura del 100% a nivel radicular de agua en la fertirrigación. (Ver Anexo 3)

#### **6.5 Material experimental**

Los materiales experimentales evaluados fueron seis sustratos siendo los siguientes:

- Fibra de coco comercial
- Sustrato Peat moss (BM6)
- Sustrato Peat moss (TS1)
- Mezcla de piedra pómez y ceniza de cascarilla de arroz
- Piedra pómez (fina) y Piedra pómez (gruesa).
- Mezcla de fibra de coco y de piedra pómez.

### 6.6 Factores a estudiar

Los factores evaluados fueron los rendimientos de las plantas que estaban ubicadas en los surcos centrales de cada parcela, ya que la parcela bruta estaba conformada por cuatro surcos con 10 plantas por surco, haciendo un total de 40 plantas y de las cuales se tomó lectura de 16 y con ello respetando el efecto de borde para lo cual primeramente se clasificó los frutos por tamaño y posteriormente fueron pesados por tratamiento o parcela. También se midió la altura de la planta en centímetros, diámetro del tallo en milímetros; materia seca de la parte aérea, de las raíces y finalmente el análisis físico, químico y bacteriológico del agua de riego utilizada.

### 6.7 Descripción de los tratamientos

Hubo tratamientos que estuvieron conformados por un solo sustrato (T1, T2 y T3) en cambio otros estaban combinados o mezclados con diferentes sustratos (T4, T5 y T6) como se muestra en la *Tabla 4*.

**Tabla 4**

*Conformación de tratamientos a evaluar para la producción comercial de tomate de crecimiento determinado bajo condiciones protegidas, Chiquimula. 2017*

TRATAMIENTO	SUSTRATO
T1	100% fibra de coco comercial
T2	100% de peat moss (BM6)
T3	100% de peat moss (TS1)
T4	80% de piedra pómez + 20% ceniza de cascarilla de arroz
T5	80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa)
T6	50% de Fibra de coco + 50% de piedra pómez.

Fuente: Elaboración propia

### 6.8 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis tratamientos, cuatro repeticiones en una localidad (*Ver Anexo 1*).

### 6.9 *Tamaño de la unidad experimental*

Las dimensiones de cada parcela fueron 6 x 4 metros correspondiente a una parcela bruta de 24 metros cuadrados; y la parcela neta de cada una fueron de 9.6 metros cuadrados (3 metros de ancho por 3.2 metros de largo), esto para disminuir el efecto borde. El distanciamiento entre plantas fue de 0.40 metros y 1.50 metros entre surcos. La densidad de plantas por parcela bruta es de 40 y de ellas 16 plantas de parcela neta fueron las objeto de estudio en la toma de datos. El área experimental total del ensayo fue de 590.40 metros cuadrados.

Para el caso de los contenedores (bolsa plástica), se utilizó un del tamaño de 14x14 pulgadas que equivale a 10 litros de capacidad.

### 6.10 *Modelo estadístico*

Se utilizó un análisis combinado a la variable rendimiento según el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del i-ésimo sustrato de tomate

$B_j$  = Efecto de la j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental en la ij-ésima unidad experimental

## 6.11 Croquis de campo

### Croquis de campo de la unidad experimental

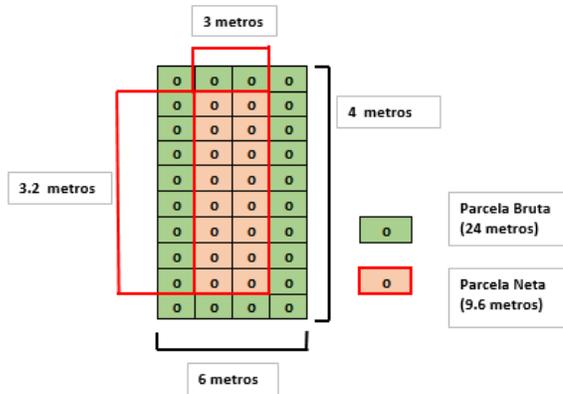
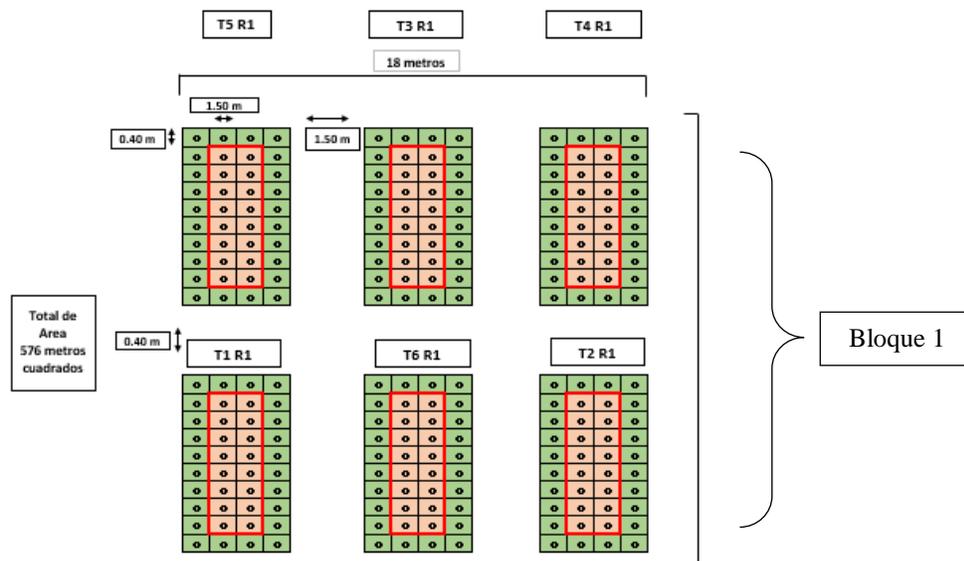


Figura 1. Visualización de las dimensiones de la unidad experimental



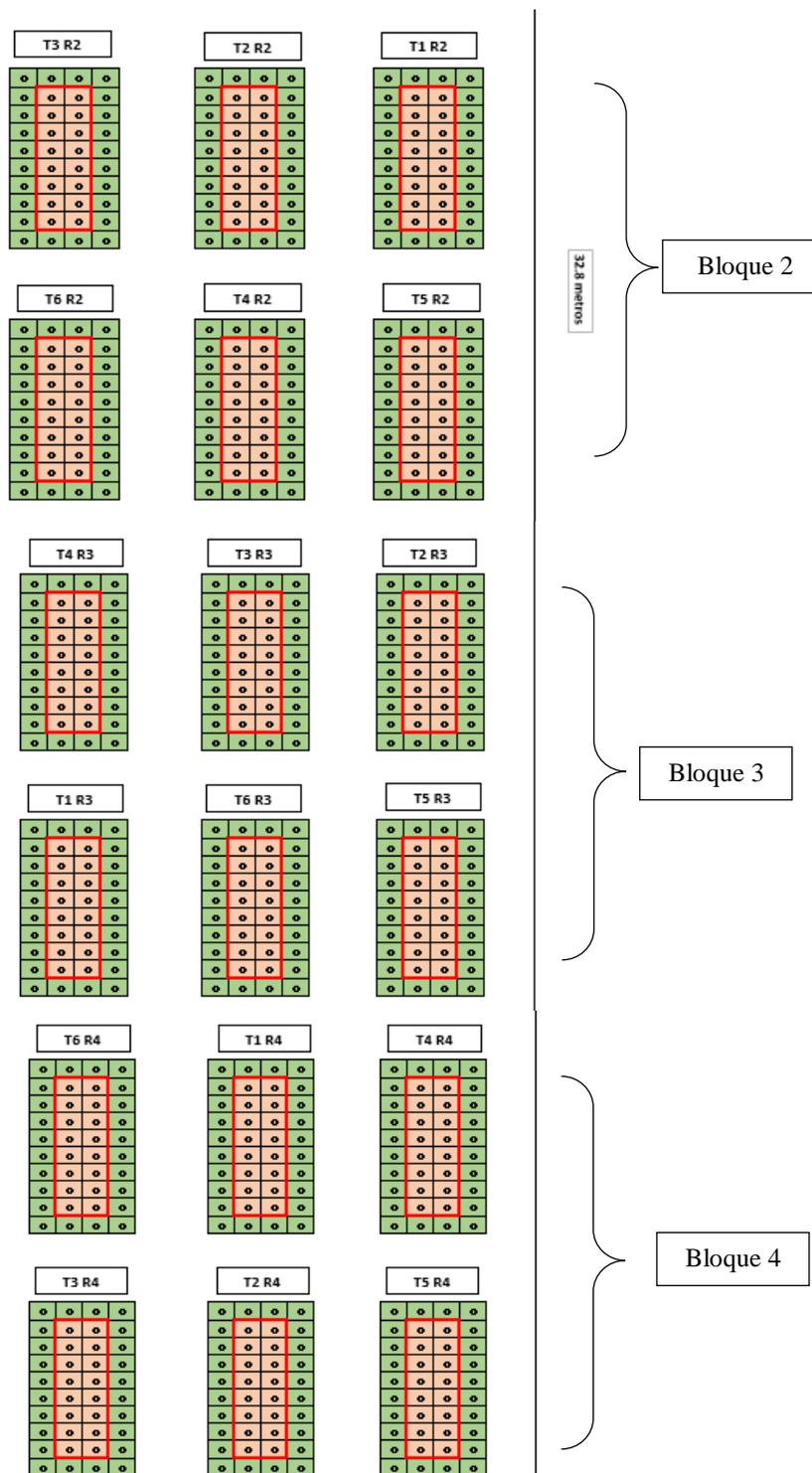


Figura 2. Visualización de croquis a nivel de campo del ensayo experimental.

Verde: Parcela bruta 24 metros.

Rojo: Parcela neta 9.6 metros.

## **6.12 Manejo del experimento**

### **6.12.1 Manejo Agrícola**

Para la selección del terreno se realizó visitas a los productores de tomate, para identificar el terreno con historial de presencia de (*Ralstonia solanacearum*) en las cosechas anteriores.

Previo al trasplante del tomate se construyó los camellones, y sobre ellos se colocó un nylon sobre el surco para aislar los contenedores del suelo y con ello evitar la contaminación por bacterias principalmente por (*Ralstonia solanacearum*).

Posteriormente se procedió a al trazo del área experimental, que incluyo la delimitación de las unidades experimentales tomando como base las medidas establecidas en el croquis de campo. Así mismo se efectuó el sorteo de los tratamientos para homogenizar los datos resultantes en la investigación. (*Ver Anexo I*)

Luego se llenó el interior de las bolsas de polietileno perforadas con el sustrato correspondiente en cada uno de los tratamientos. También debido a que los sustratos bajaron de volumen debido a la pérdida de humedad, se realizó un rellenado de bolsas para que todas quedaran al mismo nivel dejando aproximadamente una pulgada por debajo de la orilla superior.

El trasplante se hizo en forma manual. Se manejó distancias de 1.50 metros entre surcos y 0.40 metros entre plantas. La hora en la que se realizó dicha actividad fue en la tarde para aprovechar lo fresco de la misma y así evitar el estrés de las plántulas.

El control de malezas durante el ciclo de cultivo y de acuerdo a las necesidades, se realizó las limpieas para eliminar las malezas en los sustratos que procedían de materiales de origen local, dicha labor fue realizada en forma manual para evitar el daño en la planta.

Para el control de enfermedades del follaje se utilizaron fungicidas preventivos y en la fertilización se utilizó fertilizaciones hidrosolubles y se complementó con aplicaciones foliares de Calcio-Boro y Zinc.

El tutorado fue empleando estacas de bambú, las cuales se enterraron a lo largo del surco utilizando un aparato que se llama maceador el cual está construido de hierro (*Ver Anexo 18*) para tal efecto se coloca en la parte superior de la estaca de bambú para después sumirlo a través de golpes hacia abajo para enterrar la estaca y luego se colocó en ambos lados pita de nylon de polipropileno de color negro, las varas fueron distribuidas a lo largo de los surcos a una distancia de cada cinco plantas y conforme fue el desarrollo vegetativo de la planta se realizaron los diferentes niveles o pisos de la pita para evitar el agobio de la planta de tomate debido a la carga de los frutos.

En el momento en que los frutos del cultivo llegaron a su madurez fisiológica o sea el momento del corte, se procedió a la recolección de los mismos. Para ello, se realizó 4 cortes ya que la cosecha no llega a su madurez de manera simultánea. Únicamente se cosecharon los frutos que presentaron un color rojo brillante de manera uniforme. La frecuencia entre cada corte fue semanal.

#### **6.12.2 Registro de datos de campo**

Durante la fase de desarrollo de la investigación, se llevó un proceso de recolección sistemática de los parámetros de medición de las diferentes variables de respuesta, tales como altura de planta, diámetro del tallo, se realizaron a medida que el cultivo iba creciendo; para el caso de la variable rendimiento; para las variables de respuesta de materia seca tanto de raíz como de follaje se realizó su análisis e interpretación en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente (CUNORI).

#### **6.13 Variables de respuesta**

Se adquirieron pilones, y los mismos fueron trasplantados a los diferentes contenedores, se estuvo evaluando las siguientes variables de respuesta:

- Altura de la planta en centímetros.
- Diámetro del tallo principal en milímetros
- Clasificación de frutos por tratamiento y categoría (primera, segunda, tercera y rechazo) (total cuatro cortes con intervalos de ocho días)
- Materia seca de la parte aérea.

- Materia seca de raíces.
- Análisis de presupuestos parciales.
- Análisis físico, químico y bacteriológico del agua de riego.

#### **6.14 Medición del rendimiento**

Primero se cosechó todos los frutos en los surcos centrales (parcela neta) que presentaron madurez fisiológica teniendo como característica principal la coloración roja; posteriormente se clasificaron por tamaños y así clasificarlos en cuatro categorías siendo estas: primera, segunda, tercera y rechazo (cuartilla).

Luego se procedió al pesaje en kilogramos de cada una de las categorías por tratamiento; después se multiplicó por el factor de 0.8 para ajustar el valor de la parcela neta a un área mayor y así poder presentar los resultados en Kg/Ha.

#### **6.15 Estimación de la *relación beneficio costo***

Con la finalidad de determinar los tratamientos con mayor beneficio económico, se realizó un análisis de presupuestos parciales. Este consistió primeramente en la estimación de los costos para la variante de cada sustrato ya que el manejo fue el mismo para todo el cultivo, luego la clasificación por categoría y posteriormente el pesaje de cada uno de los rendimientos obtenidos en cada tratamiento para luego convertirlo al precio de venta actual.

#### **6.16 *Análisis de la información***

##### **6.16.1 *Análisis estadístico y prueba de medias***

Se trabajó con el apoyo del programa estadístico InfoStat versión 2017 donde se utilizó los siguientes análisis estadísticos: Análisis de varianza mediante Generalized Linear Model (GLM) y Prueba de medias LSD de Fisher (Balzarini, y otros, 2015) Licencia: EMWO-KL0L-KWLH-TLPF.

##### **6.16.2 *Análisis económico***

Se determinó la rentabilidad de cada tratamiento con presupuestos parciales, utilizando la metodología de CIMMYT.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Fase de campo

#### 7.1.1 Análisis estadístico

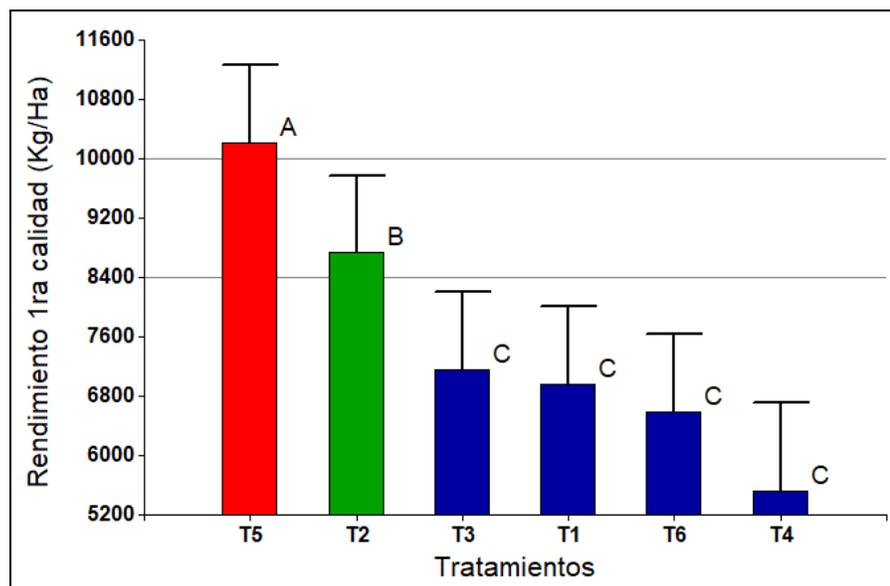
##### Primera calidad

El sustrato que tuvo una mayor producción de tomate de primera calidad fue el T5 (80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa)) con un rendimiento de 10,221.29 Kg/Ha seguido del T2 (Peat moss BM6) con 8,737.65 Kg/Ha. (Ver Anexo 37)

En la figura tres se representan cada uno de los tratamientos de acuerdo a su valor de importancia en cuanto al rendimiento de tomate de primera calidad en Kg/Ha.

#### Figura 3.

*Rendimiento de los tratamientos de primera calidad en Kg/Ha*



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis Modelo Linnear Generalizado (GLM) de varianza se observó que existe diferencia significativa para los tratamientos evaluados en primera calidad con un valor de  $p=0.0280$ ; la prueba de hipótesis secuencial de los datos y el análisis de varianza se realizó utilizando el mejor modelo.

En la tabla 5 se muestra donde se seleccionó el modelo utilizado para todas las calidades de la producción minimizando los valores calculados de los estadísticos AIC (Criterio Akaike de la Información) y BIC (Criterio Bayesiano de la Información).

**Tabla 5**

*Modelos estadísticos comparados*

Modelo estadístico	Correlaciones	Heteroscedasticidad	AIC	BIC
$Y_{ij} = e^{\mu} * e^{Ti} * e^{Bj} + \varepsilon_{ij}^*$	-	-	<b>353.59</b>	<b>360.71</b>
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	Simetría compuesta (corCompSymm)	-	355.33	363.34
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	Autorregresivo de orden 1 (corAR1)	-	355.26	363.28
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	Autorregresivo continuo de orden 1 (corCAR1)	-	355.59	363.60
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	ARMA(p,q) (corARMA)	-	357.26	366.16
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	-	varIdent	356.09	367.66
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	-	varExp	357.58	370.05
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	-	varPower	357.51	369.97
$Y_{ij} = \mu + Ti + Bj + \varepsilon_{ij}$	-	varConstPower	369.39	387.19

Fuente: Elaboración propia

\*Modelo estadístico utilizado para todas las calidades de la producción

Para encontrar el o los tratamientos que difieren entre sí para el rendimiento de tomate de primera calidad se realizó la prueba de medias por el método LSD (Least Significant Difference) de Fisher (Balzarini, y otros, 2015). (Ver Anexo 7).

**Tabla 6**

*Prueba de medias por el método LSD Fisher para los datos de primera calidad en la fase de campo*

<b>Tratamiento</b>	<b>(Medias) Tomate Primera Calidad en Kg/Ha</b>	<b>E.E.</b>	<b>Literal</b>
T5	10,221.29	1134.88	A
T2	8,737.65	1134.88	B
T3	7,161.87	1134.88	C
T1	6,968.15	1134.88	C
T6	6,592.51	1134.88	C
T4	3,972.52	1134.88	C

*Fuente:* Elaboración propia.

### **Segunda calidad**

De acuerdo al análisis Modelo Linnear Generalizado (GLM) de varianza se observó que no existe diferencia significativa para los tratamientos evaluados en segunda calidad con un valor de  $p=0.2134$ .

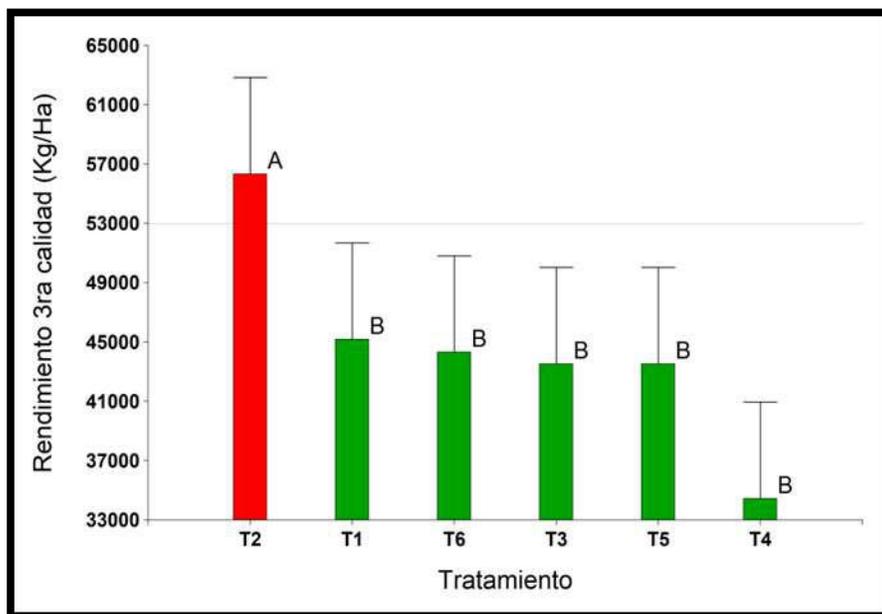
### **Tercera calidad**

El sustrato que tuvo una mayor producción de tomate de tercera calidad fue el T2 (Peat moss BM6) con un rendimiento de 56,335.81 Kg/Ha seguido del T1 (100% fibra de coco comercial) con 45,186.06 Kg/Ha. Así mismo se observó que si existe diferencia significativa para los tratamientos evaluados en tercera calidad con un valor de  $p=0.0206$ .

En la figura cuatro se representan cada uno de los tratamientos de acuerdo a su valor de importancia en cuanto al rendimiento de tomate de tercera calidad en Kg/Ha.

**Figura 4.**

*Rendimiento de los tratamientos de tercera calidad en Kg/Ha*



Fuente: Elaboración propia

Para encontrar el o los tratamientos que difieren entre sí para el rendimiento de tomate de tercera calidad se realizó la prueba de medias por el método LSD (Least Significant Difference) de Fisher (Balzarini, y otros, 2015).

**Tabla 7**

*Prueba de medias por el método LSD Fisher para los datos de tercera calidad en la fase de campo*

Tratamiento	(Medias) Tomate de Tercera Calidad en Kg/Ha	E.E	Literal
T2	56,335.81	6505.47	A
T1	45,186.06	6505.47	B
T6	44,313.12	6505.47	B
T3	43,537.05	6505.47	B
T5	43,529.96	6505.47	B
T4	34,454.47	6505.47	B

Fuente: Elaboración propia.

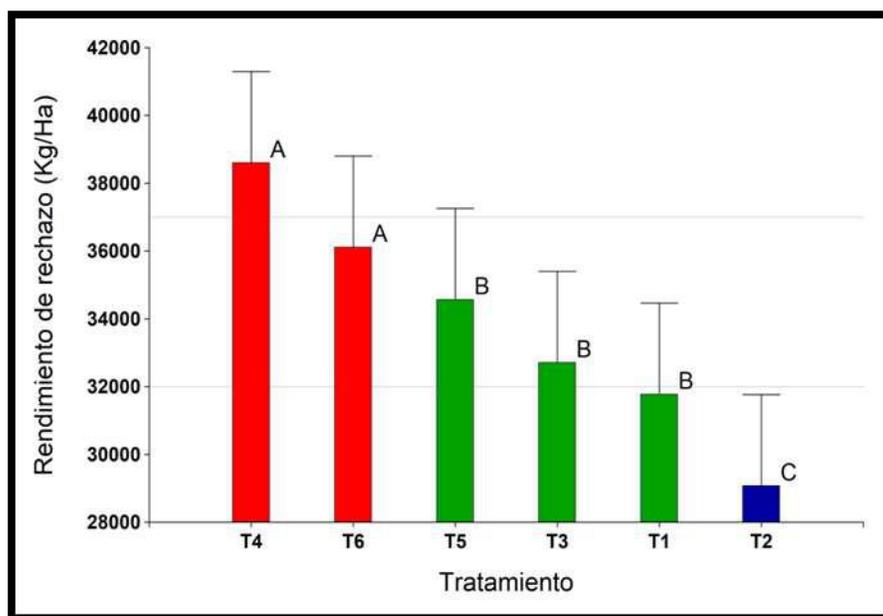
### Cuarta calidad (Rechazo)

El sustrato que tuvo una mayor producción de tomate de cuarta calidad (rechazo) fue el T4 (80% Piedra pómez + 20% ceniza de cascarilla de arroz) con un rendimiento de 38,603 Kg/Ha seguido del T6 (50% fibra de coco comercial + 50% piedra pómez) con 36,109.39Kg/Ha. Así mismo se observó que si existe diferencia significativa para los tratamientos evaluados en cuarta calidad (rechazo) con un valor de  $p=0.0363$ .

En la figura cinco se representan cada uno de los tratamientos de acuerdo a su valor de importancia en cuanto al rendimiento de tomate de cuarta calidad (rechazo) en Kg/Ha.

**Figura 5.**

*Rendimiento de los tratamientos de cuarta calidad (rechazo) en Kg/Ha*



Fuente: Elaboración propia

Para encontrar el o los tratamientos que difieren entre sí para el rendimiento de tomate de cuarta calidad (rechazo) se realizó la prueba de medias por el método LSD (Least Significant Difference) de Fisher (Balzarini, y otros, 2015).

**Tabla 8**

*Prueba de medias por el método LSD Fisher para los datos de cuarta calidad en la fase de campo*

<b>Tratamiento</b>	<b>(Media) Tomate Cuarta Calidad (rechazo) en Kg/Ha</b>	<b>E.E.</b>	<b>Literal</b>
T4	38,603	2692	A
T6	36,109.39	2692	A
T5	34,563.15	2692	B
T3	32,707.42	2692	B
T1	31,770.69	2692	B
T2	29,075.1	2692	C

Fuente: Elaboración propia.

### **Total rendimientos**

De acuerdo al análisis Modelo Linnear Generalizado (GLM) de varianza se observó que no existe diferencia significativa para los tratamientos evaluados en el total de los rendimientos de todas las calidades con un valor de  $p=0.2061$ .

#### **7.1.2 Desarrollo vegetativo**

En la variable respuesta de altura de planta y diámetro del tallo se procedió a realizar un promedio donde se presentan los resultados que cada tratamiento manifestó. (Ver Anexos 38 y 39). Adicionalmente se puede decir que el cultivo de tomate tuvo un crecimiento normal y que se desarrolló de igual forma en los diferentes sustratos evaluados a excepción del desarrollo radicular donde ahí si se ven diferencias en cuanto al desarrollo de la raíz; siendo el tratamiento T2 (Peat moss BM6) el que presenta un mejor y mayor desarrollo radicular en comparación con el resto de los sustratos estos resultados se pueden apreciar en el (Anexo 5) con la identificación 106-M1, 106-M2 y 106-M3 obteniendo un promedio de 86.98 gramos en peso húmedo de las tres muestras.

**Tabla 9***Promedios del desarrollo vegetativo del cultivo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Resumen</b>	<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>
<b>T1</b>	Media	118.44	17.54
	E.E.*	4.54	1.12
<b>T2</b>	Media	119.19	16.22
	E.E.	5.63	1.07
<b>T3</b>	Media	113.38	16.78
	E.E.	4.9	1.01
<b>T4</b>	Media	122.06	18.75
	E.E.	2.75	1.06
<b>T5</b>	Media	111.56	18.09
	E.E.	3.37	1.17
<b>T6</b>	Media	117.63	18.69
	E.E.	4.64	0.35

*Fuente:* Elaboración propia.

Altura: cm

Diámetro: mm

\*E.E.: Error Estándar

**7.1.2.1 Materia Seca**

Para el análisis de materia seca se procedió a seleccionar 3 plantas (muestras) al azar de la parcela neta en cada tratamiento de la primera repetición para su preparación previo al análisis de laboratorio, que consistió en eliminar todos los frutos, luego se separó la planta del sustrato, esto se hizo con la aplicación de agua a presión en las bolsas o contenedores para poder retirar o separar la raíz del sustrato y dejarlas limpias completamente, finalmente se cortó la parte aérea (follaje) de la parte subterránea (raíz) para separarlas y ser introducidas en forma separada en bolsas de papel kraft para luego ingresarlas al horno y así deshidratarlas. Este análisis se realizó en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente - CUNORI-(Ver Anexos 4 y 5).

Debido a que el tamaño fue muy pequeño no se realizaron pruebas de inferencia estadística. Sin embargo se pudo observar en los resultados de laboratorio, que el tratamiento T2 (Peat moss BM6) es el que presentó los mayores valores en porcentaje de materia seca tanto de follaje como de raíz; superando al resto de tratamientos.

### 7.1.3 Análisis económico

En el análisis de varianza realizado para los rendimientos en cuanto a la producción de primera calidad de los tratamientos el T5 mostró mejor resultado siguiéndole el T2, T4, T6, T1 y T3.

En el análisis económico se utilizó la metodología de presupuestos parciales propuesta por (CIMMYT, 1988).

#### 7.1.3.1 Costos variables

Para la estimación de este cálculo se tomó en cuenta el costo del sustrato como tal, siendo el precio de cada sustrato la variación entre los seis sustratos. Ya que el manejo del ensayo y de todos sus tratamientos fue el mismo en cuanto a fertirriego, aplicación de insecticidas y fungicidas en forma preventiva y además fitohormonas.

#### Tabla 10.

*Cálculo de los costos variables de los tratamientos, El Amatillo, Ipala, Chiquimula.*

TRATAMIENTO		COSTO DEL SUSTRATO/BOLSA	COSTO POR HECTÁREA
1	Fibra de coco (100%)	Q 8.25	Q 137,502.75
2	Peat moss BM6 (100%)	Q 14.43	Q 240,504.81
3	Peat moss TS1 (100%)	Q 12.37	Q 206,170.79
4	Piedra pómez (80%) + 20 % Ceniza de cascarilla de arroz)	Q 2.40	Q 40,000.80
5	Piedra pómez (fina) 80% + Piedra pómez (gruesa) 20%	Q 1.75	Q 29,167.25
6	Fibra de coco (50%) + Piedra pómez (50%)	Q 5.00	Q 83,335.00

Fuente: Elaboración propia con base a la metodología de (CIMMYT, 1988)

### 7.1.3.2 Beneficio bruto agrícola

Para el cálculo del beneficio bruto agrícola se multiplicaron los rendimientos obtenidos en campo por 0.8, después estos datos transformados fueron sometidos al análisis económico de presupuestos parciales, por recomendación de (CIMMYT, 1988). El precio de venta en campo utilizado para las diferentes clasificaciones fue de Q60.00/caja para primera calidad, Q50.00/caja para segunda calidad, Q40.00/caja para tercera calidad y Q15.00/caja para el rechazo, se vendió al mercado de El Salvador por lo que los precios fueron por cada una de las cajas de 50 libras.

**Tabla 11.**

*Rendimientos ajustados y beneficio bruto agrícola*

	TRATAMIENTO	RENDIMIENTO KG/HA	RENDIMIENTO AJUSTADO KG/HA *(0.8)	BENEFICIO BRUTO AGRÍCOLA Q/KG
1	100% Fibra de coco	104,883.68	83,906.94	Q 165,001.52
2	100% de peat moss (BM6)	119,762.59	95,810.07	Q 197,758.85
3	100% de peat moss (TS1)	103,293.71	82,634.96	Q 160,871.65
4	80% de Piedra pómez + 20% cascarilla de arroz	92,018.75	73,615	Q 129,580.56
5	80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa)	109,915.75	87,932.6	Q 173,931.58
6	50% de fibra de coco + 50% piedra pómez	104,362.74	83,490.192	Q 157,392.47

Fuente: Elaboración propia con base a la metodología de (CIMMYT, 1988)

### 7.1.3.3 Análisis de dominancia

Para el análisis de dominancia se efectuó, primero, un ordenamiento de los tratamientos de menores a mayores totales de costos variables. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios brutos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

**Tabla 12.***Análisis de dominancia entre tratamientos*

TRATAMIENTO		COSTOS VARIABLES / HA	BENEFICIOS BRUTOS /HA	DOMINANCIA
5	80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa)	Q 29,167.25	Q 173,931.58	ND
4	80% de Piedra pómez + 20% cascarilla de arroz	Q 40,000.80	Q 129,580.56	D
6	50% de fibra de coco + 50% piedra pómez	Q 83,335.00	Q 157,392.47	D
1	100% Fibra de coco	Q 137,502.75	Q 165,001.52	D
3	100% de peat moss (TS1)	Q 206,170.79	Q 160,871.65	D
2	100% de peat moss (BM6)	Q 240,504.81	Q 197,758.85	ND

Fuente: Elaboración propia con base a la metodología de (CIMMYT, 1988)

\* ND= No dominado      D= Dominado

**7.1.3.4 Tasa marginal de retorno**

La tasa marginal de retorno se calculó dividiendo la diferencia de los beneficios marginales de los tratamientos entre la diferencia de los costos variables obtenidos por la venta de ambos tratamientos.

**Tabla 13.***Cálculo de la tasa marginal de retorno*

	Tratamiento	Beneficios brutos	Beneficios marginales	Costos	Costo marginal	Tasa marginal de retorno
			(2 - 5)		(2 - 5)	
5	80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa)	Q 173,931.58	Q23,827.27	Q 29,167.25	Q 211,337.56	11.27%
2	100% de peat moss (BM6)	Q 197,758.85		Q 240,504.81		

Fuente: Elaboración propia con base a la metodología de (CIMMYT, 1988)

De acuerdo a los resultados obtenidos utilizar el tratamiento 2 sobre el tratamiento 5 no optimiza los ingresos debido a que la tasa de retorno marginal calculada para la diferencia de costos y beneficios entre ambos tratamientos al ser comparado con las recomendaciones dadas por (CIMMYT, 1988) donde se hace mención que para elegir una tecnología por encima de otra la tasa marginal de retorno mínima aceptable debe de sobrepasar del 50%, por lo que en este caso económicamente se

recomienda utilizar el tratamiento 5 correspondiente a una mezcla del 80% de Piedra pómez (fina) + 20% de Piedra pómez (gruesa).

En cuanto a la cantidad de cajas producidas en los diferentes tratamientos se puede apreciar en el (*Anexo 36*) que los tratamientos T1, T2, T3, T5 y T6 son los que más produjeron tomate de tercera estando entre un rango de 39.00% a 47.00% de la producción total en Kg/Ha a diferencia del T4 que presentó una mayor producción teniendo 41.00% de tomate de rechazo lo cual va en detrimento de la economía del productor debido a los bajos precios y lo complicado de su comercialización.

#### **7.1.4 Análisis Físico-químico y bacteriológico de agua**

Para el análisis de agua se tomó dos muestras en el pozo que proveyó del líquido bajo un sistema de riego por goteo; teniendo dos tanques de 450 litros cada uno para hacer las mezclas en la fertirrigación. Posteriormente dichas muestras fueron trasladadas al Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente - CUNORI- para observar la calidad física, química y bacteriológica; así mismo también ver si alguna de las bacterias afectaban el desarrollo y producción del cultivo (*Ver anexo 6*).

Tomando como base los resultados del análisis físico-químico de agua, se puede inferir que se encuentran dentro del límite máximo aceptable los siguientes parámetros: Turbidez, Conductividad, Temperatura de Agua, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Oxígeno Disuelto mg/l, Oxígeno Disuelto en Porcentaje de Saturación, pH, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Sulfato, Demanda biológica de oxígeno y Dureza.

El análisis bacteriológico del agua si presentó resultados fuera de los parámetros de valor de referencia y también indicó la presencia de coliformes totales, *Escherichia Coli* y coliformes fecales. Aunque estos valores son alarmantes se pudo observar que tanto las plantas como los frutos no presentaron ninguna sintomatología que indicara la presencia de los mismos. Esto debido a que el sistema radicular no presentó ningún daño por plagas o enfermedades que hubieran permitido el ingreso

de dichas bacterias en los principales haces vasculares como lo son el xilema y floema.

Algo importante de mencionar es que se monitoreó el pH del agua, la conductividad eléctrica; desde que fue trasplantado el pilón al contenedor (bolsa de polipropileno) y tomaren cuenta las diferentes fases fenológicas del cultivo de tomate para poder ir ajustando el pH y la conductividad eléctrica para poder lograr mejores resultados de respuesta de la planta al fertirriego.

## 8. CONCLUSIONES

1. En esta investigación se comprobó que si es factible producir tomate dentro de contenedores o bolsas plásticas perforadas cuyo sustrato sea a base de Piedra pómez de diferente granulometría en terrenos en donde exista la presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum*.
2. En la prueba de medias por el método LSD Fisher se conformaron tres grupos siendo A, B y C (*Tabla 6, página 29*), siendo el tratamiento T5 el que se ubicó en la literal A que obtuvo el mayor rendimiento de tomate de primera calidad alcanzando 10,221.29 Kg/Ha de tomate; seguido por el tratamiento T2 que se ubicó en la literal B con un rendimiento de 8,737.65 Kg/Ha y el resto de tratamientos se ubicaron en la literal C siendo éstos T1 ,T3 ,T4 y T6 con rendimientos de 6,968.15 Kg/Ha, 7,161.87Kg/Ha, 3,972.52 Kg/Ha y 6,592.51 Kg/Ha, respectivamente.
3. En el análisis de presupuestos parciales, los tratamientos T5 obteniendo un ingreso de Q 144,764.33 seguido del T4 obteniendo un ingreso de Q 89,579.76 son los que económicamente son más rentables. El costo de utilizar el T2 como Peat moss (BM6), incrementa en una tercera parte el costo de producción del cultivo de tomate lo cual lo hace no rentable dados los precios de venta actuales de dicho cultivo; pero si resulta ser una alternativa para un productor que tiene la limitante de la presencia de bacteria *Ralstonia solanacearum* en su terreno y que presentó el mejor desarrollo radicular con un promedio de 86.98 gramos en peso húmedo de las tres muestras (*Anexo 5*) Para los tratamientos T5 ( $\bar{X}$ : 72.18 g, con D.E.: 26.83  $\pm$ ) y T2 ( $\bar{X}$ : 86.98 g, con D.E.: 18.77 $\pm$ ); en comparación a los tratamientos T1 ( $\bar{X}$ : 71.12 g, con D.E.: 28.04 $\pm$ ), T3 ( $\bar{X}$ : 76.92 g, con D.E.: 46.23 $\pm$ ), T4 ( $\bar{X}$ : 40.97 g, con D.E.: 7.03 $\pm$ ) Y T6 ( $\bar{X}$ : 51.24 g, con D.E.: 18.77 $\pm$ ).
4. En el análisis de agua realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI– se encontraron en los rangos aceptables, lo cual garantizó el desarrollo óptimo del cultivo. Los resultados del análisis bacteriológico del agua

presentaron problemas debido a la presencia de *Escherichia coli*, Coliformes fecales y Coliformes totales; ya que se encuentran sus valores muy por encima de los parámetros normales, pero eso no influyó en el desarrollo vegetativo ni en la producción de frutos ya que no hubo manifestaciones por su presencia en el agua de riego.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Tomando en cuenta los resultados de la investigación en donde el sustrato de piedra pómez supero al resto de tratamientos, es importante tomar en cuenta que si hay un productor tomatero, que su terreno tenga problemas de presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum* y que el precio de caja de 50 libras de tomate supere el precio de Q100.00, la mejor alternativa es producir tomate en ese terreno pero con bolsas de polipropileno perforadas y un sustrato a base de piedra pómez con riego por goteo con doble manguera colocadas sobre las bolsas para con ello evitar la migración .
2. Debido a las tazas diferenciales de lixiviación del agua que se apreciaron en la fase de campo se recomienda realizar un estudio sobre cantidad (láminas) y frecuencia de riegos en los mejores tratamientos.
3. Evaluar otros tipos de contenedores a fin de ver si mejora la producción en los diferentes sustratos.
4. Realizar análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua al inicio y al final de la ejecución de un proyecto de este tipo para ver su incidencia en la producción del cultivo de tomate y determinar si los frutos puedan verse contaminados de dichas bacterias.

## 10. PRESUPUESTO

<b>PRESUPUESTO</b>						
	<b>Descripción</b>	<b>Monto programado</b>	<b>Costo Unitario (Quetzales)</b>	<b>Costo Total (Quetzales)</b>	<b>Monto Ejecutado</b>	<b>Saldo</b>
400	Viajes oficiales (Viáticos al interior)	30	165	4950		
501	Publicaciones	3	1000	3000		
505	Materiales e insumos	3	7500	22500		
	Análisis de muestras en laboratorios nacionales	12	500	6000		
509	Materiales y equipo para la elaboración (plástico, balanzas, manguera riego, identificación de parcelas, tutores, pita rafia, cubetas plásticas)	3	8000	24001		
709	Combustibles			10000		
711	Jornales (Mano de obra)	195	81.87	15964.65		
	Transporte y atención de productores o Técnicos para transferencia de información generada	3	3000	6000		

Incentivos para investigador principal (3 horas/mes por 5 meses) Ismar Hidalgo Portillo	10	1631	24465		
Incentivos para investigador auxiliar (2 horas/mes por 5 meses) Nestor Salguero	10	1348	13480		
<b>TOTAL</b>			<b>130,360.65</b>		

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldana Perez, W. A. (2017). Evaluación de tres Cultivares de Tomate de Crecimiento Indeterminado. (Tesis de Licenciatura en Ciencias Hortícolas) Universidad Rafael Landivar. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/09/Aldana-Walfred.pdf>

Arango Aragón, E. A. (2017). Evaluacion de Potenciales Estimulantes Naturales para la Producción de Almácigos Flotantes de Tomate. (Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Gerencia Agrícola) Universidad Rafael Landivar. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/14/Arango-Erick.pdf>

Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W., y Casanoves, F. (2012). Estadística y biometría: Ilustraciones del uso de Infostat en problemas de agronomía. Córdoba: Editorial Brujas. Recuperado de <http://www.agro.unc.edu.ar/~mcia/archivos/Estadistica%20y%20Biometria.pdf>

CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos, Un manual metodológico de evaluación. México D.F.

De la Cruz, J. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basado en el Sistema Holdridge. INAFOR, 35.

- Donado Avalos, J. C.(2013). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) de crecimiento indeterminado en invernadero, utilizando fibra de coco, en Santa Rosa, Guatemala. (Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Gerencia Agrícola) Universidad Rafael Landívar. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/14/Donado-Juan.pdf>
- FASAGUA. (2011). Federación de Asociaciones Agrícolas de Guatemala. Recuperado de <http://www.fasagua.com/node/46>
- Gómez, F. (2001). Evaluación del Bokashi como sustrato para semilleros en la región Atlántica de Costa Rica.(Tesis de Ingeniero Agrónomo)Universidad de Earth, Costa Rica.Recuperado de [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/bokashi\\_sustrato\\_para\\_semilleros\\_cr.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/bokashi_sustrato_para_semilleros_cr.pdf)
- INFOAGRO. (2011). Tipos de sustratos de cultivo. Recuperado de [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustratos2.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos2.htm)
- INSIVUMEH. (2018). Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Temperatura Mínima Promedio en °C. Recuperado de <http://www.insivumeh.gob.gt/estaciones/CHIQUIMULA/Ipala/Temp.%20min.%20prom.%20IPALA.htm>
- ITIS. (2014). Integrated Taxonomic Information System. Recuperado de [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=521671#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671#null)
- Jaramillo, J., Rodríguez, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo, T. (2007). Manual técnico: buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Colombia: FAO.
- Nichols. (2009). Advances in coir as a growing medium. Acta Hort 843: 333-336. Recuperado de [https://www.actahort.org/books/843/843\\_44.htm](https://www.actahort.org/books/843/843_44.htm)
- Picón Canahuí, R. C. (2013). Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en los municipios de Esquipulas y Chiquimula, Guatemala. (Tesis de Ingeniero Agrónomo en sistemas de

- producción) Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de [http://cunori.edu.gt/descargas/TESIS\\_RIGOBERTO\\_PICN.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/TESIS_RIGOBERTO_PICN.pdf)
- Riat, M. (2010). Propiedades químicas de sustratos. Recuperado de <http://unrn.edu.ar/blogs/suelosysustratos/files/2013/08/Teorico-N%C2%BA-5-Fisica-sustratos.pdf>
- Rosas Velásquez, D. A. (2016). Evaluación de sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), variedad santa cruz no. 1, en los municipios de Chiquimula, Jocotán y San Juan Ermita, departamento de Chiquimula, Guatemala. (Tesis de Ingeniero Agronomo en sistemas de producción) Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de [http://cunori.edu.gt/descargas/TESIS\\_COMPLETA\\_DIEGO\\_ANDRES\\_ROSAS\\_VELASQUEZ.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/TESIS_COMPLETA_DIEGO_ANDRES_ROSAS_VELASQUEZ.pdf)
- Saboya. (2011). Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/>
- Villarreal, R. (1982). Tomates. IICA San José, Costa Rica, 184. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9809e/A9809e.pdf>
- Watanebe, J. (2006). Informe final de apoyo al laboratorio de biotecnología de la FAUSAC. Guatemala. USAC, Facultad de Agronomía. 50p.

## **12. ANEXOS**

**Anexo 1.**

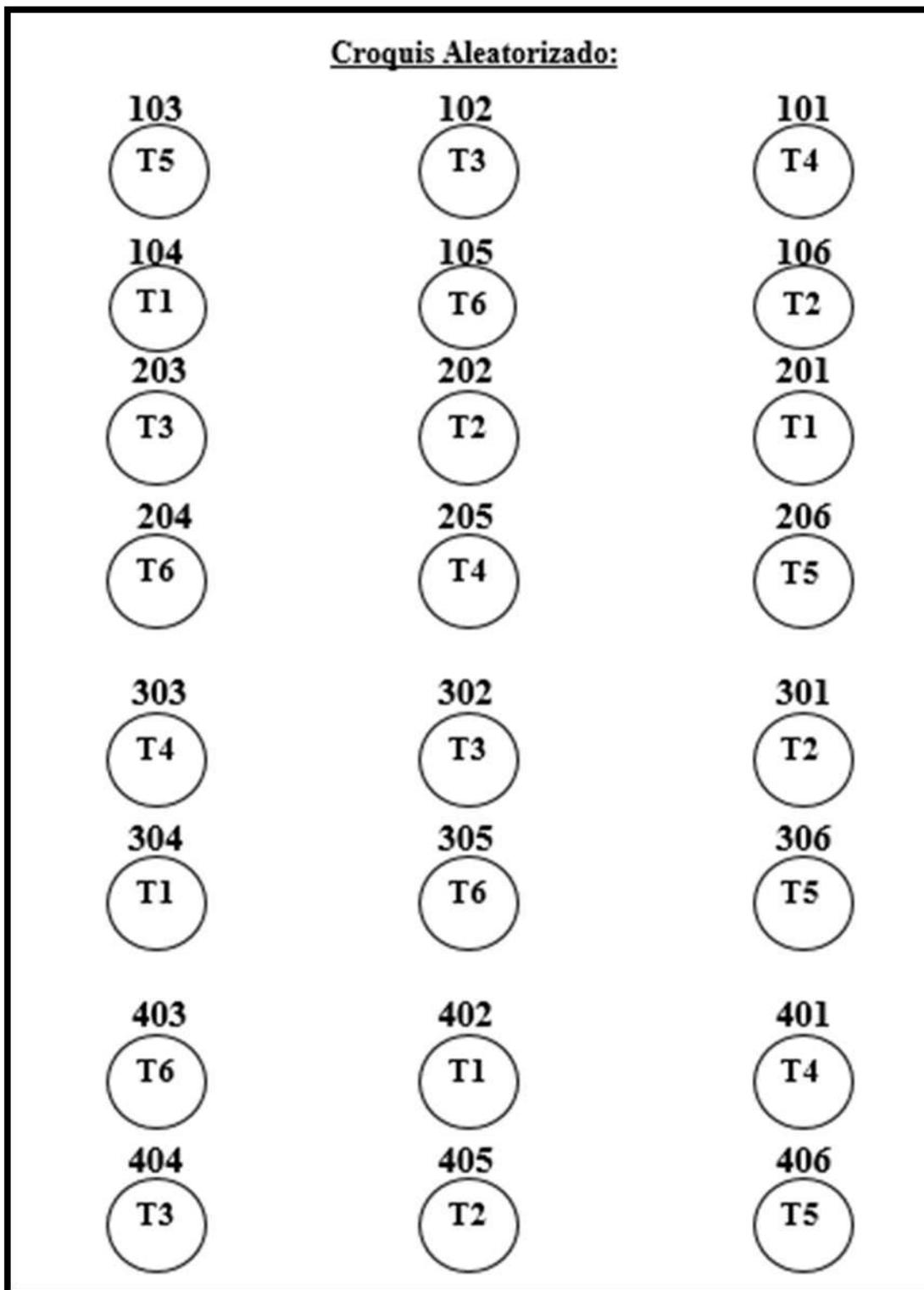


Figura 6. Ubicación de los tratamientos en cada bloque

**Anexo 2.**

Figura 7. Vista aérea, localización de invernadero. El Amatillo, Ipala.

**Anexo 3.**

Figura 8. Vista frontal de invernadero, El Amatillo, Ipala

## Anexo 4.

**CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-**  
**LABORATORIO DE SUELOS**  
Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula  
Tel. 79420173 - 79420176

Nombre Propietario:	Ismar Hidalgo Portillo	No. Muestras:	18
Nombre de Finca:		Fecha:	24/04/2018
Localización:	Aldes El Amatillo, Ipela, Chiquimula	Teléfono:	
Identif. de la muestra:	Follaje		
Cultivo:	Tomate		

**ANALISIS DE MATERIA SECA**

**RESULTADOS DEL ANALISIS DE MATERIA SECA**

IDENTIFICACIÓN	PESO HUMEDO (gr.)	PESO SECO (gr.)	% Humedad	% Materia Seca
101-M1	876.11	213.82	75.59	24.41
101-M2	924.59	146.42	84.16	15.84
101-M3	466.04	96.42	79.43	20.57
102-M1	489.31	127.92	73.85	26.14
102-M2	548.31	126.06	77.01	22.99
102-M3	366.86	84.70	78.20	23.74
103-M1	986.75	189.27	82.85	17.15
103-M2	403.75	71.14	82.38	17.62
103-M3	860.78	172.26	80.44	19.56
104-M1	465.37	68.21	78.90	21.10
104-M2	449.56	87.52	80.66	19.45
104-M3	457.25	111.06	75.71	24.29
105-M1	773.06	190.70	75.33	24.67
105-M2	791.09	162.53	79.45	20.55
105-M3	589.22	126.39	78.72	21.28
106-M1	476.90	122.44	74.43	25.57
106-M2	439.99	105.43	76.04	23.96
106-M3	587.03	142.19	75.78	24.22

  
 Ph.D. Rodolfo A. Chicas SGA  
 Coordinador del Laboratorio de Suelos -CUNORI-



Figura 9. Análisis de Materia seca en Follaje realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–.

## Anexo 5.

 **CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-**  
**LABORATORIO DE SUELOS**  
Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula  
Tel. 79420173 - 7942676

Nombre Propietario: Ismar Hidalgo Portillo	No. Muestras: 18
Nombre de Finca:	Fecha: 24/04/2018
Localización: Aldea El Amatillo, Ipala, Chiquimula	Teléfono:
Identif. de la muestra: Raíz	
Cultivo: Tomate	

**ANÁLISIS DE MATERIA SECA**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MATERIA SECA**

IDENTIFICACIÓN	PESO HUMEDO (gr.)	PESO SECO (gr.)	% Humedad	% Materia Seca
101=M1	40.22	7.74	80.76	19.24
101=M2	48.63	5.03	89.66	10.34
101=M3	34.07	2.91	91.46	8.54
102=M1	122.37	15.47	87.36	12.64
102=M2	78.47	8.56	89.09	10.91
102=M3	29.93	1.60	94.65	5.35
103=M1	75.78	14.90	80.34	19.66
103=M2	43.73	9.08	79.24	20.76
103=M3	97.03	18.58	80.85	19.15
104=M1	65.45	8.82	86.52	13.48
104=M2	101.57	20.30	80.01	19.99
104=M3	46.34	5.11	88.97	11.03
105=M1	59.12	7.31	87.64	12.36
105=M2	64.79	12.42	80.83	19.17
105=M3	29.81	3.07	89.70	10.30
106=M1	32.42	0.83	97.44	2.56
106=M2	119.31	49.80	58.26	41.74
106=M3	109.21	48.67	55.43	44.57

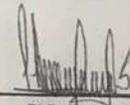
  
 PhD. Rodolfo A. Chicas Goto  
 Coordinador de Laboratorio de Suelos



Figura 10. Análisis de Materia seca en Raíces realizado en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–.

## Anexo 6.

**INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**  
**LABORATORIO AMBIENTAL**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**  
 Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula  
 Tel. 78730300

Referido por:	Ismar Hidalgo Portillo	No. Muestra:	01
Identificación de la Muestra:	Pozo Amatillo	Fecha:	17/04/2018
Localización:	Aldea El Amatillo, Ipala, Chiquimula		
Tipo de Fuente:	Pozo Mecánico		
Uso de Agua:	Agrícola		
Telefono:			

ANÁLISIS DE FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA				
PARAMETROS		RESULTADOS	Limite Máximo Aceptable	Limite Máximo Permisible
Turbidez	NTU	0.27	5	15
Conductividad	µS/cm	276	---	menor de 1,500
Temperatura de Agua	°C	25.6	15 a 25	34
Sólidos Totales	mg/l	192	500	1000
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	118.7	---	500
Oxígeno Disuelto	mg/l	6.77	8	4
Oxígeno Disuelto	% de Sat.	112.9	---	80 a 100
pH	Unidades	7.81	7.0 a 7.5	6.5 a 8.5
Fosfatos	mg/l	0.30	0.5	1
Nitratos	mg/l	3.5	---	10
Nitritos	mg/l	0.001	---	0.1
Sulfato	mg/l	106.33	100	250
Demanda Biológica de Oxígeno DBO5	mg/l	3.18	3	25
Dureza	mg/l CaCO3	20	100	500

\*Temperatura: los resultados corresponden a la temperatura de la muestra en el laboratorio, no en campo

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE AGUA		
PARAMETROS	RESULTADOS	Valor de Referencia
COLIFORMES TOTALES	Mayor o igual a 2400.0 NMP/100 ml	3
ESCHERICHIA COLI	Mayor o igual a 2400.0 NMP/100 ml	3
COLIFORMES FECALES	43.0 NMP/100 ml	3

  
 Licda. Vilma Leticia Ramos Lopez  
 Responsable Laboratorio Ambiental



Figura 11. Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua realizada en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI–.

## Anexo 7.

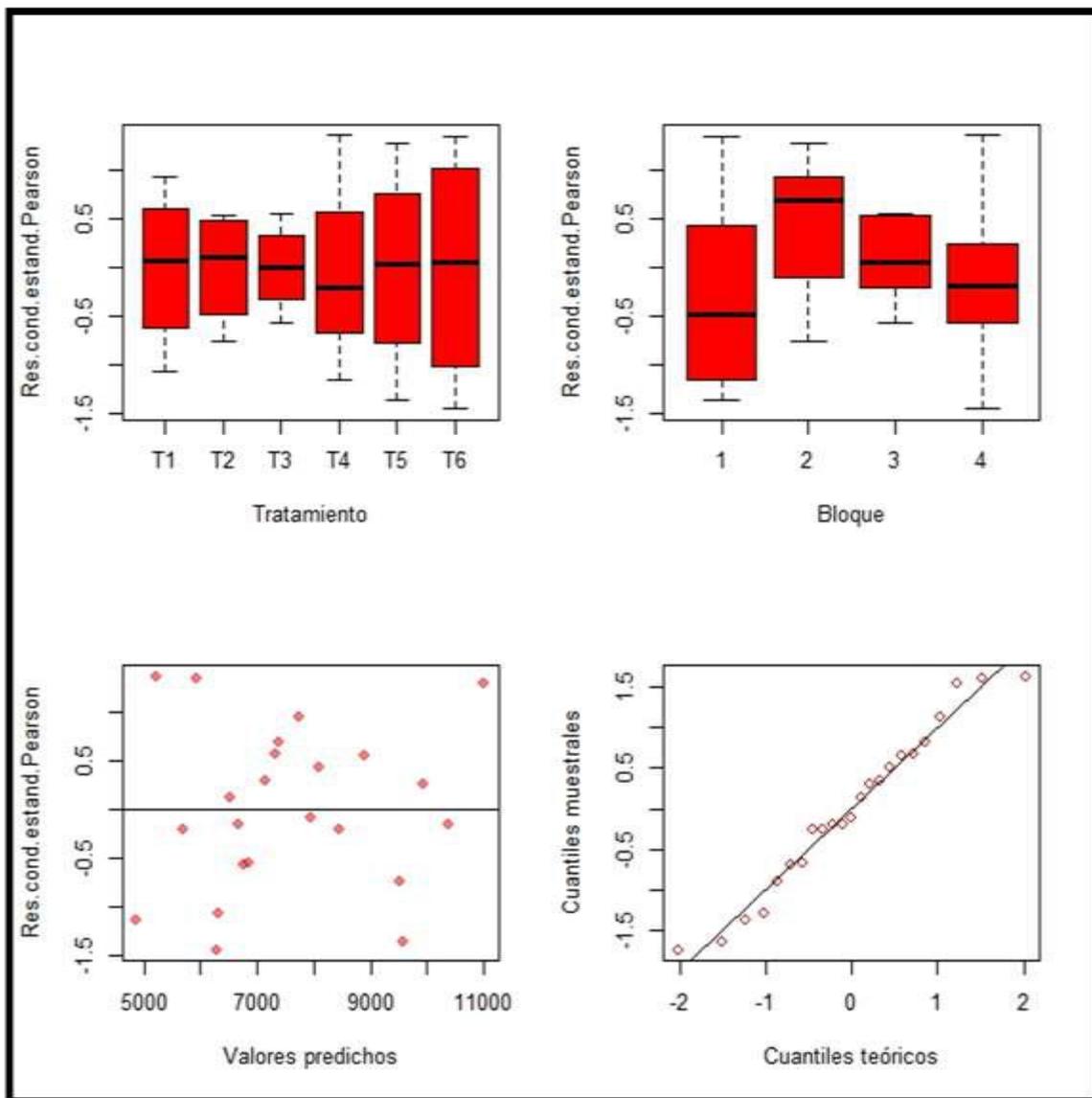


Figura 12. Supuestos de la varianza (homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos), del análisis realizado para la variable rendimiento / Hectárea de tomate en primera calidad.

**Anexo 8.**

Figura 13. Ubicación del invernadero en la Aldea El Amatillo, municipio de Ipala, departamento de Chiquimula.

**Anexo 9.**

Figura 14. Recepción de las pacas de sustratos.

**Anexo 10.**

Figura 15. Preparación de sustratos y llenado de bolsas

**Anexo 11.**

Figura 16. Preparación del invernadero.

**Anexo 12.**

Figura 17. Colocación de las bolsas dentro del invernadero bajo el esquema del diseño experimental.

**Anexo 13.**

Figura 18. Rellenado de las bolsas.

**Anexo 14.**

Figura 19. Instalación del sistema de riego.

**Anexo 15.**

Figura 20. Compra de pilones de tomate.

**Anexo 16.**

Figura 21. Pruebas de riego y preparación de solución madre para el fertirriego.

**Anexo 17.**

Figura 22. Trasplantación de los pilones de tomate.

**Anexo 18.**

Figura 23. Colocación de tutorado.

**Anexo 19.**

Figura 24. Colocación de pitas.

**Anexo 20.**

Figura 25. Limpieza del sistema de riego dentro del invernadero.

**Anexo 21.**

Figura 26. Fertilizaciones foliares.

**Anexo 22.**

Figura 27. Deshojado del cultivo.

**Anexo 23.**

Figura 28. Polinización mecánica.

**Anexo 24.**

Figura 29. Día de campo.

**Anexo 25.**

Figura 30. Cosecha de tomate.

**Anexo 26.**

Figura 31. Clasificación de los frutos.

**Anexo 27.**

Figura 32. Pesaje de los frutos por tratamiento.

**Anexo 28.**

Figura 33. Toma de datos (uso de cinta métrica y vernier).

**Anexo 29.**

Figura 34. Cultivo en óptimas condiciones.

**Anexo 30.**

Figura 35. Sistema radicular del T1

**Anexo 31.**

Figura 36. Sistema radicular del T2

**Anexo 32.**

Figura 37. Sistema radicular del T3

**Anexo 33.**

Figura 38. Sistema radicular del T4

**Anexo 34.**

Figura 39. Sistema radicular del T5

**Anexo 35.**

Figura 40. Sistema radicular del T6

## Anexo 36.

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T1</b>											
1ERA	4,285.55	9530.26248	7878.07463	6578.70816	27,872.59	6,968.15	15,329.93	506.59	6.64	Q18,395.91	Q60
2DA	17,713.91	30920.1972	19136.1245	16064.8946	83,835.12	20,958.78	46,109.32	922.18	19.98	Q46,109.32	Q50
3ERA	25,883.38	46304.6962	52683.4044	55872.7585	180,744.24	45,186.06	99,409.33	1,988.18	43.08	Q79,527.64	Q40
RECHAZO	20,175.61	37213.8559	33311.0315	36382.2613	127,082.76	31,770.68	69,895.52	1,397.91	30.29	Q20,968.65	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>104,883.68</b>		<b>4,614.86</b>	<b>99.99</b>	<b>Q165,001.52</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>83,906.94</b>					

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T2</b>											
1ERA	8,901.84	8093.87	9922.43	8032.44	34,950.58	8,737.65	19,222.83	384.45	7.29	Q23,067.39	Q60
2DA	32,847.98	18106.06	25278.58	26223.57	102,456.21	25,614.05	56,350.91	1,127.01	21.38	Q56,350.91	Q50
3ERA	47,295.52	45808.57	59416.48	72882.64	225,343.21	56,335.80	123,938.76	2,478.77	47.03	Q99,151.00	Q40
RECHAZO	17,217.79	36240.51	29176.68	33665.4	116,300.38	29,075.08	63,965.18	1,279.30	24.27	Q19,189.55	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>119,762.59</b>		<b>3,269.53</b>	<b>99.97</b>	<b>Q197,758.85</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>95,810.07</b>					

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T3</b>											
1ERA	6,718.91	7753.67414	8386.81998	5788.08703	28,647.49	7,161.87	15,756.11	315.12	6.93	Q18,907.33	Q60
2DA	16,206.64	22590.0788	24213.4661	16537.3915	79,549.58	19,887.39	43,752.25	875.04	19.25	Q43,752.25	Q50
3ERA	25,604.61	46602.3693	40044.1123	61897.094	174,148.18	43,537.04	95,781.48	1,915.62	42.14	Q76,625.18	Q40
RECHAZO	29,318.43	54534.7985	35201.0191	31773.4266	130,829.67	32,707.41	71,956.30	1,439.12	31.66	Q21,386.89	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>103,293.71</b>		<b>4,544.90</b>	<b>99.98</b>	<b>Q160,871.65</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>82,654.96</b>					

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T4</b>											
1ERA	2,683.78	118.124225	5291.96528	7796.19886	15,890.07	3,972.51	8,739.52	174.79	4.31	Q10,487.42	Q60
2DA	9,024.69	9350.71366	17482.3853	24097.3419	59,955.13	14,988.78	32,975.31	659.50	16.28	Q32,975.31	Q50
3ERA	19,688.95	23038.9489	45359.7024	49730.2988	137,817.90	34,454.47	75,799.83	1,515.99	37.44	Q60,839.86	Q40
RECHAZO	32,337.69	37497.354	43587.8391	40989.1061	154,411.99	38,602.99	84,926.57	1,698.53	41.95	Q25,477.97	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>92,018.75</b>		<b>4,048.81</b>	<b>99.98</b>	<b>Q129,580.56</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>73,615</b>					

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T5</b>											
1ERA	6,983.50	13442.5368	10064.184	10394.9318	40,885.16	10,221.29	22,486.83	449.73	9.29	Q26,984.19	Q60
2DA	12,625.12	24168.2365	27050.4475	22561.727	86,405.51	21,601.37	47,323.03	950.46	19.65	Q47,523.03	Q50
3ERA	38,825.70	35092.3448	53155.9013	55045.8889	174,119.89	43,529.95	95,765.89	1,915.31	39.60	Q76,612.71	Q40
RECHAZO	31,997.49	34766.3219	34492.2737	36996.5073	138,252.59	34,563.14	76,038.90	1,520.77	31.44	Q22,811.67	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>109,915.75</b>		<b>4,836.27</b>	<b>99.98</b>	<b>Q173,931.58</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>87,932.60</b>					

POR CALIDADES											
REPETICIONES	1	2	3	4	TOTAL (Kg/Ha)	Promedio KG entre repeticiones	TOTAL (Lbs)	# de Cajas	%	PRECIO	Precio utilizado
<b>T6</b>											
1ERA	8,481.32	8675.04309	5669.96281	9543.72675	26,370.05	6,592.51	14,303.52	290.07	6.33	Q17,404.22	Q60
2DA	20,676.46	18474.6288	15828.6482	14411.1355	69,390.89	17,347.72	38,164.98	763.29	16.62	Q38,164.98	Q50
3ERA	43,630.36	34397.7744	53628.3982	45595.9509	177,252.49	44,313.12	97,488.86	1,949.77	42.46	Q77,991.08	Q40
RECHAZO	34,440.30	35579.0168	39453.4912	34964.7706	144,437.58	36,109.39	79,440.65	1,588.81	34.59	Q23,832.19	Q15
					<b>TOTAL</b>	<b>104,362.74</b>		<b>4,591.94</b>	<b>99.98</b>	<b>Q157,392.47</b>	
					<b>Rend. Ajust.</b>	<b>83,490.19</b>					

Tabla 14. Porcentajes de rendimiento por categoría en los diferentes tratamientos

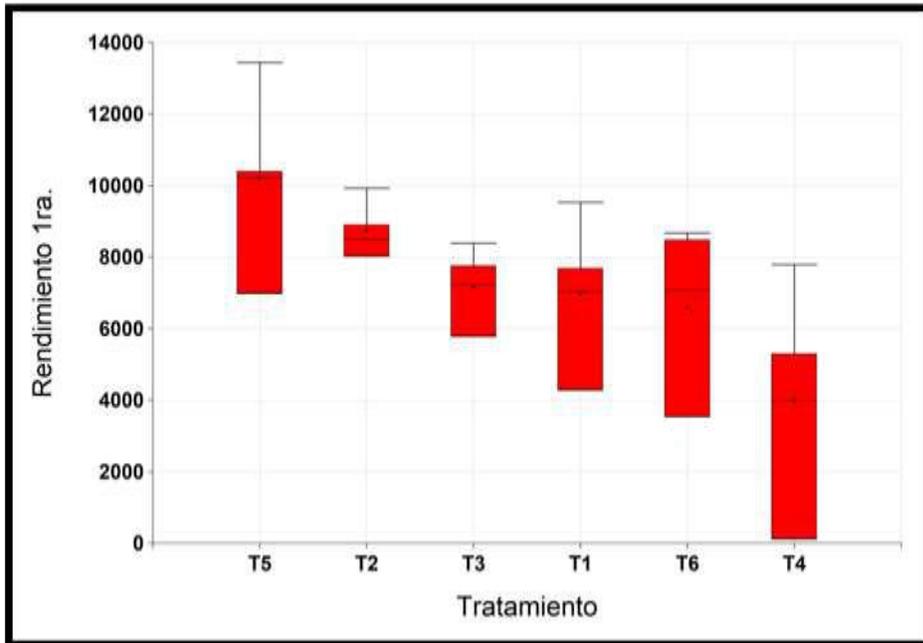
**Anexo 37.**

Figura 41. Boxplot del rendimiento de primera calidad

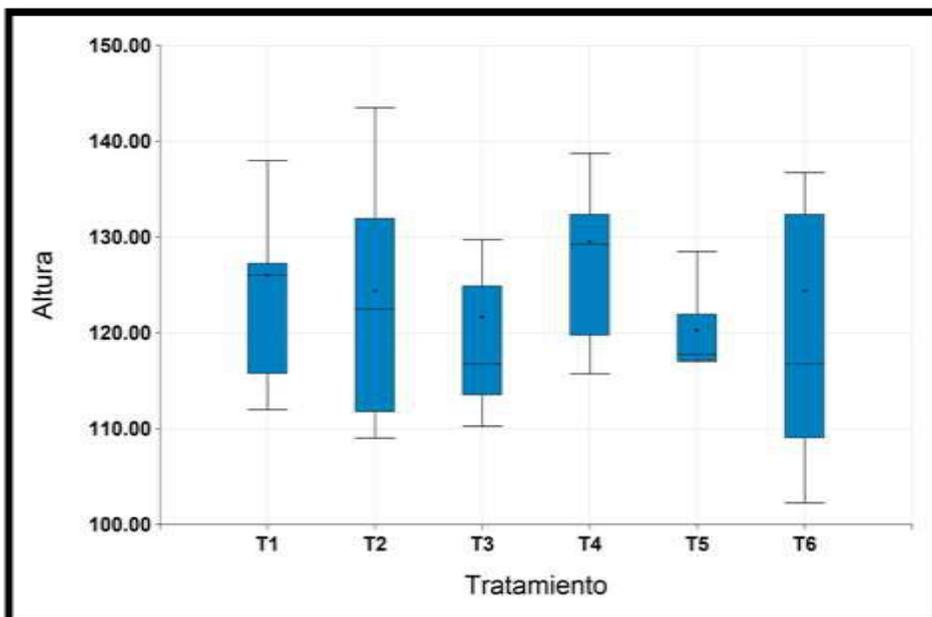
**Anexo 38.**

Figura 42. Boxplot de la altura del cultivo de tomate

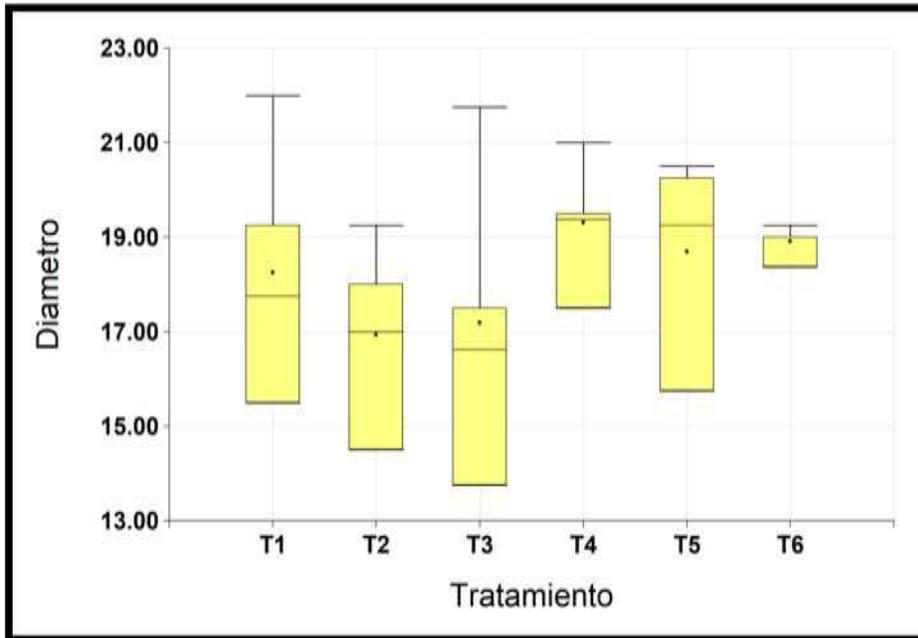
**Anexo 39.**

Figura 43. Boxplot del diámetro del cultivo de tomate

