



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**“DESARROLLO DE SUSTRATO A BASE DE CASCARILLA DE
CAFÉ PARA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

ALEJANDRO MARQUEZ MARTÍNEZ

(No. DE CUENTA: 1012371, 41^{AVA} GENERACIÓN)

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

SEPTIEMBRE 2020



**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO
PIEDRAS BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**“DESARROLLO DE SUSTRATO A BASE DE CASCARILLA DE
CAFÉ PARA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.)**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL**

PRESENTA:

**ALEJANDRO MARQUEZ MARTÍNEZ
(No. DE CUENTA: 1012371, 41^{AVA} GENERACIÓN,)**

ASESORES DE TESIS:

**Dra. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAÍN
Dr. ENRIQUE DANIEL ARCHUNDIA VELARDE**

SEPTIEMBRE 2020

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO
PIEDRAS BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.**



RESÚMEN

En México parte de la agricultura se desarrolla por medio de distintos materiales de origen natural, los cuales después de llevar un proceso, se pueden mezclar con otros materiales para originar sustratos de interés agrícola, que a su vez el sustrato ya elaborado pueda cumplir con características nutritivas que permitan un buen desarrollo y producción de cultivos. En la actualidad la industria cafetalera genera diferentes residuos entre ellos la cascarilla de café, la cual en lugar de contaminar el ambiente se puede ser utilizada como materia orgánica para la elaboración de sustratos tipo bocashi, que nos permita producir plantulas y de esta manera darle un valor agronómico. Sabemos que las hortalizas en general son uno de los cultivos con alto consumo, entre ellos el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), por ello la importancia del presente experimento con este tipo de cultivo como especie de prueba.

Dos fases de desarrollo se implementaron para evaluar la cascarilla de café: 1^{ra}). Consistió en realizar dos sustratos tipo bocashi; uno a base de cascarilla de café y el otro a base de salvado de trigo. 2^{da}). Se elaboraron 11 tratamientos y se sembró tomate en 3 charolas.

En la primera fase se realizaron 500 kg de sustrato base café y 500 kg base salvado de trigo, la composición de ambas mezclas constaba de 150 kg tierra, 150 kg estiércol ovino, 150 rastrojo de maíz, 1 kg levadura de pan, 3 litros de melaza, 0.5 kg ceniza de fogón, 15 kg de carbón, 80-100 litros de agua y como material diferente 15 kg de cascarilla de café para un sustrato y 15 kg de salvado de trigo para el otro. Todos estos materiales se mezclaron de manera homogénea

siguiendo una metodología y posteriormente se trapalearon de un lado a otro, día con día, ya que al transcurso de 15 días alcanzo la madurez deseada, por lo que se procedió a que ambos sustratos se molieron con un molino de martillos, con la finalidad de obtener una textura más uniforme.

Para la segunda fase se probaron 11 diferentes tratamientos, los cuales se elaboraron en porcentajes diferentes: Tierra (T), Sustrato Café (S.C.) y Sustrato Salvado (S.S.), como a continuación se describe T1: 100% (T) este se tomó como testigo, T2: 100% (SC), T3: 100% (SS), T4: 50% (T) 50% (SC), T5: 50% (T) 50% (SS), T6: 50% (SC) 50% (SS), T7: 25% (T) 25% (SC) 50% (SS), T8: 25% (T) 50% (SC) 25% (SS), T9: 50% (T) 25% (SC) 25% (SS), T10: 75% (T) 25% (SC), T11: 75% (T) 25% (SS). Una vez hechos los tratamientos se procedió a sembrar las semillas en 3 charolas, donde cada una de estas simboliza una repetición y presentaron los 11 tratamientos en diferente orden. Para este proceso se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar, donde el factor fueron los 11 tratamientos con 10 repeticiones y las variables evaluadas son: altura de la plántula, diámetro del tallo, numero de hojas, peso radical, de la plántula y área foliar.

Para el análisis estadístico se empleó el programa Statgraphics Centurion, donde se compararon los siguientes resultados: se probó que los mejores tratamientos de acuerdo con las variables evaluadas fueron: T7, T8 y T9 debido a que en estos tratamientos se encuentran los tres sustratos (tierra, cascarilla de café y salvado de trigo) demostrando que los mejores sustratos son los equilibrados. Sin embargo, los tratamientos en donde prevalece un solo sustrato se observó un menor desarrollo morfológico de la plántula.

ABSTRACT

In Mexico, part of agriculture is developed by different origin natural materials, which after carrying out a process could be mixed with other materials to prepare agricultural interesting substrates for crop development and production. Presently, the coffee industry generates different residues as coffee husk. It could be used instead of contaminating the environment as organic matter for the bocashi-type substrates production to produce seedlings and to give it an agronomic value. Vegetables are one of the most consumed crops including tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.); therefore, the importance of the present experiment with this type of crop as test species.

Two development phases were implemented to evaluate the coffee husk: 1st) two bocashi-type substrates were done; one based on coffee husk and the other with wheat bran, and 2nd) 11 treatments were done, where tomatoes were sown in 3 trays.

In the first phase, 500 kg of coffee base substrate and 500 kg of wheat bran were made, the composition of both mixtures consisted of 150 kg soil, 150 kg sheep manure, 150 corn stubble, 1 kg bakery yeast, 3 liters of molasses, 0.5 kg fire pit ash, 15 kg coal, 80-100 liters of water and as a different material 15 kg of coffee husk for one substrate and 15 kg of wheat bran for the other. All of these materials were homogeneously mixed and subsequently trailed from one side to the other daily for 15 days maturity. Both substrates were ground with a hammer mill, in order to obtain a more uniform texture.

For the second phase, 11 different treatments were tested, which were made in different percentages: Soil (T), Brown Substrate (SC) and Bran Substrate (SS),

as described below T1: 100% (T) this was taken as control, T2: 100% (SC), T3: 100% (SS), T4: 50% (T) 50% (SC), T5: 50% (T) 50% (SS), T6: 50% (SC) 50% (SS), T7: 25% (T) 25% (SC) 50% (SS), T8: 25% (T) 50% (SC) 25% (SS), T9: 50% (T) 25% (SC) 25% (SS), T10: 75% (T) 25% (SC), T11: 75% (T) 25% (SS). Once the treatments were done, the seeds were sown in 3 trays, where each one symbolizes a repetition and presented the 11 treatments in different order. For this process, a completely randomized experimental block design was used, where the factor was the 11 treatments with 10 repetitions and the evaluated variables were: seedling height, stem diameter, number of leaves, root weight, fresh weight of the seedling and leaf area.

For statistical analysis, the Statgraphics Centurion program was used, where the following results were compared. The best treatments according to the evaluated variables were: T7, T8 and T9 because of the substrate composition used (soil, coffee husk and wheat bran). This demonstrated that the best substrates were the balanced ones. However, the treatments in which a single substrate prevails showed less morphological development of the seedling.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	EL TOMATE ROJO.....	3
2.1.1	<i>Perspectiva del cultivo</i>	<i>3</i>
2.1.2	<i>Historia y origen</i>	<i>3</i>
2.1.3	<i>Descripción botánica.....</i>	<i>4</i>
2.1.4	<i>Taxonomía.....</i>	<i>5</i>
2.1.5	<i>Morfología del cultivo</i>	<i>6</i>
2.1.6	<i>Producción Mundial de tomate rojo</i>	<i>13</i>
2.1.7	<i>Consumo mundial</i>	<i>14</i>
2.1.8	<i>Producción Nacional</i>	<i>15</i>
2.1.9	<i>Condiciones agroclimáticas de producción</i>	<i>17</i>
2.1.10	<i>Producción Nacional de tomate</i>	<i>17</i>
2.1.11	<i>Tomate rojo variedad Saladette.....</i>	<i>18</i>
2.1.12	<i>Plántula de jitomate y sus beneficios</i>	<i>18</i>
2.2	SUSTRATOS.....	20
2.2.1	<i>Definición</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Ventajas del uso de los sustratos.....</i>	<i>21</i>
2.2.3	<i>Abonos orgánicos fermentados.....</i>	<i>22</i>
2.2.4	<i>Características de elaboración de los abonos orgánicos fermentados</i>	<i>24</i>
2.2.5	<i>Materiales para la elaboración de sustratos tipos bocashi</i>	<i>27</i>
2.3	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	29
2.3.1	<i>Café</i>	<i>30</i>
2.3.2	<i>Beneficio del café húmedo</i>	<i>31</i>
2.3.3	<i>Salvado de Trigo.....</i>	<i>32</i>
3	OBJETIVO	33
3.1	OBJETIVO GENERAL	33
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
4	HIPÓTESIS	35
5	JUSTIFICACIÓN	36
6	MATERIALES Y MÉTODOS	37
6.1	SITIO EXPERIMENTAL	37
6.2	PRIMERA FASE EXPERIMENTAL.....	37
6.2.1	<i>Materiales para la elaboración de bocashi</i>	<i>37</i>

6.2.2	<i>Descripción del sustrato tipo bocashi a base de cascarilla de café y salvado de trigo</i>	39
6.3	SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL	42
6.3.1	<i>Materiales para trasplante de plántulas</i>	43
6.3.2	<i>Elaboración y descripción de los tratamientos</i>	43
6.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	45
6.5	SIEMBRA DE LA SEMILLA	45
6.5.1	<i>Descripción de la siembra</i>	48
6.5.2	<i>Variables de estudio</i>	50
7	RESULTADOS	56
7.1	GERMINACIÓN DE SEMILLAS	56
7.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	58
7.3	CORRELACIÓN	58
7.4	ALTURA DE PLÁNTULA (CM)	60
7.5	NÚMERO DE HOJAS	61
7.6	GROSOR DE TALLO EN PLÁNTULA DE TOMATE (MM)	63
7.7	PESO FRESCO DE PLÁNTULA DE TOMATE (GR)	64
7.8	PESO DE RAÍZ POR PLÁNTULA DE TOMATE (GR)	66
7.9	ÁREA FOLIAR POR PLÁNTULA DE TOMATE (CM ²)	67
8	DISCUSIÓN GENERAL	70
9	CONCLUSIONES	73
10	BIBLIOGRAFÍA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	6
Figura 2. Planta de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	7
Figura 3. Semillas de tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	8
Figura 4. Raíz del tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	9
Figura 5. Tallos del tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	10
Figura 6. Hojas del tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	11
Figura 7. Flores del tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	12
Figura 8. Frutos del tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	13
Figura 9. Plántula de tomate rojo (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	19
Figura 10. Salvado de trigo.....	38
Figura 11. Cascarilla de Café.....	39
Figura 12. Mezcla líquida para humedecer los sustratos.....	40
Figura 13. Mezcla homogénea de los sustratos.....	40
Figura 14. Traspaleo del sustrato.....	41
Figura 15. Molienda de los sustratos, para obtener una mejor textura.....	42
Figura 16. Facultad Ciencias Agrícolas UAEMéx.....	43
Figura 17. Elaboración de cada tratamiento conforme a la composición requerida.....	46
Figura 18. Charolas germinadoras.....	48
Figura 19. Llenado de las charolas con sustrato.....	49
Figura 20. Siembra de semillas de tomate en los sustratos.....	50
Figura 21. Medición de la altura de la plántula (cm).....	51
Figura 22. Conteo del número de hojas.....	52
Figura 23. Grosor del tallo.....	52
Figura 24. Pesado de las plántulas en la báscula analítica.....	53
Figura 25. Pesado de las raíces de las plántulas.....	54
Figura 26. Fotografías tomadas a las plántulas para determinar su área foliar.....	55
Figura 27. Medición del área foliar en cm ² por medio del programa Motic Images Plus 2.0 ML.....	55
Figura 28. Semillas germinadas en la charola 1.....	56
Figura 29. Semillas germinadas en la charola 2.....	57
Figura 30. Semillas germinadas en la charola 3.....	57
Figura 31. Altura de la plántula.....	61
Figura 32. Número de hojas en plántula.....	62
Figura 33. Grosor de tallo en plántula (mm).....	64
Figura 34. Peso fresco de plántula de tomate (gr).....	65
Figura 35. Peso de raíz por plántula de tomate (gr).....	67
Figura 36. Foliar por plántula de tomate (cm ²).....	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Bocashi de salvado de trigo.....	37
Cuadro 2. Bocashi de salvado de café.....	38
Cuadro 3. Materiales para trasplante de plántulas	43
Cuadro 4. Diseño de mezclas para tratamientos de estudio	44
Cuadro 5. Diseño de tratamientos en charola 1	46
Cuadro 6. Diseño de tratamientos en charola 2	47
Cuadro 7. Diseño de tratamientos en charola 3	47
Cuadro 8. Correlaciones de Pearson $p \leq 0.05$ para cada variable de estudio. ...	59
Cuadro 9. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para altura de plántula (cm) por tratamiento.....	60
Cuadro 10. Análisis de varianza de una vía para número de hojas de plántula por tratamiento.....	61
Cuadro 11. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para grosor de tallo (mm) por tratamiento.....	63
Cuadro 12. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para peso fresco (gr) de plántula por tratamiento.....	64
Cuadro 13. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para peso de raíz (gr) por plántula en los diferentes tratamientos.....	66
Cuadro 14. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$), de una vía para área foliar entre los tratamientos.....	67
Cuadro 15. Efecto de diferentes concentraciones de sustrato en plántulas de tomate	69

1 INTRODUCCIÓN

En la agroindustria mexicana algunos de los productos que se industrializan son: frutas, verduras, tubérculos, vainas, semillas, raíces y hojas entre otros; algunos comercializados en fresco y otros son transformados en harinas, aceites, néctares, jugos, vinos, mermeladas y concentrados en polvo, entre otros, por lo que es notable la generación de residuos, desde la cosecha misma, pasando por los centros de concentración, distribución y finalizando en la industrialización, comercialización y consumo. Durante la cosecha de cultivos se generan residuos primarios como hojas y tallos del maíz, tallos y vaina de sorgo, puntas y hojas de caña de azúcar, paja de trigo, paja de cebada y de frijol, así como cáscara de algodón. De la postcosecha se generan residuos secundarios obtenidos del procesamiento entre los que están: bagazo de caña de azúcar, mazorcas y olotes, bagazo de maguey o agave, así como pulpa y cascarilla de café (Mejías *et al.*, 2016).

La industria del café libera grandes cantidades de subproductos, en su mayoría son derivados de la obtención del grano café que son considerados un residuo agroindustrial y representan un enorme problema ambiental. Aún más, sabiendo que los procesos de biodegradación de los residuos de café requieren tiempos muy largos y considerando la gran demanda de cantidades de oxígeno que se requiere para degradar los residuos de café, el hecho de ser liberados directamente en el ambiente representa un alto riesgo para la flora y fauna presente en ese ecosistema (Wong *et al.*, 2013).

El café es un cultivo estratégico en México; su producción emplea a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios en donde Chiapas es el principal estado productor, aporta 41.0% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24.0%) y Puebla (15.3%). Actualmente se consumen 1.4 kg *per cápita* al año. México produce café de excelente calidad, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo, la variedad genérica que se produce en nuestro país es la arábica y su producción se realiza por lo regular en las zonas tropicales. México es el 11^{avo} productor mundial. Actualmente, el café representa el 0.66% del PIB agrícola nacional y el 1.34% de la producción de bienes agroindustriales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Por lo tanto día con día se genera una gran cantidad de estos residuos que son desechados al ambiente sin darles uso alguno, de ahí la importancia de emplear la cascarilla de café en la fabricación de sustratos que beneficien de alguna manera el desarrollo morfológico de vegetales; por ello el presente experimento pretende obtener un sustrato orgánico que contribuya a la fase de germinación y desarrollo de la plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), brindándole los nutrientes necesarios para su crecimiento.

Se espera que este tipo de residuos no sean un problema para la germinación del tomate y permita nutrir de esta manera a la plántula y a su vez disminuir la contaminación provocada por la cascarilla de café, ayudando al ambiente por medio de este tipo de sustratos orgánicos, que no contaminan al suelo y favorecen el desarrollo morfológico de los cultivos como el de tomate rojo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)

2.1.1 Perspectiva del cultivo

El tomate rojo a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia. En México, el cultivo cobra relevancia económica y social generando divisas y empleos, los sistemas de producción de esta hortaliza se han ido diversificando con el fin de incrementar el rendimiento, incorporando tecnologías novedosas como cubiertas plásticas, riego por goteo e hidroponía. Uno de los principales factores que determinan el éxito del cultivo es el sustrato, pues constituyen el medio en que se desarrollaran las raíces las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo (Ortega-Martínez *et al.*, 2010).

2.1.2 Historia y origen

El tomate rojo es una planta originaria de las regiones tropicales de América Latina cuyo centro de origen se localiza en la Región de los Andes integrado por los países de Chile, Ecuador, Colombia y Bolivia, donde existe la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. Las investigaciones realizadas hasta el 2007 colocan a México como el centro más importante de domesticación, la cual se cree que fue iniciada por las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México mucho antes de la llegada de los españoles. Posteriormente, los europeos lo llevaron a Europa a mediados del siglo XVI donde fue aceptado y empleados para la gastronomía europea de ahí fue introducida a Italia en el año 1560 y fue donde se realizaron los primeros trabajos de mejoramiento en un audaz experimento llamado “la manzana de oro”

o la “manzana del Amor” ya que se les atribuyen propiedades excitantes. Sin embargo, Puebla y Veracruz se cree que es son el centro de diversificación varietal más importante que ha dado origen a formas cultivadas (Cuesta, 2007).

2.1.3 Descripción botánica

De acuerdo con Hernández (2011), las plantas de tomate rojo (Figura 1) son herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural muy probablemente se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía. Las hojas son pinnadas con 2-6 pares de folíolos opuestos o sub-opuestos, sésiles, subsésiles o pecioladas. La inflorescencia básica es una cima con diferentes patrones de ramificación (mono, di y policotómico), y con o sin brácteas axiales, contando con tres nudos entre cada inflorescencia. Las flores son típicamente amarillas, las anteras están unidas lateralmente para formar un cono en forma de botella con una punta alargada estéril en el ápice (excepto en *S. pennellii*). Los sistemas de polinización han jugado un papel importante en la evolución de la naturaleza especies de tomate rojo, que van desde alógama auto-incompatible, a facultativos alógamas, y de auto-compatible a autógamas y auto-compatible.

El tamaño del fruto, el color y pubescencia son variables, al igual que el tamaño de las semillas, el color y el desarrollo de las paredes radiales de las células de la testa. Las frutas son bayas generalmente biloculares en las especies silvestres, y bilocular o multiloculares en el las variedades cultivadas (Hernández, 2011).

A continuación, se presenta la taxonomía del cultivo de tomate rojo

2.1.4 Taxonomía

Taxonomía del tomate rojo

Reino:	Vegetal
División:	Tracheophyta
Subdivisión:	Pterostida
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Dicotyledoneae
Grupo:	Metachlamydae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	Solanum
Especie:	<i>Solanum lycopersicum L.</i>

(Peralta *et al.*, 2005)



Figura. 1. Tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.5 Morfología del cultivo

2.1.5.1 Planta de tomate

La planta de tomate es anual y de porte arbustivo como se muestra en la Figura 2. Se desarrolla de forma rastrera y semirrecta dependiendo de la variedad. El crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las indeterminadas (Pérez *et al.*, 2002). La planta indeterminada se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite. En ella, los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo. La planta de crecimiento determinado tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado (Medina *et al.*, 2004).



Figura. 2. Planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.5.2 Semilla

La semilla del tomate rojo es aplanada, de forma lenticelada, con dimensiones aproximadas de 2 a 4 mm de diámetro y longitud entre 2.5 a 4 mm; posee diferentes colores, desde grisáceo hasta el pajizo, con un porcentaje de germinación arriba del 95% (Rodríguez *et al.*, 2001; Pérez *at al.*, 2002). La semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión está formado por una yema apical, dos cotiledones, el hipocotíleo y la radícula como se muestra en la Figura 3 (Castellanos, 2009).



Figura 3. Semillas de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Marquez, 2020

2.1.5.3 Raíz

El sistema radicular del tomate puede alcanzar hasta una profundidad de 2 m, con una raíz principal pivotante como se muestra en la Figura. 4. Sobre ella, se producen muchas raíces secundarias y terciarias; a nivel del suelo, se desarrollan raíces adventicias que ayudan a mejorar el anclaje de la planta. En la epidermis de las raíces, se encuentran los pelos absorbentes especializados en toma de agua y nutrientes del suelo. En el interior de las raíces, se encuentran el córtex y el cilindro central conformado por el xilema, tejido responsable del transporte de los nutrientes desde la raíz hacia las hojas y demás órganos de la planta (Rodríguez *et al.*, 2001).



Figura 4. Raíz del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

2.1.5.4 Tallos

El tomate rojo presenta tallos ligeramente angulosos, como una continuación de la raíz, con muchos tricomas glandulares y no glandulares; semileñosos, de un grosor mediano dependiendo de la variedad como se muestra en la Figura 5. El tallo también está conformado por epidermis, corteza, xilema y tejido medular (Rodríguez *et al.*, 2001; Medina *et al.*, 2004).



Figura 5. Tallos del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.5.5 Hojas

La planta de tomate rojo posee hojas compuestas, insertadas sobre los nudos de manera alternada. El limbo se encuentra dividido en varios folíolos peciolados, y los bordes de las hojas poseen una forma dentada con grandes cantidades de tricomas glandulares y no glandulares, según la variedad como se muestra en la Figura 6. Algunas variedades presentan un haz de color verde y el envés de color

grisáceo, las nervaduras se disponen en los foliolos de forma penninervia (Rodríguez *et al.*, 2001).



Figura 6. Hojas del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.5.6 Flores

Las flores del jitomate son hermafroditas y se forman inflorescencias de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima multípara. La inflorescencia puede llegar hasta 50 flores y se considera como una flor perfecta por poseer 5 o más sépalos, con el mismo número de pétalos principalmente de color amarillo como se muestra en la Figura 7 (Rodríguez *et al.*, 2001). El androceo presenta cinco o más estambres, adheridos a la corola, con anteras formando un tubo. Las flores poseen pedúnculos cortos con cálices gamosépalos

y corolas gamopétalas. El gineceo presenta de 2 a 30 carpelos, de donde se originan los lóculos del fruto; está constituido por un pistilo de ovario supero (Rodríguez *et al.*, 2001).



Figura 7. Flores del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.5.7 Fruto

El fruto del tomate rojo es una baya bi o plurilocular de diferentes colores como: amarillo, rosado o rojo según la manifestación de licopeno y/o caroteno y la variedad; de forma acostillada, alargada y lobular, piriforme, achatada, arriñonada o redondeada; el más común es el rojo en el grado de madurez y está constituido por un 94-95% de agua (Nuez, 2001) como se muestra en la Figura 8

El 5-6% restante está constituyendo de una mezcla compleja de ácidos orgánicos y azúcares, los cuales aportan al fruto su sabor y textura. El fruto también presenta una superficie lisa, de tamaño variable según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001). El fruto está unido a la planta por un pedicelo y su estructura está formada básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001).



Figura 8. Frutos del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

2.1.6 Producción Mundial de tomate rojo

Uno de los productos agropecuarios más importantes a nivel mundial es la producción de tomate rojo, y es o se ve reflejado en la producción y el consumo,

así como el consumo promedio per cápita, los cuales registran una tendencia al alza durante la década reciente. De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.7% entre 2004 y 2014, para ubicarse en 5.0 millones de hectáreas. En el mismo periodo, los rendimientos promedio crecieron a un ritmo menor, de 1.2% promedio anual, al ubicarse en 2014 en 34.0 toneladas por hectárea (FIRA, 2017).

Actualmente el 54.5% de la superficie cosechada de tomate rojo en 2017 se concentró en cuatro países: China (19.8%), India (18.8%), Nigeria (10.8%) y Turquía (6.4%). México ocupa la décima posición mundial, con el 1.9% de la superficie cosechada de esta hortaliza. Actualmente China es el más importante productor y consumidor mundial, Estados Unidos es el principal importador, y México el principal exportador de esta hortaliza (FIRA, 2017).

2.1.7 Consumo mundial

Entre 2003 y 2013, el consumo mundial de tomate creció a una tasa promedio anual de 3.2%, al ubicarse en 159.4 millones de toneladas. La demanda de esta hortaliza creció a un ritmo mayor en China e India: 5.6 y 9.0% promedio anual, respectivamente. En Estados Unidos, el crecimiento del consumo ha sido más moderado, con una tasa promedio anual de 0.9% (SIAP, 2019).

Durante la década mencionada, el consumo per cápita promedio mundial de tomate rojo pasó de 16.7 kg al año en 2003 a 20.6 kg en 2013, en tanto que en

los dos principales países consumidores creció a un ritmo mayor, en China pasó de 19.3 a 31.1 kg y en India se incrementó de 6.3 a 12.9 kg. Por su parte, el consumo per cápita en Estados Unidos se ha mantenido estable, con un promedio de 40.4 kg durante ese periodo. Turquía y Egipto registran los mayores niveles de consumo per cápita a nivel mundial, con 98.7 y 90.1 kg por persona por año en 2013, respectivamente (FIRA, 2017; SIAP, 2019).

2.1.8 Producción Nacional

En México, la producción de tomate rojo creció a una tasa promedio anual de 4.8% entre 2006 y 2016, para ubicarse en un máximo histórico de 3.3 millones de toneladas. Durante ese periodo, la superficie total destinada a este cultivo disminuyó a una tasa promedio anual de 2.5%. En el cultivo a campo abierto la superficie sembrada se redujo a una tasa promedio anual de 5.6% entre 2006 y 2016, al pasar de 65,431 a 36,855 hectáreas. Por el contrario, la superficie establecida con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,078 a 15,006 hectáreas, en el periodo mencionado, es decir, creció a una tasa promedio anual de 30.1%. Así, el volumen de tomate rojo obtenido con el uso de estas últimas tecnologías paso del 6.5% del total en 2006 a 32.2% en 2010, y hasta 60.7% del volumen total en 2016 (SIAP, 2019).

En general, la productividad del tomate rojo por unidad de superficie continúa creciendo. Los rendimientos cambian en función de las tecnologías empleadas, desde el cultivo a campo abierto, hasta la producción en invernaderos altamente tecnificados con sistemas automatizados de riego, nutrición y control fitosanitario.

En 2016, el 56.3% de la producción nacional de tomate rojo se concentró en cinco entidades: Sinaloa (27.6%), San Luis Potosí (9.2%), Michoacán (7.0%), Baja California (6.7%), y Zacatecas (5.7%). En cuanto al el estado de México aporta el (2.1%) y ocupa la décima posición nacional (FIRA, 2017; SIAP, 2019).

El tomate rojo mantiene su importancia y dinamismo en el comercio exterior agropecuario del país. En 2016 fue el principal productor agropecuario de exportación, con una participación de 13.2% en el total de las ventas al exterior de productos agropecuarios y pesqueros. Durante la última década, el valor de las exportaciones mexicanas creció a una tasa promedio anual de 5.5%, mientras que el volumen lo hizo a una tasa promedio anual de 4.5%, para ubicarse en un máximo histórico de 1.6 millones de toneladas. El volumen exportado fue equivalente al 48.0% de la producción nacional de esta hortaliza en 2016, y el 99.7% de las ventas de tomate rojo mexicano se destinó a Estados Unidos. En ese año, México abasteció el 90.7% de las compras estadounidenses de tomate rojo (FIRA, 2017; SIAP, 2019).

Los precios del tomate rojo en el mercado nacional difieren de acuerdo con el tipo de producto (cultivado a campo abierto o en invernadero, orgánico) y de la variedad (saladette, bola y cherry), principalmente. La estacionalidad de la producción, el flujo de las exportaciones, así como posibles afectaciones al cultivo por fenómenos meteorológicos o sanitarios, son factores que repercuten de manera importante en la disponibilidad y el comportamiento de los precios de esta hortaliza en el mercado nacional (FIRA, 2017; SIAP, 2019).

2.1.9 Condiciones agroclimáticas de producción

Para un buen desarrollo y crecimiento del cultivo de tomate rojo se recomienda hacerlo en suelos francos o franco-arcillosos, ya que suelos muy pesados retienen mucha humedad y restringen la respiración de las raíces, lo cual crea además un ambiente favorable para el desarrollo de enfermedades. Las temperaturas del suelo deben ser de 12-16 °C, la temperatura ambiente para su desarrollo de 21-24 °C, siendo 22 °C la óptima, y es recomendable un pH del suelo entre 5.9-6.5. Sin embargo, de manera general se puede decir que el jitomate es un cultivo con capacidad de crecer en condiciones climáticas variadas (Giacconi y Escaff, 2004).

En la región de Centro América (Guatemala, Costa Rica, Honduras y México), este cultivo se produce en alturas y en los valles bajos del trópico seco (López, 2016). Jarquín (2004), reporta que la altitud más adecuada para cosechar tomate rojo está entre los 400 y 2000 msnm. La humedad relativa óptima para el buen desarrollo del tomate oscila entre 65-70%, aunque en temperaturas bajas la humedad relativa excesiva (80-90%) favorece el desarrollo de enfermedades foliares, sobre todo bajo condiciones de baja iluminación (Giacconi y Escaff, 2004).

2.1.10 Producción Nacional de tomate

La superficie dedicada a la producción de tomate rojo ha ido decreciendo gradualmente debido a problemas de plagas, altos costos de producción, fluctuaciones en precios internacionales, cambio de divisa desfavorable y disponibilidad de recursos hídricos limitada. Pequeños productores en busca de mejores precios han comenzado a producir maíz y frijoles. Sin embargo, también

se ha producido un cambio gradual de producción a campo abierto a producción protegida de diversa tecnología, con las que se han mejorado los rendimientos. Las operaciones protegidas se concentran principalmente en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco, aunque también han proliferado operaciones en Colima, México, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, y Zacatecas (Rizo, 2010).

Según datos de AMHPAC (Asociación Mexicana de horticultura protegida AC) en 2017 se reportaron más de 25,000 ha dedicadas a la producción protegida de hortalizas, de las cuales el 68% de su producción son de tomate rojo.

2.1.11 Tomate rojo variedad Saladette

Es un fruto alargado, un poco en forma de óvalo. Es un tomate con pulpa abundante, un ligero sabor dulce, y es menos carnoso que el tomate bola, por lo que es ideal para utilizarlo como ingrediente en la cocina, además que es una fuente importante de potasio, magnesio, y vitaminas B1, B2, B5 y C (Seminis, 2018).

2.1.12 Plántula de jitomate y sus beneficios

Las demandas de tomate en los mercados formales, en especial los supermercados, exigen actualmente de una producción sostenida de productos frescos de calidad en forma semanal. Para poder responder a esa demanda los productores orientan la producción en una forma escalonada y para contribuir al fortalecimiento de este modo de producir se recomienda la producción de plántulas sanas y vigorosas en invernadero, por las siguientes razones:

- Se baja la mortalidad hasta en un 90%, en comparación con el uso de plántulas a raíz desnuda.
- El trasplante de plántulas uniformes favorece un óptimo crecimiento de la planta, dando como resultado una cosecha de frutos con buena calidad.
- Hay una menor exposición a plagas y enfermedades, debido a que se reduce el tiempo de crecimiento en el campo.
- Hay un mayor aprovechamiento de las semillas.
- El cultivo le lleva ventajas en el crecimiento a las malezas, reduciendo su incidencia luego de la siembra.
- Se tiene un potencial como negocio mediante la venta de plántulas a otros productores locales.
- Las plántulas se pueden producir todo el año, ya que se mantienen en ambientes controlados que garantizan su crecimiento (Gómez y Vásquez, 2011).



Figura 9. Plántula de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

2.2 Sustratos

2.2.1 Definición

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que puede intervenir o no en la nutrición vegetal. Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinadas con un programa adecuado de manejo, permitan un desarrollo radicular óptimo de la planta (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2002).

Los sustratos pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, tepojal, tezontle y otros subproductos minerales (Nájera, 2013).

Los componentes orgánicos más populares incluyen: turba (*Sphagnum*), fibra de coco, productos de madera composteados (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica, estiércol, paja, cascarilla de arroz, de cacahuate o bocashi. La adición de componentes orgánicos a sustratos ayuda a mejorar sus propiedades físicas y químicas, tales como su capacidad de retención de agua, porosidad de aire, disminución de peso húmedo y mejora en su capacidad de intercambio catiónico. Es necesario que los componentes del sustrato tengan un tamaño deseable de partículas. Además, los componentes orgánicos deberán ser estables con respecto a su descomposición, es decir, deberán pasar por un proceso de composteo con añejamiento, para eliminar fijaciones de nitrógeno por

microorganismos encargados de la descomposición, fenómeno que típicamente origina reducciones en la disponibilidad de este nutrimento para las plantas (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2002). Existen muchos materiales que pueden ser usados como sustratos agrícolas, algunos de los más usados en México son fibra de coco, peat moss, perlita, vermiculita y tepojal, entre otros, aunque cualquier residuo podría ser ocupado en la agricultura (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2002).

2.2.2 Ventajas del uso de los sustratos

Algunas de ventajas del uso de los sustratos a la agricultura:

- Se obtiene una menor presencia de plagas y enfermedades de la raíz, las cuales son comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento, evitando así el uso de agroquímicos.
- Ofrecen la posibilidad de producir en regiones donde los suelos no son apropiados para la agricultura.
- Se pueden realizar mezclas de acuerdo con las necesidades de cada cultivo con el objetivo de lograr un mejor desarrollo de la raíz y por consiguiente mejores rendimientos y calidad en las cosechas.
- Se pueden reciclar los desechos de origen orgánico, aprovechándolos como sustratos.

- Evitan el uso de ciertos productos a base de moléculas químicas complejas y tóxicas para la desinfección de suelos, tal como el bromuro de metilo, metam sodio, entre otros (Cabrera, 1999).

2.2.3 Abonos orgánicos fermentados

La elaboración de los abonos orgánicos fermentados se puede entender como un proceso de semi-descomposición aeróbica (con presencia de oxígeno) de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, quimioorganotróficos, que existen en los propios residuos, con condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición en condiciones favorables y que son capaces de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir la tierra. Las ventajas que presenta el proceso de elaboración del abono orgánico fermentado son (Restrepo, 2010):

- a) No se forman gases tóxicos ni surgen malos olores debido a los controles que se realizan en cada etapa del proceso de la fermentación, evitándose cualquier inicio de putrefacción.
- b) Se facilita el manejo del volumen de abono, su almacenamiento, su transporte y la disposición de los materiales para elaborarlo (se puede elaborar en pequeños o grandes volúmenes, de acuerdo con las condiciones económicas y con las necesidades de cada productor).
- c) Se pueden elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se realicen actividades agropecuarias.

d) Se autorregulan “agentes patogénicos” en la tierra, por medio de la inoculación biológica natural, principalmente de bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras, entre otros.

e) Se da la posibilidad de utilizar el producto final en los cultivos, en un período relativamente corto y a costos muy bajos.

f) Por medio de la inoculación y reproducción de microorganismos nativos presentes en los suelos locales y levaduras, los materiales se transforman gradualmente en nutrientes de excelente calidad disponibles para la tierra, las plantas y la propia retroalimentación de la actividad biológica.

g) El crecimiento de las plantas es estimulado por una serie de fitohormonas y fitorreguladores naturales que se activan a través de los abonos fermentados

h) Los abonos orgánicos activan una serie de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas y de bio-protección.

i) No exige inversiones económicas muy altas en obras de infraestructura rural.

j) Los materiales con los que se elaboran son muy conocidos por los productores y fáciles de conseguir localmente.

k) Los diferentes materiales que se encuentran disponibles en las diversas zonas de trabajo, más la creatividad de los campesinos, hace que se puedan variar las formulaciones o las recetas, haciéndolas más apropiadas a cada actividad agropecuaria o condición rural.

l) Finalmente, los agricultores podrán experimentar un proceso de conversión de una agricultura envenenada hacia una agricultura orgánica, en un tiempo que puede oscilar entre uno y tres años de trabajo permanente.

2.2.4 Características de elaboración de los abonos orgánicos fermentados

- **La temperatura:** Está en función del incremento de la actividad microbiológica del abono, que comienza después de la etapa de la mezcla de todos los ingredientes. Aproximadamente, después de catorce horas de haberlo preparado, el abono debe presentar temperaturas que pueden superar fácilmente los 50 °C, lo que es una buena señal para continuar con las demás etapas del proceso. La actividad microbiológica puede ser perjudicada por la falta de oxigenación y el exceso o escasez de humedad (Restrepo, 2007).
- **El pH (acidez):** La elaboración de este tipo de abono requiere que el pH oscile entre un 6 y un 7, ya que los valores extremos inhiben la actividad microbiológica durante el proceso de la degradación de los materiales. Sin embargo, al inicio de la fermentación el pH es bien bajo, pero gradualmente se va autocorrigiendo con la evolución de la fermentación o maduración del abono (Restrepo, 2007; Chavarrea, 2010).
- **La humedad:** La humedad óptima para lograr la máxima eficiencia del proceso de la fermentación del abono, oscila entre el 0% y el 60% (en peso) o sea, los materiales están vinculados a una fase de oxidación. Cuando la humedad es inferior al 35%, se da una descomposición

aeróbica muy lenta de los materiales orgánicos que hacen parte del compuesto. Por otro lado, cuando la humedad supera el 60%, la cantidad de poros que están libres de agua son muy pocos, lo que dificulta la oxigenación de la fermentación, resultando un proceso anaeróbico putrefacto, el cual está vinculado a una fase de reducción de la materia orgánica, que no es lo deseado ni lo ideal para obtener un abono de buena calidad (Restrepo, 2007; Chavarrea, 2010).

- **La aireación:** La presencia del oxígeno o una buena aireación es necesaria para que no existan limitaciones en el proceso aeróbico de la fermentación del abono. Se calcula que como mínimo debe existir de un % a un 10% de concentración de oxígeno en los microporos de la masa. Sin embargo, cuando los microporos se encuentran en estado anaeróbico (sin oxígeno) debido a un exceso de humedad, ello puede perjudicar la aireación del proceso y, en consecuencia, se obtiene un producto de mala calidad (Restrepo, 2007; Chavarrea, 2010).
- **El tamaño de las partículas de los ingredientes:** La reducción del tamaño de las partículas de los componentes del abono puede presentar la ventaja de aumentar la superficie para su descomposición microbológica. Sin embargo, el exceso de partículas muy pequeñas puede llevar fácilmente a una compactación que favorece el desarrollo de un proceso anaeróbico, lo que no es ideal para obtener un buen abono orgánico fermentado. En algunos casos, este fenómeno se corrige mezclando al abono materiales de relleno de partículas mayores, como

son pedazos picados de maderas, carbón vegetal grueso. Por otro lado, la forma de preparar el bocashi es variada y se ajusta a las condiciones y a los materiales que cada campesino dispone en su finca o comunidad. Es decir, no existe una única receta o fórmula para hacer los abonos; lo más importante es el entusiasmo y la disponibilidad del tiempo para ser creativo y así intentar superar la crisis que los campesinos heredaron de la agricultura convencional de los venenos y los fertilizantes químicos altamente solubles (Restrepo, 2007; Chavarrea, 2010).

- **Relación carbono-nitrógeno:** La relación teórica e ideal para la fabricación de un buen abono de rápida fermentación se calcula que es de 1 a 25-35. Las relaciones menores pueden resultar en pérdidas considerables de nitrógeno por volatilización; por otro lado, relaciones mayores resultan en una fermentación y descomposición más lenta, y que en muchos casos es conveniente. En algunos momentos, bien diferente del mundo campesino, los académicos disfrutaban de los cálculos de las relaciones del carbono y del nitrógeno que existen en los diferentes materiales que se utilizan para los abonos (Restrepo, 2007; Chavarrea, 2010).

- **Bocashi**

El Bocashi ha sido utilizado como abono orgánico por los agricultores japoneses desde hace ya muchos años. Bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada cocida al vapor”. Este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos

en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrimentos, la composta tipo Bocashi es un abono orgánico que se puede elaborar con materiales locales, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo a la materia prima disponible en la región (De Luna y Vázquez, 2009).

La elaboración de los abonos orgánicos fermentados como el Bocashi se puede entender como un proceso de semi descomposición aeróbica de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los propios residuos, en condiciones controladas, que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición, capaz de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir al suelo (Ramos y Terry, 2014).

2.2.5 Materiales para la elaboración de sustratos tipos bocashi

Los principales materiales para la elaboración de un abono fermentado tipo bocashi (Restrepo, 2007; Ramos y Terry, 2014).

- **Suelo:** este es el ingrediente que nunca debe faltar en la formulación de este abono orgánico, provee los microorganismos necesarios para la transformación de los desechos.
- **Gallinaza y estiércol de ganado:** son las fuentes principales de nutrimentos como el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y micro nutrimentos.
- **Ceniza:** proveen altas cantidades de potasio, esta puede ser obtenida de los fogones o estufas caseras que funcionan con leña.

- **Cal:** se emplea como enmienda para neutralizar la acidez de los estiércoles y materiales verdes que se usan y constituye una fuente de calcio y magnesio.
- **Melaza:** sirve como fuente de energía para los microorganismos que descomponen los materiales orgánicos. Además, provee cierta cantidad de boro, calcio y otros nutrimentos.
- **Residuos vegetales:** constituyen una fuente rica de nutrimentos para los microorganismos.
- **Suero o ácido láctico:** es un derivado de la leche, es un fuerte esterilizante y supresor de microorganismos nocivos. Además, posee propiedades hormonales y fungistáticas, es buen descomponedor de materia orgánica.
- **Levaduras:** producen sustancias bioactivas, tales como hormonas y enzimas que promueven la división celular y el crecimiento radicular
- **Carbón triturado o en polvo:** contribuye a mejorar las características físicas del abono orgánico como la aireación, absorción de calor y humedad. Actúa como una esponja reteniendo, filtrando y liberando poco a poco los nutrimentos.
- **Agua:** favorece en la creación de condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad y reproducción de los microorganismos durante la fermentación. El exceso de humedad, al igual que la falta de esta, afecta la obtención de un abono de buena calidad.

Existen otras materias primas que podrían ser utilizadas en la elaboración de este abono orgánico porque, además de presentar alto contenido de nitrógeno, contienen buena cantidad de azúcares, agua, fuentes de carbono y un tamaño de partículas adecuado. Dentro de estas se encuentra la pulpa de café o su cascarilla, la cachaza y subproductos del proceso de fabricación del azúcar, los residuos generados por banano de rechazo y raquis, que tienen alto contenido de potasio, la cascarilla de arroz, el rastrojo de maíz, y el salvado de trigo, entre otros (Soto, 2001).

2.3 Residuos agroindustriales

Actualmente, el aumento en la demanda de alimentos ha provocado un uso intensivo de los recursos naturales, donde los impactos negativos producidos en el ambiente afectan la sostenibilidad de los sistemas productivos, aunado a la problemática asociada al manejo de los residuos y la necesidad de reducir la superficie destinada a los vertederos afectan a la sociedad en general (Méndez *et al.*, 2009; Morales *et al.*, 2009). Los residuos agropecuarios son considerados fuente de contaminación y no se han valorado como el subproducto de la agricultura susceptible de originar abonos orgánicos de calidad. La tendencia global del manejo de los sistemas productivos hacia una producción sustentable de alimentos, demanda conocimientos básicos de los recursos tales como el manejo de los materiales orgánicos y el uso adecuado de los mismos como una alternativa viable, técnica y económica (Méndez *et al.*, 2009; Civeira, 2010).

Los desechos agropecuarios transformados en sustratos orgánicos, mediante técnicas como el compostaje o vermicompost, poseen propiedades físicas,

químicas y biológicas que permiten el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, un material orgánico por si solo es difícil que cumpla con las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas (Mendoza *et al.*, 2011).

2.3.1 Café

Es un arbusto tropical originario de Etiopía Derivado del vocablo árabe “kahwah”, llegando a nosotros del turco “kahweh”. Se le llama café o cafeto a un género de árboles de la familia de las rubiáceas, a sus semillas y a la bebida que se prepara con ellas. Hay más de treinta especies, pero las más destacadas son tres: arábica, canephora e ibérica (SAGARPA, 2017).

El arbusto mide entre 4 y 6 m de altura, en la adultez tiene hojas ovaladas, lustrosas y verdes que se mantienen durante tres a cinco años. Sus flores son blancas y fragantes y permaneces abiertas pocos días. Seis o siete meses después de que aparece la flor se desarrolla el fruto. Cambia de color verde claro a rojo (SAGARPA, 2017).

2.3.1.1 Taxonomía del café

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Sub-división: Angiospermae
- Clase: Magnoliatae
- Sub-clase: Asteridae
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae

- Género: Coffea
- Especie(s): *arábica, canephora e iberica*.

2.3.2 Beneficio del café húmedo

2.3.2.1 Despulpado

Mediante una máquina de fricción llamada despulpadora y bajo un chorro de agua, se separa la pulpa o parte carnosa del fruto de los granos que contiene. Este paso debe realizarse dentro de las 24 horas inmediatas a la recolección (Puerta, 1999).

2.3.2.2 Fermentación

Los granos se dejan en remojo durante un periodo que oscila entre las 8 y las 36 h. según la temperatura ambiente, para que comiencen a fermentar, a fin de potenciar sus características de aroma y sabor (Puerta, 1999).

2.3.2.3 Lavado

Tiene por objetivo interrumpir la fermentación, limpiar todas las impurezas que todavía puedan quedar sobre el grano y eliminar los granos enfermos (Espanica, 2018).

2.3.2.4 Secado del café

Los granos de café, ya sólo cubiertos por el pergamino, se dejan secar al sol y se trillan. Cuando están adecuadamente secos, el café en este punto se denomina Café Pergamino y es el estado ideal para almacenar el grano hasta su exportación (Espanica, 2018).

2.3.2.5 Descascarillado del café

El último paso, a realizar antes de la exportación o comercialización interior, consiste en eliminar el pergamino de los granos, pulirlos para eliminar los últimos restos de membranas (estos dos pasos se realizan con máquinas) y clasificarlos mediante cribas (Espanica, 2018).

2.3.3 Salvado de Trigo

En los países occidentales, el trigo (*Triticum aestivum vulgare* y *Triticum turgidum durum*) es el cereal más consumido y el segundo en todo el mundo. Para aumentar su vida útil, la mayor parte de los cereales se someten a un proceso de refinado. Este proceso incluye molienda, extracción y otras técnicas de tratamiento; todos los cereales muestran una estructura similar, compuesta de endospermo, germen y salvado. El porcentaje de salvado y germen varía entre las especies de cereales, pero en el trigo el endospermo supone al menos el 80% del grano. En el proceso de molienda, el más utilizado de todos, el salvado presenta del 14% al 16% y el germen del 2% al 3% son separados del endospermo, que se transforma en harina (Ruiz y Calvo, 2015).

El salvado de trigo es una fuente de fibra insoluble, constituida principalmente por arabinoxilanos y en menor proporción celulosa y β -glucanos. Además, el salvado de trigo es un alimento muy rico en micronutrientes, minerales, vitaminas hidrosolubles, vitamina E y carotenoides, además de diferentes compuestos polifenólicos antioxidantes (Ruiz y Calvo, 2015).

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo General

- Medir el óptimo desarrollo de las plántulas de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes mezclas de sustratos tipo bocashi.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la germinación en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.
- Evaluar la altura de la plántula en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.
- Evaluar el número de hojas, considerando cotiledones y hojas verdaderas, en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.
- Evaluar la biomasa en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.
- Evaluar el grosor de tallo en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.

- Evaluar el área foliar en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de sustratos tipo bocashi a base de cascarilla de café y base salvado de trigo.

4 HIPÓTESIS

El uso de la cascarilla de café en un sustrato tipo bocashi mejora el desarrollo agronómico en plántula de tomate.

5 JUSTIFICACIÓN

En los países productores de café, los residuos y sub-productos constituyen una fuente de grave contaminación y problemas ambientales. Por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se ha tratado de buscar métodos sobre cómo utilizarlos como materia prima (Cristel, 2009). Con esto se pretende elaborar un sustrato a base de cascarilla de café aprovechando su excelente fuente de celulosa, lignina, pentosanos y principalmente sílice. Tratando de sustituir de forma parcial o completa al sustrato convencional de bocashi con salvado.

La producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), requiere de nutrientes como fosforo en la fase temprana de desarrollo para asegurar el buen crecimiento de raíz además de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes (boro y zinc) (Yara, 2019). Con esto se pretende elaborar diferentes mezclas para determinar la proporción óptima.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Sitio experimental

La primera fase experimental del trabajo (elaboración de los sustratos) se realizó en el Rancho “El Trébol”, al contar en este lugar con los materiales necesarios y las instalaciones adecuadas para generar los sustratos tipo bocashi. El Rancho se encuentra ubicado en la localidad de Taborda, municipio de Temoaya, Estado de México, posteriormente la siembra de las semillas y las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Calidad de los Productos Agropecuarios, de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex.

6.2 Primera fase experimental

En esta primera etapa se realizaron los sustratos tipo bocashi

6.2.1 Materiales para la elaboración de bocashi

Se realizaron 500 kg de sustrato con salvado de trigo Figura 10, obtenido comercialmente, el bocashi se efectuó en base a la metodología reportada por Restrepo, 2010, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Bocashi de salvado de trigo

Materiales	Cantidad
Tierra normal	150 kg
Estiércol de ovino	150 kg
Rastrojo de maíz	150 kg
Salvado de trigo	15 kg
Levadura de pan	1 kg
Melaza	3 L
Ceniza de fogón	0.5 kg
Carbón	15 kg
Agua	80-100 L

Restrepo, 2010



Figura 10. Salvado de trigo
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Se realizaron 500 kg de sustrato con cascarilla de café Cuadro 2, obtenida de los desechos del proceso de café en la empresa Nestlé, el bocashi se llevó acabo en base a la metodología reportada por Restrepo, 2010.

Cuadro 2. Bocashi de salvado de café

Materiales	Cantidad
Tierra normal	150 kg
Estiércol de ovino	150 kg
Rastrojo de maíz	150 kg
Cascarilla de café	15 kg
Levadura de pan	1 kg
Melaza	3 L
Ceniza de fogón	0.5 kg
Carbón	15 kg
Agua	80-100 L

Restrepo, 2010

La única diferencia entre un sustrato y el otro fue que al primero se le agregaron los 15 kg de salvado de trigo y al segundo se le agregaron los 15 kg de cascarilla de café que se les agrego a cada uno, como se muestra en las Figuras 10 y 11, respectivamente.



Cascarilla de café

Figura 11. Cascarilla de Café
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.2.2 Descripción del sustrato tipo bocashi a base de cascarilla de café y salvado de trigo

6.2.2.1 Condiciones del lugar:

Se preparó en un lugar techado y en piso o tierra firme, colocando en capas los ingredientes en el siguiente orden: 150 kg de rastrojo de maíz, 150 kg de tierra, 150 kg de estiércol de ovino, 15 kg carbón y 15 kg de cascarilla de café o salvado de trigo, dependiendo el sustrato que se preparó, por último 0.5 kg de ceniza de fogón.

Los 3 L de melaza y el ½ kg de levadura se disuelven en 80 L. de agua y cada capa se humedece con esta agua, tal y como se ve en la Figura 12.



Figura 12. Mezcla líquida para hidratar los sustratos
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Se recomienda traspalear, es decir darle 2 o 3 veces vueltas a toda la mezcla para oxigenar y que a su vez quede uniforme, como máximo dejar la mezcla en una altura de 1.20 m debido a la temperatura tan alta que alcanza, misma que podría matar los microorganismos (Figura 13).



Figura 13. Mezcla homogénea de los sustratos
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Durante los primeros tres días se recomiendan darle 2 vueltas a la mezcla una por la mañana y otra por la tarde. Una buena práctica es rebajar gradualmente la altura del montón a partir del tercer día, hasta lograr una altura de 50 cm. A partir del 4° día y hasta el día 13 se puede realizar una vuelta al día (Figura 14).



Figura 14. Traspaleo del sustrato
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Una manera de medir la temperatura de los sustratos es colocando una varilla de fierro en el centro de cada montón de mezcla; la técnica dice que, si la varilla se toca con la mano y esta resiste el calor, la temperatura del sustrato se encuentra dentro de un rango óptimo.

A los 15 días, ambos sustratos presentaron la madurez deseada (cambio de color a gris), así que se procedió a envasar en costales, para luego poder molerlos; ya que las mezclas presentaban algunas partículas grandes, principalmente de rastrojo, tierra y estiércol. Un molino de martillos fue el que se utilizó para que ambos sustratos fueran triturados y tuvieran una textura más uniforme y de mejor calidad para su utilización en la germinación (Figura 15).



Figura 15. Molienda de los sustratos, para obtener una mejor textura
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.3 Segunda fase experimental

La segunda fase experimental se llevó a cabo en la “Facultad de Ciencias Agrícolas” de la Universidad Autónoma del Estado de México (Figura 16) ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, y correspondió a la siembra y desarrollo de plántulas.



Figura 16. Facultad Ciencias Agrícolas UAEMéx
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2020

6.3.1 Materiales para siembra de plántulas

Los materiales que se muestran en el Cuadro 3, se utilizaron como base para la elaboración de los diferentes tratamientos.

Cuadro 3. Materiales para siembra de plántulas

Materiales	Cantidad
Semilla de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	20 gr
Charola de germinación de 200 cavidades	3 pz
Pala manual	1 pz
Báscula	1 pz
Carretilla	1 pz
Molino de martillos	1 pz
Varillas de fierro	2 pz
Tambo de plástico	1 pz

6.3.2 Elaboración y descripción de los tratamientos

Se elaboraron los siguientes tratamientos: T1 compuesto por 100% tierra y fue el testigo, los tratamientos T2 y T3 fueron los sustratos tipo bocashi con salvado de trigo y cascarilla de café respectivamente, con la finalidad de conocer cómo se

compartan estos sustratos al 100%. Posteriormente, del T2 al T11 se realizarán mezclas entre la tierra y los sustratos tipos bocashi, con la finalidad de equilibrar la temperatura del sustrato ya que los demás sustratos son muy calientes y podrían alterar algunas propiedades en la germinación de la semilla, y el resto estará compuesto de los dos tipos de sustratos en diferentes proporciones para comprobar el efecto sobre variables de germinación tal como se muestra en el Cuadro 4.

Dicho en otras palabras, se realizó un diseño experimental factorial mediante un diseño de mezclas 3x4; donde 3 factores que son: 1 tierra, 2 sustrato de café y 3 sustrato de salvado, en 4 mezclas la primera al 100%, segunda al 75%, tercera al 50% y la cuarta al 25%, donde todo esto se hizo completamente al azar con 10 repeticiones cada uno tal y como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Diseño de mezclas para tratamientos de estudio

Tratamientos (T)	Tierra (%)	Sustrato Café (%)	Sustrato Salvado (%)
<i>T1</i>	100	0	0
<i>T2</i>	0	100	0
<i>T3</i>	0	0	100
<i>T4</i>	50	50	0
<i>T5</i>	50	0	50
<i>T6</i>	0	50	50
<i>T7</i>	25	25	50
<i>T8</i>	25	50	25
<i>T9</i>	50	25	25
<i>T10</i>	75	25	0
<i>T11</i>	75	0	25

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar en donde habrá 11 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11) con 10 repeticiones cada uno dando así un total de 110 unidades experimentales a evaluar. Y las variables repuestas fueron: altura de la planta (cm), número de hojas, diámetro del tallo (mm), peso en fresco (gr), peso de raíz (gr) y área foliar (cm²). Al haber diferencias significativas entre tratamientos se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

6.5 Siembra de la semilla

Se procedió a elaborar los diferentes tratamientos, tomando como medida base: 3 kg que equivale al 100% de un tratamiento.

Una vez diseñadas las mezclas y con base a los 3 kg indicados se pesó la tierra. Conocidos los valores para cada tratamiento se pesó la tierra y el par de sustratos en una báscula mecánica con cucharón, colocando los elementos en bolsas de plástico para ser pesados (Figura 17) y originado una mezcla homogénea que se utilizó para llenar las cavidades de las charolas de los tratamientos.

Como se indicó en el diseño experimental se usaron tres charolas para repetir el experimento acomodando los tratamientos de diferente manera para lograr la repetibilidad y homogeneidad de los resultados. El diseño en la charola quedo como se muestra en los Cuadros 5, 6 y 7 respectivamente. Cada uno de ellos son una repetición del primero, exactamente iguales, acomodados de diferente manera.



Figura 17. Elaboración de cada tratamiento conforme a la composición requerida
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Cuadro 5. Diseño de tratamientos en charola 1

TRATAMIENTOS

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11

Cuadro 6. Diseño de tratamientos en charola 2

TRATAMIENTOS

T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5
T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4	T7	T6	T5

Cuadro 7. Diseño de tratamientos en charola 3

TRATAMIENTOS

T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4
T7	T6	T5	T10	T11	T1	T2	T8	T9	T3	T4

Para el acomodo de los tratamientos se realizó un diseño completamente al azar se siguió el orden numérico como fueron saliendo los tratamientos, generando con ello 3 bloques con 11 repeticiones.

6.5.1 Descripción de la siembra

Se sembraron las semillas de tomate rojo en charolas de poliestireno con las siguientes características para sembrar: 66.4 cm de largo, 33.5 cm de ancho y 7 cm de alto, con un total de 200 cavidades por charola (Figura 18).



Figura 18. Charolas germinadoras
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Las cavidades de las tres charolas fueron llenadas con las diferentes mezclas de sustratos (tierra+sustrato café+sustrato salvado), de acuerdo con el tratamiento correspondiente, como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Llenado de las charolas con sustrato

Cada tratamiento (de izquierda a derecha, Cuadros No. 5, 6 y 7, respectivamente).

Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Posteriormente se sembraron las semillas de tomate rojo, de la marca “Seminis”, las cuales se colocaron dos semillas por cavidad, para asegurar una mejor germinación de semillas, procurando que estas quedaran a la misma profundidad de siembra; es decir, enterradas a dos veces el tamaño de la semilla (Figura 20).



Figura 20. Siembra de semillas de tomate en los sustratos.
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

Las semillas fueron regadas únicamente con agua, una vez por día con la ayuda de un atomizador, para evitar que la semilla fuera movida o saliera de su cavidad.

6.5.2 Variables de estudio

6.5.2.1 Altura de plántula (AP) cm

Se mide de la base al extremo apical de la hoja, expresado los resultados en cm y para ello se realizó la medición con una cinta métrica a partir de los 10 y hasta los 50 días después de la siembra, ya que hasta esta fecha se podía apreciar claramente la diferencia entre tratamientos, de acuerdo con el crecimiento que presentaron las plántulas (Figura 21).



Figura 21. Medición de la altura de la plántula (cm)
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.5.2.2 Número de hojas (NH)

La medición se realizó a todas las hojas enteras de la plántula desarrolladas totalmente, tomando en cuenta los cotiledones (son el primer par de hojas que se desarrollan en la plántula) y las primeras hojas verdaderas (son las que se forman después de los cotiledones y se pueden diferenciar por la forma y el tamaño) que se desarrollaron desde tallo hasta el ápice de la plántula (Figura 22)



Figura 22. Conteo del número de hojas
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.5.2.3 Grosor del tallo (GT)

Se realizó ocupando un micrómetro digital y en la parte media de la planta, los resultados son expresados en mm de diámetro del tallo (Figura 23).



Figura 23. Grosor del tallo
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.5.2.4 Peso fresco de la parte aérea (PFA) (gr)

Se realizó la medición de la biomasa o peso fresco de la plántula de la parte foliar completa, eliminado la raíz y tomando el peso con ayuda de una báscula digital, los resultados fueron expresados en gramos (Figura 24).

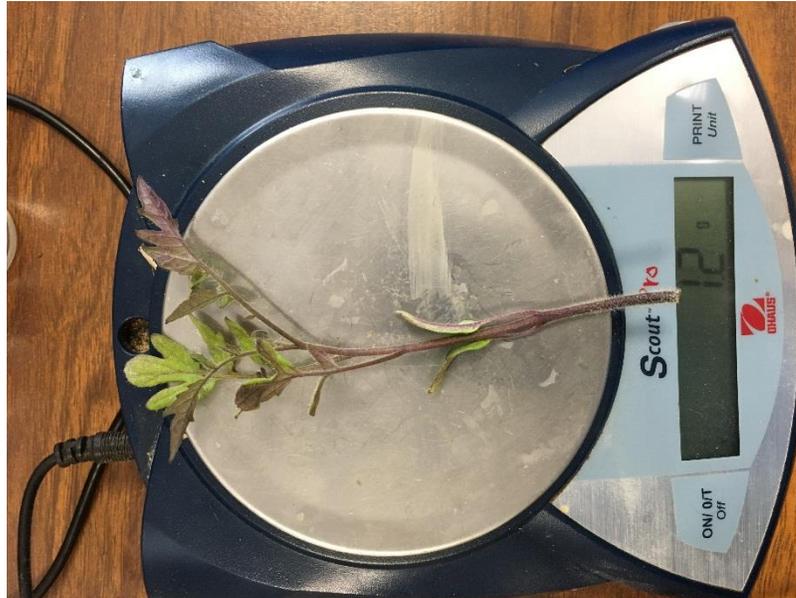


Figura 24 Pesado de las plántulas en la báscula analítica

.Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.5.2.5 Peso fresco de raíz (PFR)

Se realizó el peso de la raíz, con ayuda de una báscula digital la cual fue previamente limpiada para eliminar impurezas, expresado los resultados en gramos de la parte radicular (Figura 25).



Figura 25. Pesado de las raíces de las plántulas
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

6.5.2.6 Área foliar (AF) (cm²)

Para obtener los resultados a esta variable fue necesario tomar 5 fotografías por tratamiento a diferentes plántulas por cada charola de manera aleatoria, es decir se obtuvieron 15 fotografías (15 plántulas) por tratamiento, todas las fotografías se tomaron a una altura de 28 cm. Dichas fotografías fueron analizadas de manera individual en el programa Motic Images Plus 2.0 ML para poder obtener los valores del área foliar en cm² (Figura 26 y Figura 27) (García, 2008).

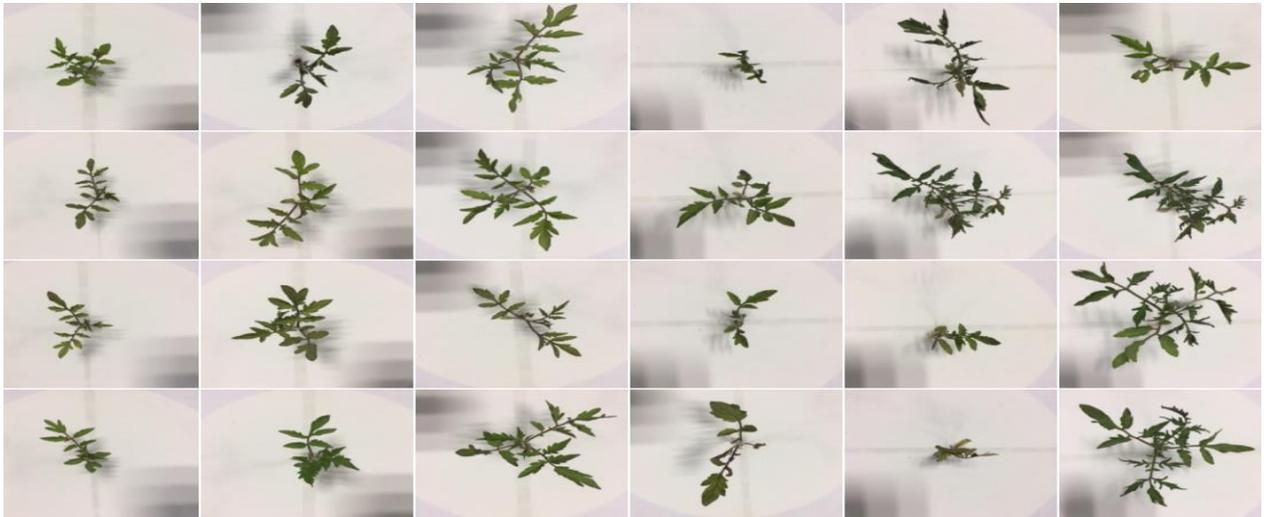


Figura 26. Fotografías tomadas a las plántulas para determinar su área foliar (Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019)

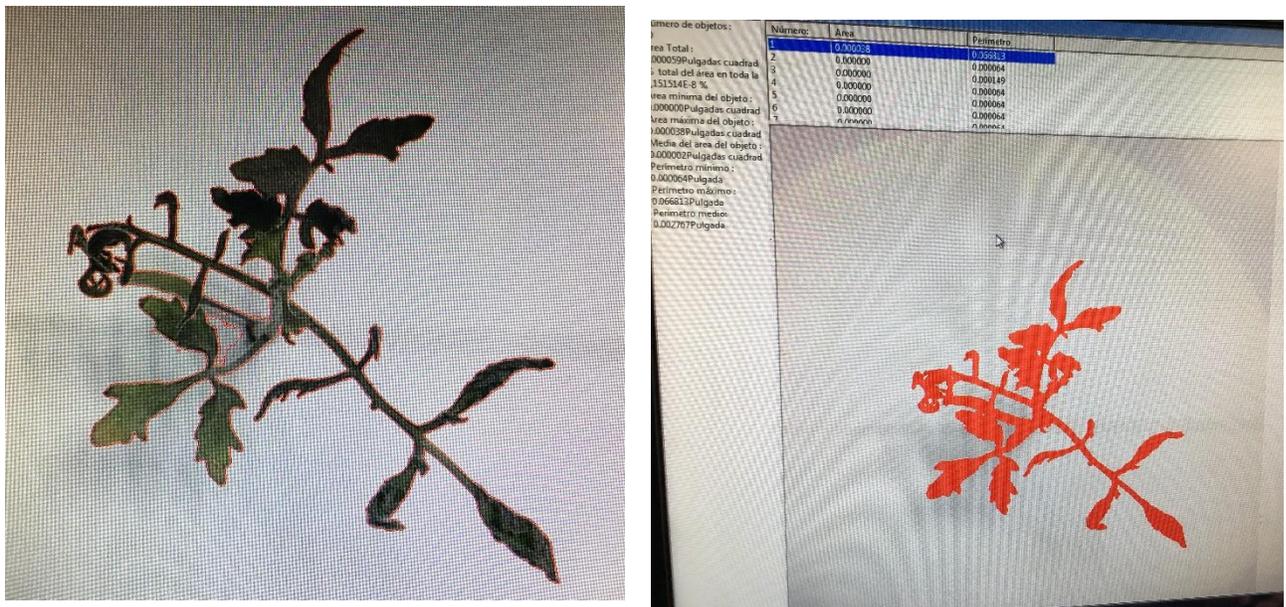


Figura 27 Medición del área foliar en cm^2 por medio del programa Motic Images Plus 2.0 ML
Elaboración propia; Alejandro Márquez, 2019

7 RESULTADOS

7.1 Germinación de semillas

Como era de esperarse no todas las semillas germinaron, debido a factores como el tipo de sustrato, la humedad y en algunos casos la profundidad de siembra, como se muestra en las Figuras 28, 29 y 30. El Cuadrado completo representa el experimento con sus 10 repeticiones por charola y además replicado 3 veces. Hacia la derecha se muestra el acomodo de los tratamientos (diferentes en cada charola) y hacia abajo las 10 repeticiones, los espacios en blanco representan las semillas no germinadas.

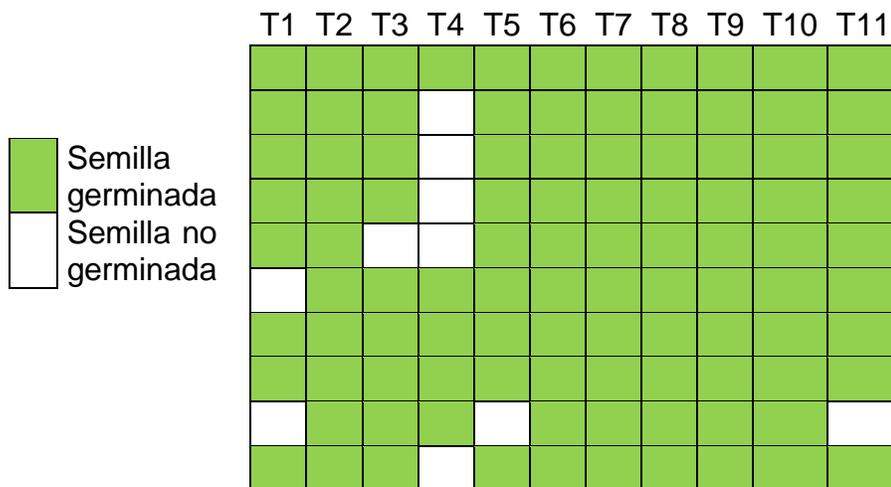


Figura 28. Semillas germinadas en la charola 1

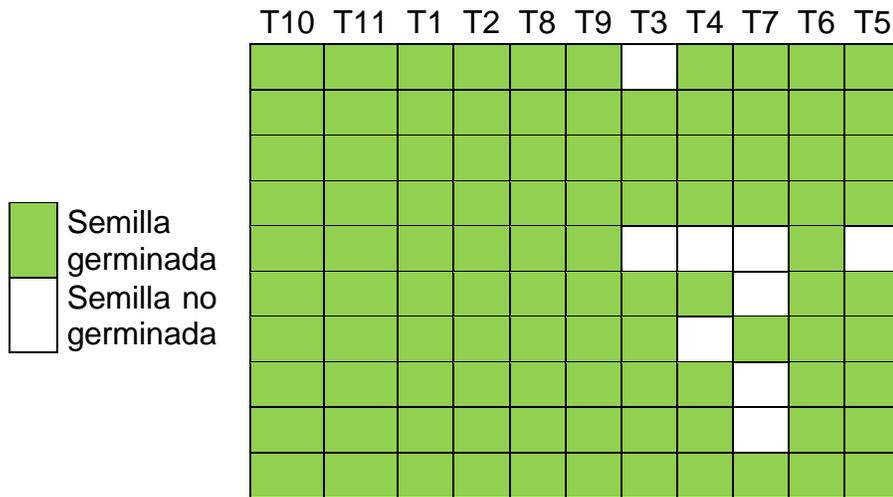


Figura 29. Semillas germinadas en la charola 2

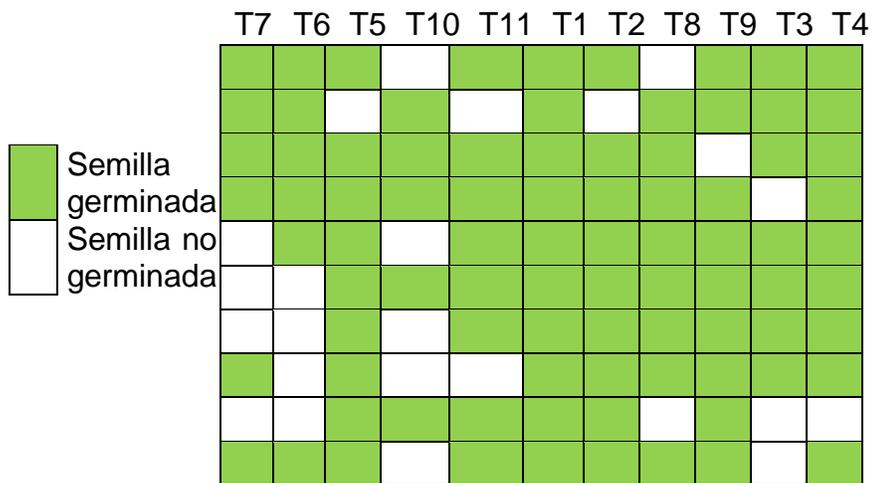


Figura 30. Semillas germinadas en la charola 3

En las Figuras 28, 29 y 30 se observa el porcentaje de germinación de la semilla. Siendo el T3 (100% sustrato de salvado de trigo) el de menor porcentaje de germinación, seguido el T6 (50% sustrato de café y 50 % de sustrato de salvado

de trigo) y por último el T2 (100% sustrato de café), lo que indica que las mezclas donde predominan por completo los sustratos de café y de salvado de trigo afectan notablemente el proceso de germinación de las semillas. Confirmando que los sustratos al 100% son poco aptos para la semilla de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Sin embargo, el T4 (50% tierra y 50% café) mostro lo contrario al lograr el 100% de germinación en las semillas, lo que sugiere que este sustrato es el mejor para este proceso.

7.2 Análisis estadístico

Para todos los datos que se obtuvieron de la presente investigación se elaboró una base de datos en Excel la cual se acomodó por tratamientos y sus variables de estudio (altura de planta, número de hojas, grosor de tallo, peso fresco y peso de raíz); misma que se exporto al programa estadístico Statgraphics Centurion. En el cual se realizaron los análisis de correlación de Pearson, ANOVA de una sola vía, comparación de medias de Tukey, todos con una confianza al 95%.

7.3 Correlación

Para las variables altura de la planta (cm), número de hojas, diámetro del tallo (mm), peso en fresco (gr), peso de raíz (gr) y área foliar (cm²) de cada tratamiento se les realizo una correlación de Pearson con una $p \leq 0.05$. Todas las variables presentaron relación tanto positiva como negativa (se considera positiva cuando incrementan las dos variables correlacionadas y es negativa cuando mientras aumenta una la otra disminuye).

En el Cuadro 8, se muestra todas las correlaciones que se generaron entre las variables, en él se observa que en todos los casos las variables de estudios son

altamente significativas ($p \leq 0.05$). En el Cuadro 8, se observa que los resultados se clasificaron en 3 grupos, las de correlación alta como fueron las variables de altura de planta (cm) y peso fresco (gr) ($r^2 = 0.8085^*$), altura de planta (cm) y área foliar (cm^2) ($r^2 = 0.8991$), y área foliar y peso fresco ($r^2 = 0.8867^*$). Las de correlación media como altura de planta (cm) y número de hojas, altura de planta (cm) y grosor de tallo (mm), altura de planta (cm) y peso de raíz (gr), número de hojas y peso fresco (gr), número de hojas y área foliar (cm^2), número de hojas y peso en raíz (gr), grosor de tallo (mm) y peso en raíz (gr), por último las de correlación baja que se dieron entre número de hojas y grosor de tallo (mm) y número de hojas y peso en raíz (gr).

Cuadro 8. Correlaciones de Pearson $p \leq 0.05$ para cada variable de estudio.

	Altura planta	Núm. de hojas	Grosor de Tallo	Peso en fresco	Área Foliar	Peso Raíz
Altura planta		0.5455 0.0000	0.5538 0.0000	0.8085 0.0000	0.8991 0.0000	0.5654 0.0000
Núm. de hojas			0.3745 0.0000	0.5166 0.0000	0.5503 0.0000	0.3771 0.0000
Grosor de Tallo				0.4979 0.0000	0.5221 0.0000	0.4866 0.0000
Peso en fresco					0.8867 0.0000	0.5393 0.0000
Área Foliar						0.5604 0.0000
Peso Raíz						

Nota: Los valores con * indican el nivel de significancia ($p \leq 0.05$), los que no presentan * indican el nivel de correlación que existió entre las variables.

Para determinar cuál fue el mejor tratamiento de los 11 posibles para cada una de las variables respuesta se realizó un análisis de varianza de una vía, el cual indicó si había diferencias entre tratamientos, al haber diferencias se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%.

Los resultados del análisis del Cuadro 8, se describen a continuación.

7.4 Altura de plántula (cm)

A los valores que se obtuvieron de altura de plántula para cada tratamiento se les aplicó un ANOVA ($p \leq 0.05$) de una vía el cual mostro que había diferencias entre los tratamientos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para altura de plántula (cm) por tratamiento.

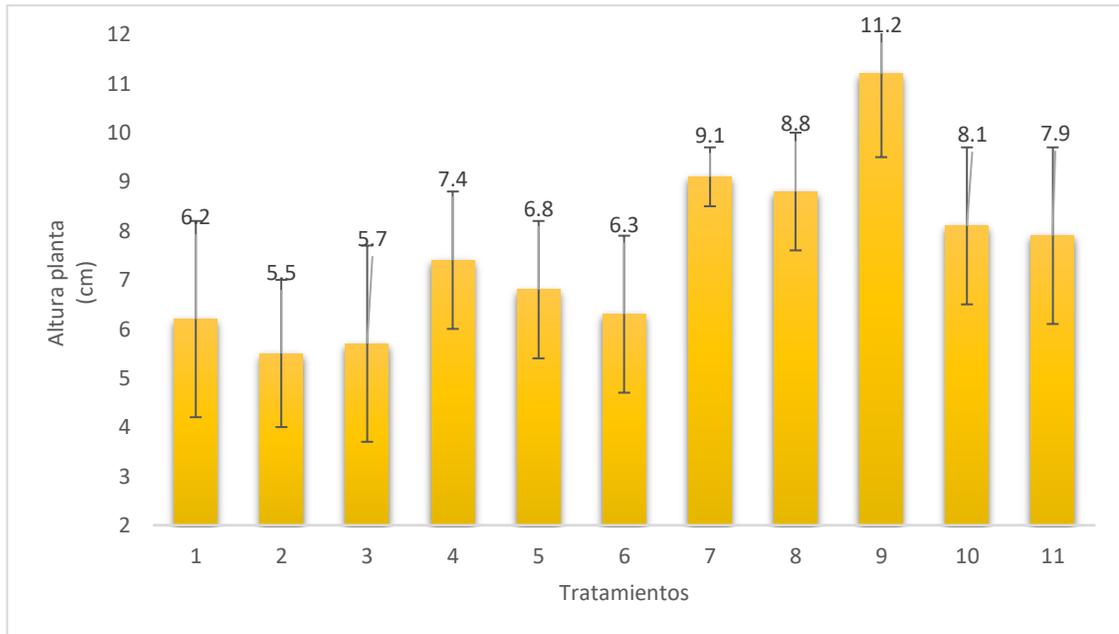
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	436.687	10	43.6687	38.34	0.0000
Intra grupos	175.424	154	1.13911		
Total (Corr.)	612.111	164			

Nota: Gl grados de libertad, *P* indica el nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

Al aplicarse la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), se encontró que se formaron 6 grupos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$), mismos que se muestran en la Figura 31. Por esta variable se encontró un rango entre 5.5 cm y 11.2 cm, lo cual muestra un efecto por las concentraciones ocupadas como sustrato. Los tratamientos que presentaron valores menores en la altura de la plántula fueron el T2= 5.5 cm, T3=5.7 cm, y T1=6.2 cm los cuales pertenecen a los sustratos puros (café, salvado y tierra), esto debido a la acidez de estos productos que afectan el pH de las plántulas. Por el contrario, la mayor altura de planta se encontró en los tratamientos T7=9.1 cm, T8=8.8 cm, que son tratamientos que están compuestos por los tres sustratos evaluados siendo el

mejor el tratamiento el T9=11.2 cm que es el tratamiento correspondiente a 50% tierra, 25% sustrato de café y 25% de salvado.

Figura 31. Altura de la plántula (cm)



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo).

7.5 Número de hojas

Los resultados de la variable número de hojas se observa en el Cuadro 10, en dicho Cuadro se observa que existió una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Por efecto de los tratamientos.

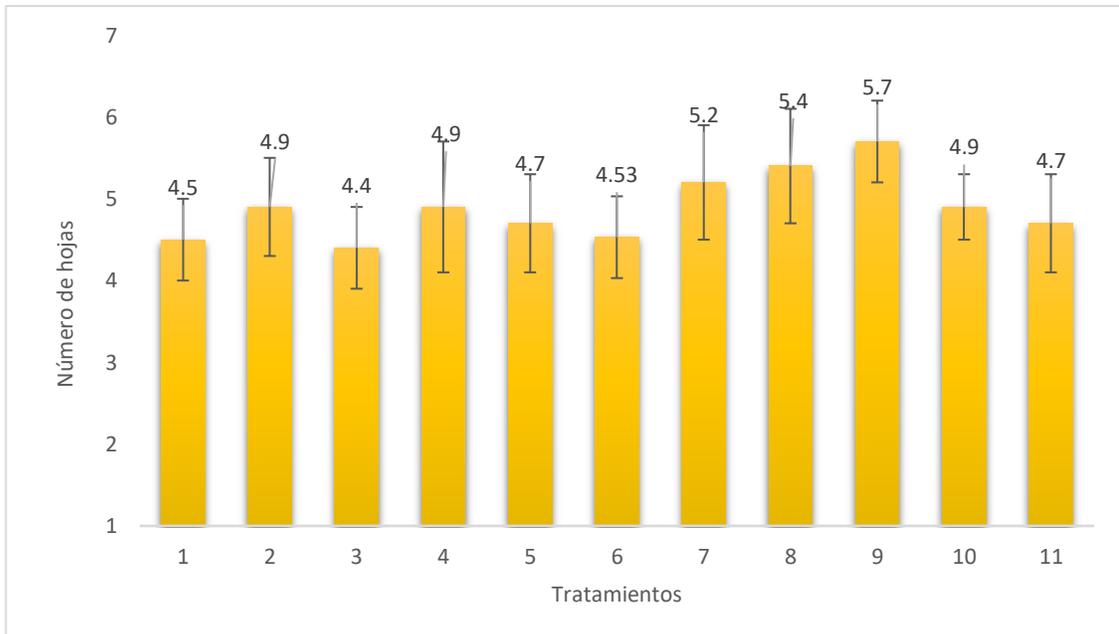
Cuadro 10. Análisis de varianza de una vía para número de hojas de plántula por tratamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24.8121	10	2.48121	6.59	0.0000
Intra grupos	58.0	154	0.376623		
Total (Corr.)	82.8121	164			

Nota: Gl grados de libertad, P indica el nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

Al encontrar diferencia significativa ($p \leq 0.05$), se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia del 95%, resultado que se observan en la Figura 32. Donde se muestran 3 grupos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$), siendo los tratamientos de los sustratos al 100% (T1, T2 y T3) y las combinaciones al 50-50% (T4 y T5) y 75-25% (T10 y T11) de los 3 sustratos, las que presentan los menores valores, encontrándose en un rango de 4.4 a 4.9 sin mostrar diferencia significativa ($p \leq 0.05$), entre ellos. Por el contrario, el mayor número de hojas se encontró en los tratamientos compuestos por los tres sustratos evaluados T7 con 5.2 y T8 con 5.4 respectivamente, siendo el tratamiento el T9 con 5.7 el mejor

Figura 32. Número de hojas en plántula



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo).

7.6 Grosor de tallo en plántula de tomate (mm)

Los resultados del ANOVA la variable grosor de tallo en plántula se observan en el Cuadro 11, en dicho cuadro podemos observar que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por efecto de los tratamientos.

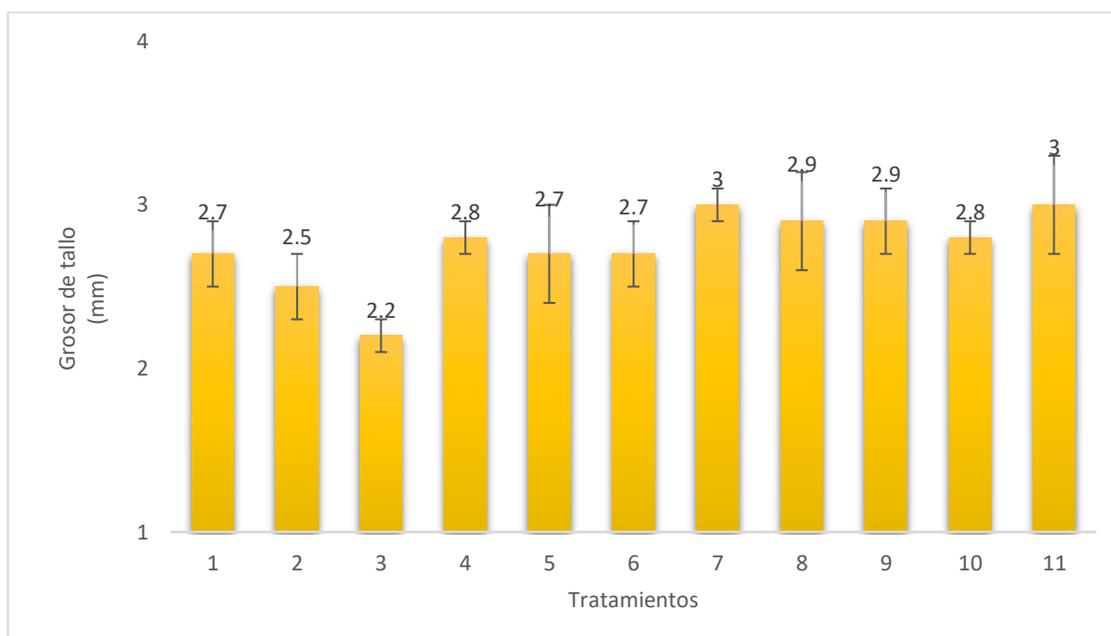
Cuadro 11. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para grosor de tallo (mm) por tratamiento.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	24.8121	10	2.48121	6.59	0.0000
Intra grupos	58.0	154	0.376623		
Total (Corr.)	82.8121	164			

Nota: Gl grados de libertad, *P* indica el nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

Al encontrar diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia del 95 %, resultados mismos que se pueden observar en la Figura 33. Como se observa en esta gráfica, se muestran 4 grupos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$), siendo el grupo que presenta los menores valores el que contiene los tratamientos T3= 2.2 que representa el 100 % sustrato de salvado, seguido de los tratamientos T1, T2, T4, T5, T6 con valores entre 2.5 y 2.8. El tratamiento que presentó el mayor grosor de tallo fue el T7=3.0 que es el tratamiento con 25% de tierra, 25% de sustrato de café y 50% de salvado.

Figura 33. Grosor de tallo en plántula (mm)



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo).

7.7 Peso fresco de plántula de tomate (gr)

Los resultados de la ANOVA ($p \leq 0.05$) para la variable peso fresco (gr) de plántula expresada en gramos, se observan en el Cuadro 12, en dicho cuadro se observa que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por efecto de los tratamientos.

Cuadro 12. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para peso fresco (gr) de plántula por tratamiento.

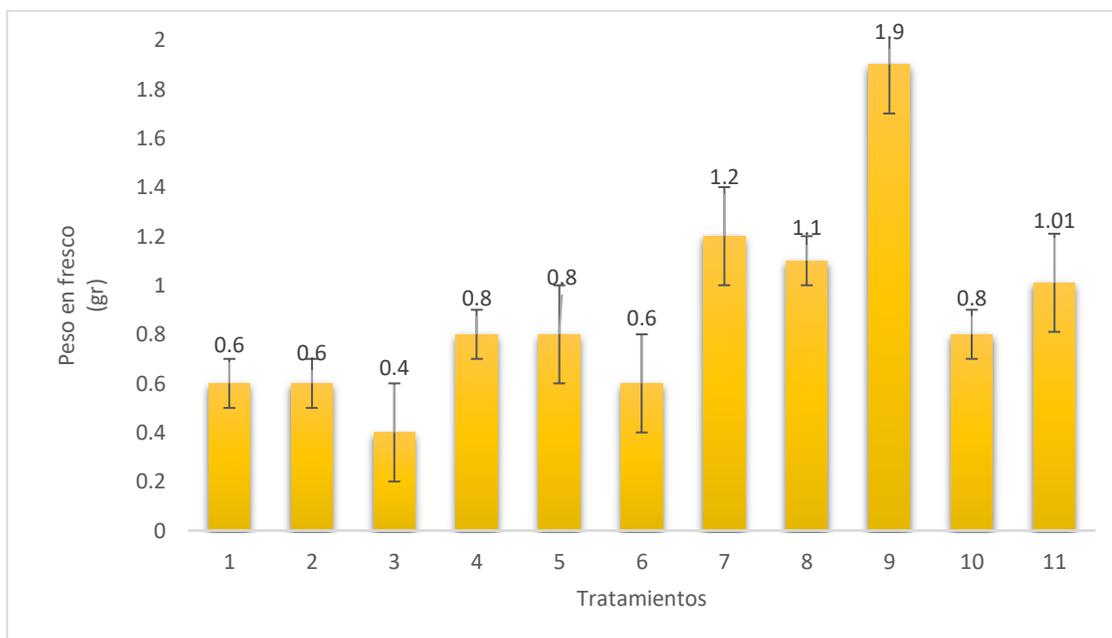
Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.9859	10	2.59859	107.65	0.0000
Intra grupos	3.71733	154	0.0241385		
Total (Corr.)	29.7033	164			

Nota: Gl grados de libertad, P indica el nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

Derivado de lo anterior, se aplicó una prueba de comparación de medias Tukey al 95%, donde se formaron cuatro grupos.

El tratamiento T3 (100% de tierra) fue el que tuvo menor peso seguido por el T2 (100% sustrato de café) y el T1 (100% sustrato salvado), en un rango entre 0.4 y 0.6 gr. Contrario a éstos, el tratamiento T9 (50 % tierra, 25% de sustrato de café y 25% sustrato de trigo) se encuentra por encima del resto de los tratamientos con un peso de 1.9 gr, siendo éste el mejor tratamiento mismo que se puede observar en la Figura 34.

Figura 34. Peso fresco de plántula de tomate (gr)



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo).

7.8 Peso de raíz por plántula de tomate (gr)

Los resultados de la ANOVA ($p \leq 0.05$) variable peso de raíz por plántula se observa en el Cuadro 13, en dicho cuadro se ve que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por efecto de los tratamientos.

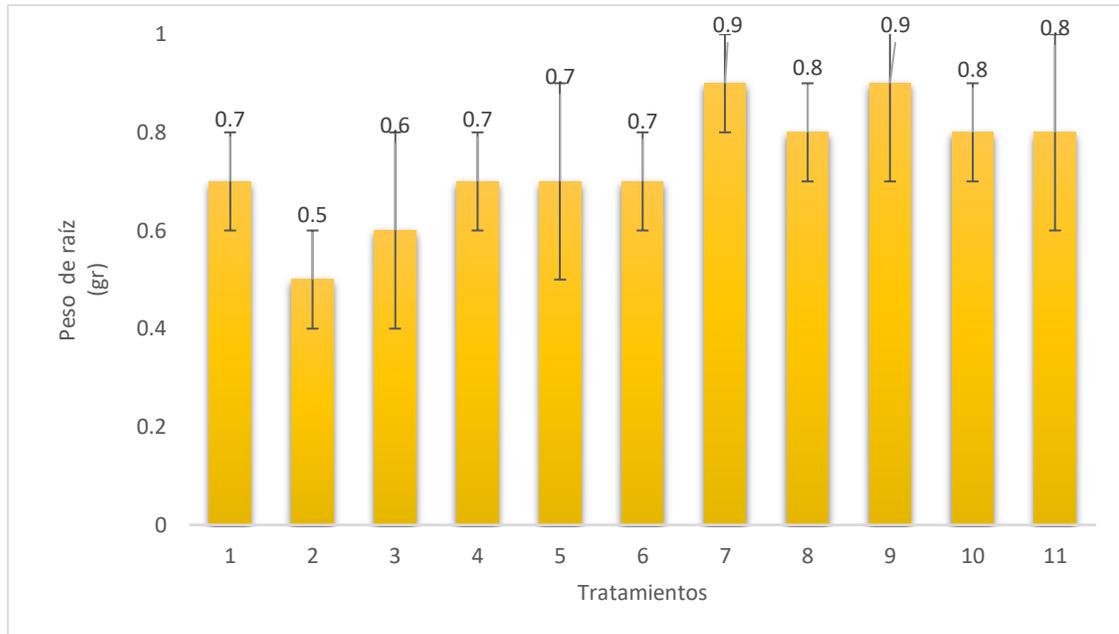
Cuadro 13. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$) para peso de raíz (gr) por plántula en los diferentes tratamientos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.65479	10	0.265479	16.34	0.0000
Intra grupos	2.50133	154	0.0162424		
Total (Corr.)	5.15612	164			

Nota: Gl grados de libertad, *P* indica el nivel de significancia ($p \leq 0.05$).

Al haber diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación de medias Tukey al 95% de significancia. Como se observa en la Figura 35 se forman 4 grupos con diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). Los tratamientos T2 y T3 fueron los que presentaron valores más bajos en peso de raíz, los cuales están compuestos por el 100 % de sustrato de café y 100% de sustrato de salvado. Por el contrario, el T7 (25% tierra, 25% sustrato de café y 50% sustrato de salvado) fue el mejor con un valor de 1 gr, seguido por el T9 (50% tierra, 25% sustrato de café y 25% de sustrato de salvado).

Figura 35. Peso de raíz por plántula de tomate (gr)



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo).

7.9 Área foliar por plántula de tomate (cm²)

Los resultados del ANOVA de la variable área foliar (cm²) por plántula se observan en el Cuadro 14, en el podemos observar que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por efecto de los tratamientos.

Cuadro 14. Análisis de varianza ($p \leq 0.05$), de una vía para área foliar entre los tratamientos.

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12562.7	10	1256.27	61.65	0.0000
Intra grupos	3138.13	154	20.3775		
Total (Corr.)	15700.8	164			

Nota: Gl grados de libertad, P indica el nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

Al encontrar diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre tratamientos, se aplicó una prueba de comparación de medias Tukey al 95 % de significancia, como se observa en la Figura 36.

En dicha gráfica se ve que se formaron 5 grupos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$), siendo los tratamientos T1, T2 y T3 los que mostraron los valores más bajos, en un rango entre 13 y 15 cm² de área foliar, sin mostrar diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos, y que corresponden a las concentraciones absolutas de los sustratos tierra, café salvado, en comparación con el T9 el cual muestra un valor muy superior de 41.5 cm², y es el que presenta los valores más altos.

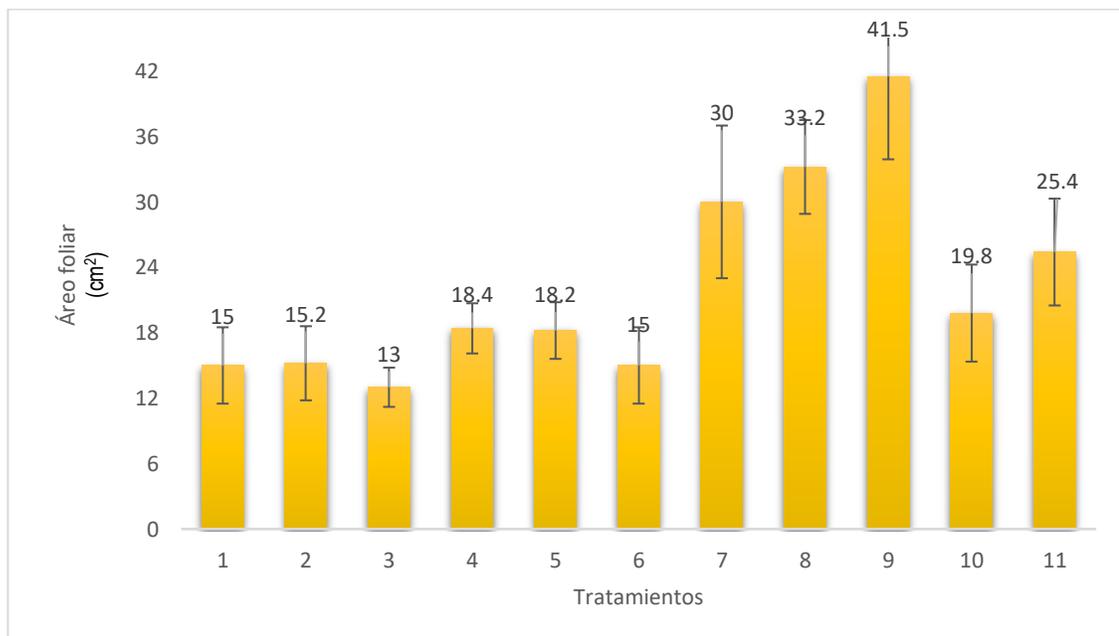
En el Cuadro 15 se presentan los resultados de altura de plántula (cm), número de hojas, grosor de tallo (mm), peso en fresco (gr), peso de raíz (gr) y área foliar (cm²), en él se puede ver que los mejores tratamientos fueron el T9 seguido por los tratamientos T8 y T7.

Cuadro 15. Efecto de diferentes concentraciones de sustrato en plántulas de tomate

Tratamientos	Altura de plántula (cm)	Número de hojas	Grosor de tallo (mm)	Peso en fresco (gr)	Peso de raíz (gr)	Área foliar (cm ²)
1	6.2±2.0a	4.5± 0.5a	2.7±0.2b	0.6±0.1a	0.7±0.1b	15.0±3.5b
2	5.5±1.5a	4.9± 0.6a	2.5±0.2b	0.6±0.1a	0.5±0.1a	15.2±3.4b
3	5.7±2.0a	4.4 ± 0.5a	2.2±0.1a	0.4±0.2a	0.6±0.2a	13.0±1.8a
4	7.4±1.4b	4.9± 0.8a	2.8±0.1c	0.8±0.1b	0.7±0.1b	18.4±2.3b
5	6.8±1.4b	4.7±0.6a	2.7±0.3b	0.8±0.2b	0.7±0.2b	18.2±2.6b
6	6.3±1.6a	4.53±0.5a	2.7±0.2b	0.6±0.2a	0.7±0.1b	15.0±3.5b
7	9.1±0.6f	5.2± 0.7b	3.0± 0.1d	1.2±0.2c	0.9±0.1c	30.0±7.0d
8	8.8±1.2f	5.4±0.7b	2.9±0.3c	1.1±0.1c	0.8±0.1c	33.2±4.3d
9	11.2±1.7g	5.7±0.5c	2.9±0.2d	1.9±0.2d	0.9±0.2c	41.5±7.6e
10	8.1±1.6f	4.9±0.4a	2.8±0.1c	0.8±0.1b	0.8±0.1c	19.8±4.45b
11	7.9±1.8e	4.7±0.6a	3.0±0.3d	1.01±0.2c	0.8±0.2c	25.4±4.9c

Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo). Letras diferentes (a, b, c, d, e, f y g) entre columnas denotan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$)

Figura 36. Foliar por plántula de tomate (cm²)



Nota: T1 (100% tierra), T2 (100% sustrato de café), T3 (100% sustrato de salvado de trigo), T4 (50% tierra y 50% sustrato de café), T5 (50% tierra y 50% sustrato salvado de trigo), T6 (50% sustrato de café y 50% sustrato de salvado de trigo), T7 (25% tierra 25% sustrato de café y 50% sustrato de trigo), T8 (25% tierra 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo), T9 (50% tierra 25% sustrato café y 25% sustrato de trigo), T10 (75% tierra y 25% sustrato de café), T11 (75% tierra y 25% sustrato de trigo)

8 DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados de las variables evaluadas: altura de planta (cm), número de hojas, peso fresco (gr), peso de raíz (gr) y área foliar (cm²) se ven en el Cuadro 15, en él se observan que los valores más bajos para dichas variables los presentan los tratamientos T1, T2 y T3, que contienen los diferentes sustratos al 100% (tierra, bocashi de café y bocashi de salvado de trigo). El mismo comportamiento lo tiene el T6 que está compuesto por 50% de bocashi de café y 50% de bocashi de salvado de trigo, dicho efecto se sugiere está influenciado, en la tierra por su pobre composición de minerales ya que la tierra provenía de un terreno agrícola cultivado con maíz.

Por el contrario, en los sustratos de bocashi de café y salvado de trigo los cuales, en su composición de mezcla, contienen materiales como carbón (que son minerales), melaza (son carbohidratos) y estiércol (que contiene nitrógeno). Estos componentes en concentraciones altas pueden afectar el crecimiento normal de una planta, dicho efecto concuerda con lo reportado por Huerta-Muñoz y Cruz-Hernández, (2018) en un trabajo donde indica que el *compost* de estiércol vacuno a proporciones superiores a 50% generaron efectos negativos en crecimiento vegetativo, radicular y floración, por el alto contenido de nitrógeno.

Posteriormente, se observa que las variables van mejorando conforme se empiezan a hacer mezclas entre los tratamientos. Para el caso específico de los tratamientos que contienen 50 % de tierra y 25% de los sustratos de café T4 y

sustrato de salvado de trigo T5, se observa que se comienza a mejorar el crecimiento de las plántulas de acuerdo con las variables de estudio.

Sin embargo, estos valores son menores cuando las mezclas se encuentran en un 75% de tierra y 25% de bocashi de café T10 y 75% de tierra y 25% de bocashi de salvado de trigo T11, y a su vez todavía son más inferiores los valores observados en los tratamientos que contienen el 25% de tierra, 25% de bocashi de café y 50% de bocashi de salvado de trigo T7, 25% de tierra, 50% de bocashi de café y 25% de bocashi de salvado de trigo T8.

El tratamiento T9, el cual estaba compuesto por la mezcla de 50% de tierra, 25% de bocashi de café y 25% de bocashi de salvado de trigo, presento los mejores valores que el resto de los tratamientos e incluso en algunos casos hasta el doble de las variables evaluadas ((altura de planta (cm), número de hojas, peso fresco (gr), peso de raíz (gr) y área foliar (cm²)); seguido por los tratamientos: T7 el cual estaba compuesto por 25% tierra, 25% sustrato de café y 50% sustrato salvado de trigo, dicho tratamiento obtuvo el valor más alto en la variable grosor de tallo (mm) y el T8 compuesto por 25% tierra, 50% sustrato de café y 25% sustrato salvado de trigo, el cual presento resultados favorables en el experimento.

El tratamiento T3 compuesto por el 100% de sustrato salvado de trigo, fue en general el que presentó los valores más bajos en el experimento de acuerdo con las variables evaluadas, puesto que por sí solo no cuenta con los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plántulas, es necesario que se mezcle con tierra y sustrato de cascarilla de café ya que la cascarilla de café, contribuye como

fuentes de celulosa, lignina, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción y en abonos orgánicos permite darles una mejor homogenización y aireación al prepararlos así como también aumenta hasta el 30% el volumen total del mismo según lo reportado por García, 2008.

Conforme a lo observado en este experimento se puede decir que las plántulas de tomate rojo logran un buen desarrollo siempre y cuando se procuren las condiciones meteorológicas naturales o artificiales idóneas, así como también se puede lograr una óptima producción en sustratos elaborados a base de materiales naturales que son de bajo costo, pronta disponibilidad y en algunos casos son desechos de ciertas agroindustrias como es el caso de la cascarilla de café, misma que de acuerdo con Restrepo (1978) afirma que cuando la cascarilla de café se humedece con un poco de suero de leche, levadura y melaza de caña o aguas mieles provenientes del propio grano, se constituye en un excelente medio de cultivo para la multiplicación diversificada de microorganismos en constantes sucesiones biológicas, las cuales favorecen la rápida recuperación de los suelos degradados. Por lo anterior, se sugiere que es la razón por la cual los mejores tratamientos con los valores más altos conforme a las variables evaluadas en el presente experimento fueron T9, T8 y T7 mencionados, están conformados en sus mezclas por un 25% a 50% de sustrato cascarilla de café, debido a que es el rango porcentual que mejor favorece el desarrollo, nutrición y crecimiento morfológico de las plántulas.

9 CONCLUSIONES

En la adición del sustrato tipo bocashi en concentraciones al 100 % tanto de sustrato de café como del sustrato de salvado, afecta de manera desfavorable el desarrollo morfológico de la plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Sin embargo, los tratamientos a los que se les adicionaron mezclas más equilibradas como: 25% de un sustrato más 25% del otro sustrato y en combinación con 50% de tierra, la plántula presento un mejor crecimiento de acuerdo con las variables evaluadas.

El tratamiento T9 fue el mejor del experimento debido a que los resultados obtenidos fueron propicios, ya que en cinco de las seis variables evaluadas fue el mejor (altura de plántula, número de hojas, biomasa, peso de raíz y área foliar), indicando que la mezcla 50% tierra+25% sustrato café+25% sustrato salvado de trigo, es la ideal para usarse en la producción de plántulas de tomate.

Por lo anterior se concluye que la cascarilla de café es apta como material natural para usarse en sustratos tipos bocashi, debido a que contribuye con múltiples características nutritivas y físicas para emplearse en plántulas y de esta manera revalorizar su uso para dejar de ser un desecho agroindustrial.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. **AMHPAC (Asociación Mexicana de Horticultura Protegida AC). (2017).** Agricultura protegida en México.
mhpac.org/2018/images/PDFoficial/HorticulturaenMexico.pdf.
2. **Cabrera R. (1999).** Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura. 5, 5-11.
3. **Castellanos, J. Z. (2009).** Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRI, Celaya, México 458 pp.
- 4.
5. **Civeira, G. (2010).** Efecto de la aplicación de *compost* de residuos sólidos municipales sobre las propiedades de los suelos y el establecimiento de plantas en ambientes periurbanos. Chilean journal of agricultural research. 70 (1) pp 446-453.
6. **Cristel, S. (2009).** La cascarilla de café como materia prima para elaborar papel.
https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/CT_L_IE%20La_cascarilla_de_cafe_como_mater.pdf.

7. **Cuesta, A. (2007).** El Cultivo del Tomate (*Lycopersicon esculatum Mill*). (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” México.

8. **Chavarrea, M. (2010).** Evaluación de diferentes tipos de medios de cultivos bacterianos (microorganismos) beneficios en la elaboración de abono orgánico fermentado (bokashi). (Tesis de licenciatura), Escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador.

9. **De Luna, Alicia., García, María., Rodríguez Eduardo., Vázquez Javier y Rodríguez Eduardo. (2014).** Impacto Económico de la Agricultura Orgánica en comparativo con la Agricultura Tradicional en el cultivo del Maíz. Ciencias Agropecuarias, Handbook -©ECORFAN (1) pp169-176.

10. **Espanica. (2018).** Tratamiento del Café: Cafés lavados y no lavados. Espanica comercio justo, Sitio web: <https://espanica.org/cafe-de-nicaragua/tratamiento/>. Consultado: 12 marzo 2019.

11. **FIRA (2017).** Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y desarrollo Sectorial. 1(1), 1-25 pp.

12. **García, J. A. (2008).** Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en el cultivo sin suelo de hortalizas (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional.

13. **Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, A., Garruña-Hernández R. (2016).** Sustratos para producción de flores. *Agrociencia* 50: 617-631 pp.
14. **Giaconi, V. y Escaff, M. (2004).** Cultivo de hortalizas. 15a ed. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 337 pp.
15. **Gómez, D. y Vásquez, M. (2011).** Producción orgánica de hortalizas de clima templado, pyme rural. 1-35 pp. <https://www.metrocert.com/files/plantulas%20de%20invernadero.pdf>.
16. **Hernández, C. S. (2011).** Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados “Campus Montecillo”, Texcoco, Estado de México, 107 p.
17. **Huerta, E., Hernández J. (2018).** Efectos de los abonos orgánicos en el crecimiento de plantas de geranio y belén. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4 (2): 44-53.
18. **Huerta-Muñoz, Elena. Cruz-Hernández, Javier. (2018).** Efectos de los abonos orgánicos en el crecimiento de plantas de geranio y belén *Acta agrícola y pecuaria*, 4 (2): 44-53.
19. **Jarquín, D. (2004).** Evaluación de cuatro variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), basado en el complejo Mosca blanca (*Bemisia*

tabaci) Geminivirus, en la comunidad de Apompuá, Potosí, Rivas, Nicaragua. Tesis de M.Sc. Managua, Nicaragua. 73p.

20. **Lopez, L. (2016).** Manual técnico del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. Instituto nacional de innovación y transferencia en tecnología agropecuaria. 126p.

21. **Medina, C., Lobo, C. I., García, M., García, R. y Medina, L. C. I. (2004).** Caracterización morfológica de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt. *Solanaceae*) (No. PDF 555).

22. **Mejías, B. N., Orozco, G. E., Galán, N. (2016).** Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. 6 (1) 27-41.

23. **Méndez, N. R., Castillo B.E., Vázquez B. E., Briceño, P. O. Coronado P. V., Pat, C. R., y Vivas P. G. (2009).** Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería 13:13-21.

24. **Mendoza, D., De La F. R. García, R.M. Belda, F. Fornes, y. M. Abad (2011).** Compostaje y vermicompostaje de residuos hortícolas: evolución de parámetros físicos y químicos durante el proceso. Consecuencias ambientales. Actas Hort. 59 pp 22-27.

25. **Morales, M.E., L.W. Trejo, R. R. Santos, y P. H. Bacab. (2009).** Caracterización química de excretas de cerdo secas y maduras provenientes de tres niveles de energía. *Tropical Subtropical Agroecosystems*. 15:567-573.
26. **Najera, O. (2013).** Evaluación de sustratos en la producción de gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) VAR. BARON. (Tesis de Licenciatura). Universidad autónoma del estado de México, Mex. 99p.
27. **Nuez, F. (2001).** El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. España. 793 pp.
28. **Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval, C. E., Salcido-Ramos, B. A., Manzo-Ramos, F. (2010).** Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346.
29. **Peralta, I., Knapp, S. y Spooner, D. M. (2005).** New species of wild tomatoes (*Solanum lycopersicum*: Solanaceae) from northern Peru. *Systematic Botany*. Vol. 30, 424-434pp.
30. **Pérez, G. M., Márquez, S. F. y Pena, L. A. (2002).** Cultivo de Tomate, publicado por el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Vol. 1. 47pp.

31. **Puerta, G. (1999).** Influencia de proceso de beneficio en la calidad del café. Centro nacional de investigación de café. CENICAFÉ. Vol 50, 78-88.
32. **Ramos D., Terry E. (2014).** Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos tropicales. Vol. 35. 52-59.
33. **Restrepo, J. (1978).** Caracterización física y química de los frutos del café. Instituto de nutrición de centroamerica y Panama. <https://docplayer.es/20899104-Characterizacion-fisica-y-quimica-de-los-frutos-del-cafe.html>.
34. **Restrepo, J. (2007).** Manual práctico El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas, 1^{ra} ed. Managua: SIMAS, 262 p.
35. **Restrepo, J. (2010).** A, B, C de la agricultura orgánica y panes de piedra: Abonos orgánicos fermentados. 1^{ra} ed. Colombia: Feriva S.A. 86 pp. ISBN 978-958-44-126-1.
36. **Rizo, E. (2010).** <https://www.hortalizas.com/author/erandy-rizo/>. Visitado el día 20 de julio del 2020.
37. **Rodríguez, R. R., Tabares, R. J. y Medina S. J. (2001).** Cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 pp.

38. **Ruiz, B., Calvo R. (2015).** Beneficios para la salud digestiva del salvado de trigo evidencias científicas. *Nutrición Hospitalaria*, Vol 32, 41-45 pp.
39. **SAGARPA. (2017).** Café Mexicano. de secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B_sico-Caf_.pdf. Consultado: 12 marzo 2019.
40. **Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018).** México, onceavo productor mundial de café. Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/sader/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe>, consultado el 8 de marzo 2019.
41. **Seminis. (2018).** Los tres principales tipos de tomate en México y sus diferencias. de Seminis Sitio web: <http://www.seminis.mx/los-tres-principales-tipos-de-tomate-en-mexico-y-sus-diferencias/>. Consultado: 12 marzo 2018.
42. **SIAP (2019).** <https://www.gob.mx/siap>, visitado el día 7 de noviembre del 2019.
43. **Soto, G. (2001).** Abonos orgánicos: Producción y uso de compost. Taller fertilidad del suelo y manejo de la nutrición de cultivos, Ciudad de Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. 2001. pp. 47-66.

44. **Wong P., Rodríguez Herrera R., Gutiérrez Sánchez G., Contreras Esquivel J. C., Saucedo Castañeda G. y N. Aguilar C. (2013).** Alternativas actuales para el manejo sustentable de los residuos de la industria del café en México. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 5, 33-40.

45. **Yara. (2019).** Resumen nutricional del tomate. 10 de marzo 2019, de yara knowledge grows Sitio web: <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/tomate/resumen-nutricional/>.