

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



**VOLUMEN Y FRECUENCIA DE RIEGO EN *Solanum lycopersicum* L. EN
INVERNADERO CULTIVADO EN TEZONTLE Y VERMICOMPOSTA**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN EL ÁREA DE
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

PRESENTA

OSCAR GERMÁN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

DIRECTOR

DR. ÁLVARO CAN CHULIM

CODIRECTORA

DRA. ELIA CRUZ CRESPO

ASESOR

DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

Xalisco, Nayarit, junio de 2015


Xalisco, Nayarit a 19 de junio de 2015

DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO
AGROPECUARIAS (CBAP)
P R E S E N T E


Los que suscriben integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Volumen y frecuencia de riego en *Solanum lycopersicum* L. en invernadero cultivado en tezontle y vermicomposta, que presenta el C. Oscar Germán Martínez Rodríguez para obtener el Grado de Maestría en Ciencias con opción terminal en Ciencias Agrícolas, después de haber revisado en contenido y formato damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.


ATENTAMENTE



Dr. Alvaro Can Chulim
Director



Dra. Elia Cruz Crespo
Codirectora



Dr. Juan Diego García Paredes
Asesor



CBAP/142/15


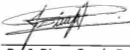
Xalisco, Nayarit., 22 de junio de 2015

Ing. Alfredo González Jáuregui
Director de Administración Escolar
Presente.

Con base al oficio de fecha 19 de junio de 2015, enviado por los CC. **Dr. Álvaro Can Chulim, Dra. Elia Cruz Crespo y Dr. Juan Diego García Paredes**, donde se nos indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, se autoriza al **C. Oscar Germán Martínez Rodríguez**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría.

Sin más por el momento, me despido de usted y reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"



Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del posgrado

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
NAYARIT
POSGRADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICO
AGROPECUARIAS

Expediente.

áref.

VOLUMEN Y FRECUENCIA DE RIEGO EN *Solanum lycopersicum* L. EN INVERNADERO CULTIVADO EN TEZONTLE Y VERMICOMPOSTA

Oscar Germán Martínez Rodríguez, M. en C.
Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, 2015

RESUMEN

El tomate es una fuente de vitaminas, minerales y sustancias bioactivas benéficas para la salud humana, tiene una amplia gama de uso para el consumo en fresco y es una importante materia prima para la industria de transformación. En consecuencia, para incrementar la productividad de esta hortaliza, se ha involucrado el cultivo en sustratos, los cuales, deben poseer las propiedades fisicoquímicas favorables para el óptimo desarrollo de los cultivos. Existen diversos materiales que pueden ser utilizados como sustratos, sin embargo, se ha propuesto la sustitución de los sustratos no renovables por materiales sustentables como la vermicomposta, que en tomate, se ha comprobado que en mezcla con otros materiales influye en el crecimiento, rendimiento y calidad. Por otra parte, en el cultivo en sustratos, el riego es uno de los factores más importantes a considerar, ya que en función de las propiedades fisicoquímicas del medio de crecimiento y de las necesidades hídricas de la planta se tiene un uso más eficiente de agua y fertilizantes. En la mayoría de los trabajos realizados en sustratos no se define o especifica el volumen y frecuencia de riego y la relación que estos guardan con las propiedades fisicoquímicas de los medios de crecimiento. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue establecer el volumen y frecuencia de riego sobre el crecimiento, contenido nutricional, rendimiento y calidad de fruto de tomate bola 'Zyanya'. La investigación se llevó a cabo en tres fases. La primera consistió en la selección de tres vermicompostas de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas óptimas para el cultivo y se procedió a la realización de mezclas con tezontle. Se seleccionó la vermicomposta elaborada por residuos de hueso de mango en proporción 80 tezontle: 20 vermicomposta, por presentar mejores propiedades para el crecimiento y desarrollo de cultivos. La fase dos fue el cultivo en invernadero, los tratamientos consistieron en tres sustratos diferentes: tezontle (T), mezcla de tezontle con vermicomposta reutilizada (T:VR) y la mezcla de tezontle con vermicomposta nueva (80:20) (T:V) que se seleccionó en la fase 1. Los tratamientos se regaron con un volumen y frecuencia de riego en función de la capacidad de retención de agua (CRA) de T, con 80% de concentración de solución nutritiva Steiner (R_1) y en función de la mezcla T:V con 80% de concentración de solución nutritiva (R_2). Se incluyó un testigo (TT) el cual fue tezontle con volumen y frecuencia de riego R_1 . En esta fase, se evaluó el crecimiento y rendimiento de la planta, se encontró que a mayor frecuencia de riego se tiene un uso más eficiente del agua y se obtuvo el rendimiento más alto, mientras que el contenido de vermicomposta influyó en plantas más altas y tallos de mayor grosor. La Fase 3 fue la calidad postcosecha del fruto. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, el rendimiento fue de 139 a 159 t ha⁻¹, la concentración de solución nutritiva al 100% de TT obtuvo el mayor contenido de SST y un alto índice de sabor > 0.93. Se llegó a la conclusión que la concentración al 80% de solución Steiner fue suficiente para abastecer la demanda nutricional de la planta de tomate bola 'Zyanya' en la obtención de altos rendimientos y calidad de frutos, el tratamiento T:VR- R_2 fue el mejor tratamiento, obtuvo mayor rendimiento, mejor uso eficiente de agua, además sus frutos cumplieron los estándares de calidad establecidos en la literatura señalada.

IRRIGATION VOLUME AND FREQUENCY IN *Solanum lycopersicum* L. GROWN IN TEZONTLE AND VERMICOMPOST IN GREENHOUSE

Oscar Germán Martínez Rodríguez, M. en C.
Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, 2015

ABSTRACT

The tomato is a source of vitamins, minerals and bioactive substances beneficial to human health, it has a wide range of use for the fresh market and it is an important material for the processing industry. Consequently, to increase the productivity of this crop, it has involved the cultivation on substrates, which, they should have favorable physicochemical properties for optimal crop development. Many different materials can be used as substrates, however, it has proposed the replacement of non-renewable substrates for sustainable materials like the vermicompost, in tomato, and it was found to mixture with other materials it influences the growth, yield and crop quality. Besides, in the cultivation on substrates, irrigation is one of the most important factors to consider, in function of the physicochemical properties of the growth medium and the water needs of the plant results a more efficient use of water and fertilizers. In most of the researches on substrates not define or specify the irrigation volume and frequency and the relationship that they have with the physicochemical properties of the growth medium. Therefore, the objective of this study was to establish the irrigation volume and frequency on growth, nutritional content, yield and fruit quality of tomato 'Zyanya'. The research was done in three phases. The first was the selection of three vermicomposts according to their optimal physicochemical properties for cultivation and brought to pass tezontle with vermicompost mixtures. The vermicompost selected was done with residues of mango in 80 tezontle: 20 vermicompost proportion because it had the best grown and development properties for the crops. The second phase was the greenhouse cultivation, the treatments were three different substrates: tezontle (T), tezontle with vermicompost reused mixture (T:VR) and tezontle with vermicompost (80:20) (T:V) selected in the first phase. All this treatments were irrigated with an irrigation volume and frequency a function of the water capacity retention (WCR) of tezontle with 80% Steiner nutrient solution concentration (R_1), other three treatments were the same substrates irrigated with volume and frequency of irrigation a function of the WCR of tezontle and vermicompost mixture at 80% Steiner nutrient solution concentration (R_2). Tezontle with irrigation volume and frequency R_1 was included like a reference treatment. At this phase, were evaluated grown and yield of plant. Results showed that major irrigation frequency, it had a better efficient use of water and the highest yield, while the vermicompost content, influenced on highest plants and major stem diameter. Third phase was fruit postharvest quality. In the results there were significant differences between treatments, the 100% nutrient solution concentration of the reference treatment had major SST content and high flavor index >0.93 . The conclusion was that at 80% of Steiner nutrient solution concentration was enough to supply nutritional plant demand of tomato 'Zyanya' to obtain high yield and quality of fruits, T:VR- R_1 was the best treatment with the highest yield, major efficient use of water, also, the fruits complied the quality standards established in the bibliography.

DEDICATORIAS

La presente investigación está dedicada a mi familia. A mis padres: José Luis Martínez Vera y María Guadalupe Rodríguez Macías. Ustedes me han dado lo más valioso que puede existir que es mi vida, a lo largo de ella me han apoyado en mis triunfos, en mis derrotas, en mis tropiezos, en todo momento, y me han ayudado a levantarme con la frente en alto cuando lo he necesitado. A mis hermanos: Luis Alberto Martínez Rodríguez, Linyú Araceli Martínez Rodríguez y Tailí Lilián Martínez Rodríguez por pasar momentos inolvidables, además de contar siempre con su apoyo cuando los necesito. Por último, pero no menos importantes, a mis sobrinos hermosos: Edlin, Edgar, Metzery y Angel por llenarme de alegría en todo momento y más cuando nos encontramos juntos. A todos ustedes familia, los amo y estoy muy agradecido por todo lo vivido.

A mi gran amigo Feliciano Ochoa Santos “Chanito”, con quien por muchos años tuve la fortuna de convivir, de conocerlo y ser su amigo. Me dolió mucho lo ocurrido, aunque haya partido mucho antes de lo esperado, acepto lo sucedido, admiro, honro y respeto su destino, siempre lo extrañaré y lo recordaré con mucho amor y cariño. Por todos esos momentos únicos que compartimos, gracias Chanito.

A mi director de tesis el Dr. Álvaro Can Chulim y a mi codirectora la Dra. Elia Cruz Crespo. Gracias a ustedes fue posible la elaboración del presente trabajo, tuve una dirección impecable, me enseñaron en todos los aspectos de la vida no solo los académicos y estoy seguro que trabajar juntos no fue una casualidad, algo más grande tuvo sus razones para hacerlo y solo me queda agradecerles por todo. Gracias por su apoyo, que ante toda adversidad y errores cometidos siempre estuvieron respaldándome y confiando en mí. Gracias por el gran equipo de trabajo que me brindaron al momento de llevar a cabo cada etapa de mi experimentación. Me encuentro sumamente agradecido por la amistad que se generó a lo largo de estos dos años y aunque no se los he dicho en persona los admiro, aprecio y los quiero mucho. ¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de mis estudios, por darme la oportunidad de llevar a cabo mi estudio de posgrado.

A la Universidad Autónoma de Nayarit por haberme brindado mis estudios de bachillerato, licenciatura y maestría. Por haberme dado todas las herramientas para ir cumpliendo cada uno de mis objetivos en la vida, gracias, mi máxima casa de estudios.

Al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias por abrirme las puertas del conocimiento al aceptarme como alumno en su institución y por el apoyo en el transcurso de mi maestría.

Al Dr. Juan Diego García Paredes por confiar en mí, gracias por todo el tiempo invertido como mi asesor, por el apoyo brindado durante mi travesía en esta etapa de estudios y la orientación a lo largo de ella.

A la M. en C. María Goreti Valdivia Reynoso y a la Dra. Teresa Sumaya por ser parte fundamental en mi experimentación, gracias por apoyarme. Al Dr. Raúl Medina por apoyarme cuando lo necesité, además de su tiempo por la revisión de mi investigación, a todos ustedes gracias.

Al Dr. Joel Pineda Pineda por aceptarme en la realización de mi estancia, por abrirme las puertas del laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo y ser parte de una de las etapas de mi experimentación. Gracias por el tiempo invertido en mi crecimiento académico y estar al pendiente de mis avances.

A la Ing. Cassandra Melissa Díaz Jiménez por acompañarme a lo largo de mi carrera profesional y en mis estudios de maestría, porque a pesar que no pude darte el tiempo que ambos quisiéramos siempre estuviste apoyándome. Por haber sido parte de mi investigación al ayudarme en todo lo que necesité, por haber acudido a todos mis llamados de ayuda cuando

más frustrado me encontraba. Me enseñaste mucho en todo el tiempo que estuviste a mi lado y aunque el destino haya decidido separarnos, se que fue porque a ambos nos espera algo mejor. Estoy sumamente agradecido por toda tu ayuda, todo tu tiempo y estoy completamente seguro que siempre ocuparás un lugar especial en mi corazón. Gracias por todo Cassandra.

*A la familia **García López**. A la señora **María del Carmen** por haberme atendido en mi estancia de investigación y preocuparse por mi bienestar. Por sus comidas tan deliciosas que deleitaba después de un largo día de experimentación. Al señor **Inocencio** mejor conocido como "el coñas" por llevarnos a conocer el maravilloso Estado de México y preocuparse distraernos después de una semana laboral al invitarnos a jugar fútbol. A **Cristian** y a **Eduardo** que en el poco tiempo de conocerlos ya los considero como parte de mi familia conocerlos y convivir con ustedes fue lo mejor que me pudo pasar durante mi estancia. Me encuentro sumamente agradecido por abrirnos las puertas de su hogar, en ese tiempo estuve muy cómodo que siempre me sentí parte de su familia. ¡Gracias!*

*Por último pero no menos importante quiero agradecerles a mis amigos. **Antonio Ochoa Santos**, mi gran amigo y acompañante desde pequeño, gracias por ser parte de mi historia, parte de mí. **Paco Herrera** que con solo dos años de conocernos y convivir ya eres uno de mis mejores amigos admiro tu personalidad, gracias por tus consejos, por tu apoyo incondicional y por acompañarte en todo momento, eres una gran persona. **Paul Hernández**, gracias por compartir tantos buenos momentos de diversión, por hacer un gran equipo de trabajo en la maestría que sin tu apoyo habría sido aún más difícil de lo que fue. **Diana Ibarra**, mi amiga que siempre se preocupa por mí este o no en alguna situación difícil, porque eres una chica increíble que se siempre estarás cuando te necesite. **Patricia Ramírez**, mi gran amiga de la Palma, me encanta tu forma de ser, siempre que conviví contigo paso momentos agradables y únicos. Gracias a todos, ustedes son mis mejores amigos que por alguna razón algo más grande nos juntó y agradezco a la vida por eso, ¡los amo!*

CONTENIDO

Resumen	iv
Abstract.....	v
Índice de cuadros.....	xi
Índice de figuras.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos particulares.....	19
2.3. Hipótesis.....	19
3. REVISIÓN DE LITERATURA	20
3.1 Generalidades del tomate.....	20
3.1.1 Taxonomía y descripción morfológica	21
3.1.2 Requerimientos climáticos	22
3.1.3 Producción de tomate	23
3.2 Crecimiento y desarrollo de la planta de tomate	26
3.3 Calidad del fruto.....	27
3.3.1 Propiedades organolépticas en la calidad del tomate	28
3.3.1.1 Tamaño de frutos.....	28
3.3.1.2 Color.....	29
3.3.1.3 Firmeza.....	30
3.3.1.4 Pérdida de peso y vida de anaquel.....	31
3.3.1.5 Sabor.....	31
3.3.1.6 Sólidos solubles totales.....	32
3.3.1.7 Acidez.....	33
3.4 Metabolismo vegetal	34
3.4.1 Metabolismo celular	34
3.4.1.1 Actividad antioxidante.....	35
3.4.1.2 Vitamina C (Ácido ascórbico).....	36
3.4.1.3 Compuestos fenólicos.....	37
3.5 Sustratos	37
3.5.1 Antecedentes de los sustratos y situación actual	38
3.5.2 Propiedades físicas y químicas.....	40
3.5.2.1 Propiedades físicas	40
3.5.2.2 Propiedades químicas.....	41
3.5.3 Vermicomposta.....	42
3.5.3.1 Antecedentes y situación actual.....	43

3.5.4 Tezontle	45
3.6 Requerimiento de riego	46
3.6.1 Métodos de riego en invernadero	47
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
4.1 Fase 1. Selección del medio de crecimiento del cultivo.....	49
4.2 Fase 2. Cultivo en invernadero	49
4.2.1 Variables evaluadas.....	53
4.2.1.1 Variables de riego.....	53
4.2.1.2 Variables de crecimiento, contenido nutricional y rendimiento.....	53
4.3 Fase 3. Calidad del fruto.....	55
4.3.1 Variables evaluadas del fruto	56
4.4 Diseño experimental y análisis de datos.....	60
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
5.1 Fase 1. Selección del medio de crecimiento del cultivo.....	61
5.2 Fase 2. Cultivo en invernadero	62
5.2.1 Variables de riego.....	62
5.2.2 Variables de crecimiento, contenido nutricional y rendimiento.....	67
5.2.2.1 Altura.....	67
5.2.2.2 Diámetro de tallo	70
5.2.2.3 Contenido de clorofila	73
5.2.2.4 Área foliar.....	76
5.2.2.5 Peso de materia fresca y seca de la planta.....	77
5.2.2.6 Peso de materia fresca, seca y volumen de raíz.....	79
5.2.2.7 Contenido nutricional.....	81
5.2.2.8 Rendimiento	85
5.2.3 Correlación de las variables de crecimiento, contenido nutricional y rendimiento	88
5.3 Fase 3. Calidad del fruto.....	90
5.3.1 Color, diámetro y firmeza de fruto	90
5.3.2 Sólidos solubles totales, pH y acidez	98
5.3.2.1 Índice de sabor y madurez.....	106
5.3.3 Pérdida de peso.....	108
5.3.4 Actividad antioxidante, fenoles totales y vitamina C.....	110
6. CONCLUSIONES.....	114
7. LITERATURA CITADA	116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de los frutos de tomate tipo bola.....	29
Cuadro 2. Niveles óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo.....	41
Cuadro 3. Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz.....	44
Cuadro 4. Calendario de riego del tomate bola variedad “Zyanya” por el método de Blaney y Criddle. Ciclo invierno 2013-2014.....	51
Cuadro 5. Tratamientos utilizados para la producción de tomate bola ‘Zyanya’ a dos volúmenes y frecuencias de riego. Ciclo invierno 2013-2014.....	52
Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas de las vermicompostas. Ciclo invierno 2013-2014.....	61
Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas de tezontle puro y mezclas de tezontle con vermicomposta Ciclo invierno 2013-2014.....	61
Cuadro 8. Consumo del agua de tomate bola ‘Zyanya’. Ciclo invierno 2013-2014...	65
Cuadro 9. Uso eficiente del agua (UEA) de acuerdo a los tratamientos en tomate bola ‘Zyanya’. Ciclo invierno 2013-2014.....	66
Cuadro 10. Comparación de medias para lecturas SPAD de hojas de cultivo de tomate bola ‘Zyanya’ a diferentes días después del trasplante. Ciclo invierno 2013-2014.....	73
Cuadro 11. Contenido de clorofila en $\mu\text{g cm}^{-2}$ en hojas de cultivo de tomate bola ‘Zyanya’ a diferentes días después del trasplante. Ciclo invierno 2013-2014.....	75
Cuadro 12. Comparación de medias para materia fresca y seca de la planta en el cultivo de tomate bola ‘Zyanya’ en dos muestreos. Ciclo invierno 2013-2014.....	78

Cuadro 13. Comparación de medias para materia fresca, seca y volumen de raíz en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	79
Cuadro 14. Comparación del rendimiento de los tratamientos con respecto al tratamiento testigo y su uso eficiente del agua, correspondiente en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	86
Cuadro 15. Coeficientes de correlación de los resultados obtenidos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	88
Cuadro 16. Comparación de medias del color de fruto en los racimos uno y cinco del cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	90
Cuadro 17. Visión computarizada del color del fruto en los tratamientos evaluados al momento del corte y en estado de madurez de consumo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	92
Cuadro 18. Comparación de medias del diámetro de fruto de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	94
Cuadro 19. Comparación de medias de la firmeza de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	96
Cuadro 20. Comparación de medias del pH de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	101
Cuadro 21. Comparación de medias del porcentaje de acidez medido en ácido cítrico de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	104
Cuadro 22. Comparación de medias del índice de sabor de los frutos de los tratamientos en cada racimo en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	106

Cuadro 23. Comparación de medias de la madurez de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.....	107
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países exportadores de tomate	23
Figura 2. Principales países exportadores de tomate	24
Figura 3. Producción anual de tomate en México.....	25
Figura 4. Producción nacional de tomate en el año 2013.....	25
Figura 5. Etapas de desarrollo y senescencia basado en los procesos fisiológicos de los frutos	27
Figura 6. Elementos básicos del metabolismo primario en relación con el metabolismo secundario de la planta	35
Figura 7. Humedad relativa en el ciclo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.	50
Figura 8. Temperatura en el ciclo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.	50
Figura 9. Curva estándar de Trolox utilizada para la determinación de la actividad antioxidante.....	57
Figura 10. Curva estándar de ácido gálico utilizado para la determinación de compuestos fenólicos totales.....	58
Figura 11. Curva estándar de ácido ascórbico utilizada en la determinación de vitamina C.....	60
Figura 12. Volumen de drenado por hectárea de acuerdo al volumen de riego y al sustrato, en tomate bola 'Zyanya'.	63
Figura 13. Consumo de agua en los tratamientos de tomate bola 'Zyanya'.	64
Figura 14. Altura de la planta de tomate bola 'Zyanya' a los 7 DDT (A) y a los 35 DDT (B).	67

Figura 15. Altura de la planta de tomate bola 'Zyanya', a los 49 DDT (A) y a los 70 DDT (B).....	68
Figura 16. Comportamiento de la altura de la planta de tomate bola 'Zyanya' a los 70 DDT.....	70
Figura 17. Diámetro de tallo de la planta de Tomate Bola 'Zyanya', 7 DDT (A), 35 DDT (B).....	71
Figura 18. Diámetro de tallo de la planta de tomate bola 'Zyanya', 70 DDT (A), 112 DDT (B).....	72
Figura 19. Lecturas SPAD durante el desarrollo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'..	74
Figura 20. Área foliar de ocho hojas de la planta de tomate bola 'Zyanya'.....	76
Figura 21. Contenido de nitrógeno en hojas de tomate bola 'Zyanya'.....	81
Figura 22. Contenido de fósforo en hojas de tomate bola 'Zyanya'.....	82
Figura 23. Contenido de potasio en hojas de tomate bola 'Zyanya'.....	83
Figura 24. Comparación de medias del rendimiento del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.....	85
Figura 25. Comparación del color del fruto por visión computarizada (esquina superior) al momento del corte con un tomate por cosechar.....	91
Figura 26. Diámetros de fruto de tomate bola "Zyanya".....	94
Figura 27. Comportamiento de la firmeza de los frutos de tomate bola 'Zyanya'.....	97
Figura 28. Comparación de medias de los SST de los tratamientos con respecto al tratamiento testigo en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.....	99
Figura 29. Comportamiento del pH del fruto en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'...	103
Figura 30. Contenido de ácido cítrico en porcentaje de los tratamientos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.....	104

Figura 31. Comparación de medias de la pérdida de peso de los frutos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.....	109
Figura 32. Pérdida de peso de tomate bola 'Zyanya' en tres lapsos de tiempo de seis días.....	109
Figura 33. Comparación de medias de la actividad antioxidante del fruto de tomate bola 'Zyanya'.....	111
Figura 34. Comparación de medias de fenoles totales del fruto de tomate bola 'Zyanya'.....	111
Figura 35. Comparación de medias de vitamina C del fruto de tomate bola 'Zyanya'....	112

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el tomate (*Solanum lycopersicum*) ocupa el primer lugar entre las hortalizas más importante a nivel mundial (FAO, 2013). Esto se debe a su alta demanda en la industria (Peralta y Spooner, 2007), por su amplia gama de usos para el consumo en fresco y por ser fuente de vitaminas y minerales (Nuez *et al.*, 2001). Además de proveer sustancias bioactivas benéficas a la salud humana, como son los antioxidantes (Christen, 2000). Para el consumidor, el fruto debe poseer diversos atributos de calidad que lo hagan aceptable y deseable (Darwin, 2005). Por lo tanto, el empleo de técnicas, recursos y consideraciones en el manejo del cultivo de tomate cobran relevancia, ya que influyen en la calidad del producto.

El cultivo se realiza en su mayoría en suelo, sin embargo, en los últimos años se ha emprendido el sistema de cultivo sin suelo, siendo el sistema en sustratos el más utilizado en México (Ojodeagua *et al.*, 2008). Esta forma de cultivo se considera como una técnica agronómica amigable con el medio ambiente y con el ser humano.

La selección adecuada del sustrato a utilizar es de suma importancia, debido a que este, es esencial para la producción de plantas en maceta con productos de calidad. El sustrato debe poseer características físicas y químicas que, combinados con un programa integral de manejo y fertilización, deben permitir el óptimo desarrollo de las plantas (Pineda *et al.*, 2008). El uso de sustratos presenta muchas ventajas, tales como, altos rendimientos, productos de calidad, uso eficiente del agua, mejor control de malezas por estar libre de semillas indeseables, mejor control de plagas y enfermedades de raíz, facilidad de manejo y el aprovechamiento de grandes cantidades de materiales de desecho mediante su reutilización (Cruz *et al.*, 2013).

En las últimas dos décadas, el uso de sustratos comerciales inertes tales como lana de roca, zeolita, perlita entre otros, se han implementado en la producción de tomate en invernadero, con rendimientos de hasta 330 t ha⁻¹ (Hao y Papadoupulos, 2002). A pesar de ello, muchos de estos sustratos presentan un alto costo de adquisición y un acelerado agotamiento de sus reservas, por esta razón, la búsqueda de nuevos materiales para su utilización como sustratos de plantas es

una razón importante de investigación, con la finalidad de optimizar recursos y tener una amplia gama de opciones de medios de crecimiento.

En la actualidad, de los sustratos minerales para uso hidropónico destaca el tezontle (Cruz *et al.*, 2013), sin embargo, evaluar y determinar las posibilidades de su reúso en la producción hidropónica no solo favorece su conservación, sino que también significa un mayor impacto en la reducción de los costos de producción (Rodríguez *et al.*, 2013). Otro material que se ha usado como medio de crecimiento es la vermicomposta, la cual, se ha evaluado en la producción de diversos productos hortícolas, ya sea agregado directamente al suelo o en mezcla con otros sustratos, mostrando resultados favorables (Márquez *et al.*, 2008). Esto es debido a que la vermicomposta, incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos (Canellas *et al.*, 2002), posee una elevada capacidad de intercambio catiónico (Pereira y Zezzi, 2004) y aumenta la retención de humedad de los medios de crecimiento, optimizando el consumo de agua y fertilizantes químicos de los cultivos (Atiyeh *et al.*, 2002).

En la mayoría de los trabajos donde se ha evaluado sustratos y vermicomposta como componentes del medio de crecimiento, no se define o no se especifica el volumen y frecuencia del riego y la relación que guardan con las propiedades físicas y químicas que éstos presentan, lo cual es de suma importancia ya que esto influye en el rendimiento y la calidad del producto (Yescas *et al.*, 2011) Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el volumen y frecuencia de riego en el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de tomate bola 'Zyanya' cultivado en los sustratos tezontle y en mezcla de tezontle con vermicomposta.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar volumen y frecuencia de riego sobre el crecimiento y contenido nutrimental de la planta, así como el rendimiento y calidad de fruto de tomate bola.

2.2 Objetivos particulares

Establecer el volumen y la frecuencia de riego para tomate bola 'Zyanya' ajustado mediante la fracción de lixiviación, con base a la capacidad de retención de agua de los sustratos.

Estimar el crecimiento, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio foliar de la planta, y el rendimiento de fruto de tomate bola 'Zyanya'.

Evaluar la calidad de fruto de tomate bola 'Zyanya' cultivado en tezontle y mezcla de tezontle con vermicomposta.

2.3. Hipótesis

El volumen de riego uno con fracción de lixiviación de 15% proporcionará el más alto rendimiento.

La calidad del fruto de tomate será mejor en el sustrato tezontle mezclado con vermicomposta nueva.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades del tomate

El tomate también conocido como jitomate es originario de una región montañosa, estrecha y alargada de los Andes en Perú, Ecuador y Chile (Bauchet y Causse, 2012; Méndez *et al.*, 2014); aunque, Rodríguez (1997) mencionó que algunas plantas emparentadas con el tomate cultivado son parte de la flora nativa de las Islas Galápagos. Se cree que la domesticación y el cultivo del tomate fuera de su centro de origen tuvo lugar inicialmente en las primeras civilizaciones de México (Urrestarazu, 2000; Pickersgill, 2007) donde le llamaban *tomatl* (nombre náhuatl) y variantes de este nombre han seguido al tomate en su distribución a través del mundo (Rodríguez *et al.*, 1997).

En países como España, Portugal e Italia se utilizó desde un principio en la alimentación humana, mientras que en otros países más al norte solo era utilizado con fines ornamentales, debido a la coloración de sus flores y frutos y fue hasta finales del siglo XVIII cuando se utilizó como hortaliza en dicha región (Coronel y Castillo, 2009).

Su difusión en el resto del mundo fue por parte de los españoles y portugueses que llevaron sus nuevos hábitos alimenticios por todas sus colonias, existiendo indicios de la presencia de tomate en Filipinas y China a mediados del siglo XVII y en África a mediados del siglo XVIII. A partir del siglo XIX, las últimas regiones en adoptar al tomate como elemento en su dieta fueron las colonias de influencia inglesa en EE.UU. y Australia (Hernández, 2013).

El cultivo del tomate ocupa un lugar importante entre las hortalizas del mundo (Méndez *et al.*, 2014), debido a las diferentes formas en las que puede ser utilizado, es una importante materia prima para la industria de transformación (Peralta y Spooner, 2007) y tiene elevado valor comercial por unidad de superficie cultivada.

En fresco es un producto muy apetecido por su alto valor nutritivo, que puede ser consumido como ingrediente principal de jugos y bebidas. Entre algunas propiedades benéficas del tomate, es la alta capacidad antioxidante debido a su contenido de vitamina A, C y licopeno que es un potente limpiador de radicales libres. También expulsa toxinas debido a su efecto diurético, elimina el ácido úrico y reduce el colesterol (Zapata *et al.*, 2007).

3.1.1 Taxonomía y descripción morfológica

El tomate es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas de la especie *Solanum lycopersicum* (Rios *et al.*, 2003; Cueto, 2010). La planta tiene un porte arbustivo, puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Presenta dos tipos básicos de crecimiento: el determinado, aquel en el cual una vez que se han producido lateralmente varias inflorescencias se detiene el crecimiento del tallo principal por la aparición de una inflorescencia terminal; y el indeterminado, que posee en el ápice del tallo un meristemo de crecimiento que produce un alargamiento continuado del tallo principal, formándose inflorescencias solamente en posición lateral (Hernández, 2013).

Su sistema radical alcanza una profundidad de hasta dos metros con una raíz pivotante, provista de una gran cantidad de ramificaciones secundarias y adventicias surgida desde la base de los tallos, los cuales, son ligeramente angulosos, semileñosos con un diámetro que oscila entre los 2 y 4 cm (Hernández, 2013) donde se desarrollan las hojas de tipo compuesta con folíolos peciolados, lobulados y de borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares, las hojas se encuentran alternadas sobre el tallo (Zambrano, 2009). La flor del tomate es perfecta, consta de cinco o más sépalos, de mismo número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres. Se agrupan en inflorescencias comúnmente denominadas racimos donde la primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, las cuales, se desarrollan cada dos o tres hojas (Escalona *et al.*, 2009; Zambrano, 2009).

El tomate es un fruto carnoso que procede de un carpelo único o del gineceo sincárpico de una flor sencilla; este fruto se considera en términos botánicos como una baya, puesto que posee una piel fina que rodea una carne jugosa, en cuyo interior se encuentran muchas semillas (Cantwell, 2004).

3.1.2 Requerimientos climáticos

El tomate es una planta que se adapta bien a una gran variedad de climas, con la sola excepción de aquellos en los que se producen heladas puesto que resulta sensible a este fenómeno.

Para realizar un cultivo rentable se precisa un periodo libre de heladas de al menos 110 días (Barraza *et al.*, 2004), los fuertes vientos dañan considerablemente la planta, reduciendo la producción. No obstante, la temperatura, humedad y luminosidad influyen sobre el cultivo por lo cual merecen una consideración especial (Rodríguez *et al.*, 1997).

La temperatura afecta todas las funciones vitales de la planta, como son la transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otros. Las temperaturas óptimas para el tomate de acuerdo a Sato *et al.* (2002) y Escalona *et al.* (2009) según su ciclo de vida son las siguientes:

- Temperaturas nocturnas: 15-18°C
- Temperaturas diurnas: 24-25°C
- Temperatura ideal en la floración: 21°C
- Temperatura ideal para su desarrollo vegetativo: 22-23°C
- Temperatura en que paraliza su desarrollo vegetativo: 12°C
- Temperatura no recomendable: 7°C por debajo de este valor se recomienda ayuda artificial de calefacción.

La humedad relativa óptima para el desarrollo del tomate varía entre 60% y 80%, esta influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración y fecundación de las flores. En suelo o en el medio de crecimiento son preferibles humedades medias no superiores al 50% y suelos no encharcados para evitar el desarrollo de enfermedades criptogámicas (provocadas por hongos) (Escalona *et al.*, 2009).

La luminosidad tiene una gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodo, crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos. La influencia de la duración del día en el tomate es menor que en otros cultivos, se considera solo para la maduración homogénea de los frutos (Rodríguez *et al.*, 1997).

3.1.3 Producción de tomate

El tomate se encuentra en el primer lugar del ranking mundial de la producción de vegetales (Bauchet y Causse, 2012), este cultivo ha tenido una gran evolución tecnológica, tanto en sistemas de producción como en mejoramiento genético.

De 1980 a 2010 la superficie cultivada se incrementó 88% (de 2.4 a 4.5 millones de hectáreas); la producción en 136% (de 52.7 a 124.7 millones de toneladas) y el rendimiento en 28% (de 21.5 a 27.5 t ha⁻¹) (Lira *et al.*, 2013). En el 2012 la superficie cultivada se incrementó a 4.8 millones de hectáreas, la producción se incrementó en un 22% (161 millones de toneladas) y el rendimiento obtenido fue superior al reportado por Lira *et al.* (2013) con 33.6 t ha⁻¹ (FAO, 2014).

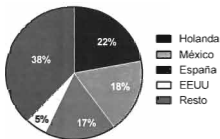


Figura 1. Principales países exportadores de tomate.

En el 2008 China presentó la mayor aportación en la producción del tomate en el mundo, con una participación de 36%. Le sigue Estados Unidos con 14%, Turquía con 12% e India con 11%. México ocupó el doceavo lugar con un 3% de la participación en la producción

(SAGARPA, 2010). No obstante, en ese mismo año, los principales países exportadores comercializaron aproximadamente 57% del total mundial, donde Holanda ocupó el primer lugar con 22%, México obtuvo el segundo lugar con 18% y España el tercero con el 17% (Figura 1).

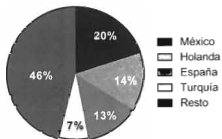


Figura 2. Principales países exportadores de tomate.

En el 2012 México ocupó el décimo lugar dentro de los países que presentan una mayor producción a nivel mundial con un 2.1% del total, donde China vuelve a ocupar el primer sitio con una aportación del 31% seguido de la India con 10.8%, EE.UU 8%, y Turquía con el 7% (FAO, 2014). Sin embargo en las exportaciones de este fruto México es el país que ocupa la primera posición con un 20% del total en el mundo, Holanda el segundo con el 14%, seguido de España con 13% y Turquía con un 7% (Figura 2).

En los últimos 30 años, México redujo su superficie cultivada en un 24%, aun así, la producción se incrementó en un 45% (de 1.48 a 2.14 millones de toneladas) y el rendimiento en un 90% (de 16.8 a 32 t ha⁻¹) (Lira *et al.*, 2013), lo cual, se atribuye a la implementación de cultivos protegidos bajo cubierta o en invernaderos.

Del 2005 al 2013 México mantuvo una producción anual por encima de los 2.00 millones de toneladas a excepción del 2011 que fue de 1.87 millones de toneladas (Figura 3) (SIAP, 2014). Los principales estados productores en el 2013 fueron Sinaloa, Baja California, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco. Nayarit ocupó el lugar quince de la producción nacional (Figura 4).

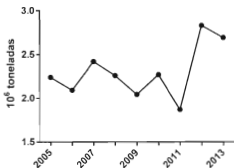


Figura 3. Producción anual de tomate en México.

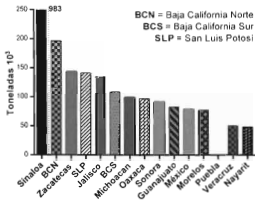


Figura 4. Producción nacional de tomate en el año 2013.

3.2 Crecimiento y desarrollo de la planta de tomate

El crecimiento y desarrollo óptimo de la planta de tomate y en general de cualquier cultivo, está determinado principalmente por el sustrato o el medio de crecimiento (Cabrera, 1999), sustentado en la optimización del uso de agua y nutrientes (Ouma, 2007).

El crecimiento se refiere al incremento irreversible de los atributos físicos del desarrollo de la planta o partes de la planta (Watada *et al.*, 1984), es un proceso complejo que incluye muchos fenómenos como división y elongación celular, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración y transpiración (Ardila *et al.*, 2011).

Generalmente, el crecimiento se determina mediante medidas directas como la altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, masa seca y crecimiento de raíz entre otros e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa del crecimiento del cultivo, etc. (Salisbury y Ross, 1994). Cabe mencionar que el crecimiento está ligado a factores ambientales como la luz, temperatura, humedad y a cualquier cambio de entorno (Barraza *et al.*, 2004). Cualquiera de estos factores ambientales puede provocar en la planta algún tipo de estrés, lo que influye en la fisiología y rendimiento de la planta (Sinsawat *et al.*, 2004) inhibiendo usualmente el crecimiento, la división celular, síntesis proteica y otros compuestos, que afectan la morfología (Smertenko *et al.*, 1997) y ultraestructura celular. En el caso de estrés térmico (alta temperatura), actúa directamente sobre la anatomía y la integridad de las subestructuras celulares (Sam *et al.*, 2006).

Por otra parte, el desarrollo vegetal consiste en las series de procesos que van desde el inicio del crecimiento hasta la muerte de la planta o partes de la planta (Watada *et al.*, 1984) (Figura 5).

En el cultivo del tomate es muy común separar su desarrollo por etapas fenológicas, según Restrepo *et al.* (2008) son las siguientes:

Plántula (1-30 días), comienza con la germinación de la semilla y se caracteriza por el rápido aumento de la materia seca, en esta etapa la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos

tejidos. *Desarrollo vegetativo* (31-50 días), a partir de aquí existe una mayor demanda de nutrientes para satisfacer las necesidades del crecimiento de la planta. *Floración* (51-90 días), se caracteriza por la aparición de inflorescencias, también se le conoce como el inicio de la etapa reproductiva. *Fructificación* (91-130 días), se distingue por el crecimiento detenido de la planta, mientras los frutos, producto del desarrollo del ovario, ocasionado por la polinización y fertilización de la flor, extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración (Mathieu *et al.*, 2010).

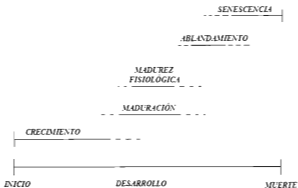


Figura 5. Etapas de desarrollo y senescencia basado en los procesos fisiológicos de los frutos.
Fuente: Watada *et al.*, 1984.

3.3 Calidad del fruto

La calidad está relacionada con las percepciones de cada individuo para comparar una cosa con cualquier otra de su misma especie, por lo tanto es el valor agregado de un producto con respecto a los demás del mismo tipo. La calidad puede ser definida como la suma total de todos atributos (propiedades organolépticas y nutraceuticas) los cuales combinados hacen a las frutas y vegetales aceptables, deseables y nutricionales en la alimentación humana (Darwin, 2005).

La calidad organoléptica es aquella que se evalúa por medio de los parámetros fisicoquímicos que pueden ser percibidos por los sentidos del ser humano (Aoun *et al.*, 2013). Comúnmente estos parámetros son los componentes de calidad utilizados para la mayoría de los frutos incluyendo el tomate. Santiago *et al.* (1998) y Urrieta *et al.* (2012) mencionan que la calidad en frutos se evalúa por la apariencia, color, tamaño, firmeza, contenido nutricional, seguridad, sabor y aroma; sin embargo, Bao *et al.* (2007) describe que en este concepto también se incluye la vida de anaquel, procesos de calidad y resistencia a patógenos pre- y postcosecha del fruto.

La calidad del tomate depende de su uso y está relacionada con las propiedades organolépticas (color, sabor, aroma, textura, tamaño) antes mencionadas (Urrieta *et al.*, 2012), se encuentra enfocada a la producción de frutos para el consumo en fresco y para la industria de procesos (Aoun *et al.*, 2013).

3.3.1 Propiedades organolépticas en la calidad del tomate

3.3.1.1 Tamaño de frutos

Existen distintas formas de determinar el aumento de masa y tamaño de los frutos, Casierra y Cardozo (2009) mencionan que las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas puesto que son de fácil determinación, no destructivas y permiten el seguimiento a lo largo de un periodo de crecimiento. Estas curvas sirven para identificar no solamente la evolución del crecimiento sino también para estimar el tamaño y peso que tendrá el fruto en la cosecha (Ardila *et al.*, 2011).

La comercialización del tomate está determinada primeramente por la aceptación del tamaño de los frutos y el color (Padrón *et al.*, 2012). La norma mexicana NMX-FF-031-1997 (DOF, 1997) clasifica a los frutos por su tamaño como chico, mediano, grande y extra grande (Cuadro 1), el tamaño del fruto de una producción lo determina sin duda alguna el mercado al cual va dirigido, mientras tanto en cuestiones de aceptación del producto esta misma norma menciona que en cualquier lote de producto y para todos los grados de calidad con respecto al tamaño de frutos,

se acepta un 10% de tomates que sean más pequeños que el diámetro mínimo especificado, o más grandes que el diámetro máximo especificado.

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de los frutos de tomate tipo bola.

Tamaño	Diámetro del fruto			
	Mínimo		Máximo	
	(mm)	(in)	(mm)	(in)
Chico	54	2 1/8	58	2 9/32
Mediano	57	2 1/4	64	2 17/32
Grande	63	2 1/2	71	2 25/32
Extra grande	70	2 3/4	En delante	

Fuente: DOF, 1997.

3.3.1.2 Color

El tomate es un fruto climatérico cuya maduración va acompañada de un cambio de color entre otras propiedades, la coloración de verde a rojo es debido a la degradación de la clorofila acompañado con la síntesis de diferentes tipos de antocianinas y la acumulación de carotenoides como el β -caroteno, xantofilas y licopeno, antioxidante de mayor responsabilidad de la coloración típica de un tomate maduro (Nunoo *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2014).

El color es de suma importancia en la comercialización del tomate en fresco y en la industria de productos derivados de tomate (Znidarcic y Pozrl, 2006). En la salsa cátsup y otros tipos de salsas, es indeseable un color demasiado rojo o demasiado marrón para estos tipos de productos (Padrón *et al.*, 2012). Por ejemplo, se han realizado pruebas sensoriales de preferencia realizadas en cátsup y han revelado que principalmente la luminosidad y el ángulo de tono (HUE) son los responsables de la preferencia por parte de los consumidores; cátsup con ángulos de tono >35 fueron menos preferidas mientras que con valores de luminosidad de 32 a 34 obtuvieron mayor aceptación (Intelmann *et al.*, 2005).

Para el consumo fresco, muchos de los tomates cultivados son cosechados cuando aún se encuentran firmes y verdes, estos son almacenados a bajas temperaturas y expuestos a etileno exógeno para inducir el color y la madurez antes de llegar a los estantes de los supermercados (Zhang *et al.*, 2013). Cuando el producto se encuentra listo para la venta, los consumidores utilizan el color como un índice de madurez, este provee información básica acerca de la condición fisiológica del fruto (Sabir *et al.*, 2012), además, este atributo antes que la firmeza, es el primer filtro en la evaluación del consumidor, por estos motivos, el color se ha convertido en años recientes como prioridad en los programas de mejora de la producción de alimentos (Aoun *et al.*, 2013).

Por otra parte, se han diseñado instrumentos portátiles que han permitido ampliar las mediciones que ofrecen con exactitud, como los colorímetros Minolta y espectrofotómetro ColorFlex Tomato Color Meter. Estos colorímetros miden distintos índices de color, aparte de ofrecer lecturas en coordenadas de espacios de color Hunter (L, a, b) y CIE (L*, a*, b*).

3.3.1.3 Firmeza

La maduración postcosecha de algunas frutas se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa, ocasionado por diferentes factores, entre ellos, la acción de las enzimas hidrolasas de la pared celular, las cuales actúan sobre la pectina (Marín *et al.*, 2002; Brummell, 2006). La enzima responsable de la solubilización de la pectina es la poligalacturonasa (PG) (Seymour *et al.*, 2012), la cual presenta un aumento en su actividad a medida que avanza la maduración. Las celulasas también están relacionadas con el ablandamiento del fruto, la actividad de la celulasa en el fruto es baja, pero se incrementa rápidamente durante la maduración al igual que la poligalacturonasa (Parra y Fischer, 2013).

Un factor de suma importancia en la pérdida de la firmeza o en el ablandamiento de los frutos es la temperatura. Znidarcic *et al.* (2010) reporta mayor pérdida de firmeza en las temperaturas más altas en su evaluación, a mayor temperatura existe una mayor actividad respiratoria y transpiración del fruto, lo cual, promueve la maduración y por ende un ablandamiento acelerado.

3.3.1.4 Pérdida de peso y vida de anaquel

La pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro de los frutos, no solo se originan pérdidas cuantitativas directas, también, existen pérdidas de calidad relacionadas con el aspecto, pérdida de brillo, de turgencia, cambios en la textura, vida de anaquel y el valor nutricional (Parra y Fischer, 2013). Kays y Paull (2004) mencionan que las principales razones de pérdida de peso de los frutos durante la maduración en postcosecha son la transpiración y en menor medida el consumo de sustratos (respiración).

La vida de anaquel es el aspecto más importante en la biotecnología de reducción de pérdidas en frutas y vegetales, esta es controlada por el estado de madurez en la cosecha (Gutiérrez *et al.*, 2012). La vida de anaquel en tomate es mayor cuando es cosechado en la etapa de madurez fisiológica (Alam *et al.*, 2006; Moneruzzaman *et al.*, 2009).

Al igual que el punto de corte del fruto, la temperatura es otro factor que acelera la pérdida de peso en tejidos y órganos de la planta de tomate. Reacciones metabólicas como la respiración y producción de etileno, son fundamentales para la maduración del fruto pero perjudiciales para su conservación. La tasa de respiración aumenta de 2 a 3 veces por cada 10°C de incremento, sin embargo, esta puede disminuir a bajas temperaturas (Urbano *et al.*, 2005).

3.3.1.5 Sabor

El sabor del tomate es el resultado de una compleja interacción entre componentes aromáticos volátiles y no volátiles. Azúcares, ácidos, fenoles y minerales son los principales constituyentes del sabor del tomate, siendo por mucho los azúcares los de mayor contribución (Dávila *et al.*, 2011; Aoun *et al.*, 2013). Este está en función de los azúcares y ácidos, para un mejor sabor se requiere de un contenido alto de azúcares y ácidos, un contenido alto de ácidos y bajos en azúcares produce un sabor ácido, uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave y ambos bajos dan un fruto insípido (Grierson y Kader, 1986). Por lo tanto, el contenido de azúcares, ácidos y la relación azúcares/ácidos son definidos como buenos indicadores del sabor del tomate (Causse *et al.*, 2002; Bao *et al.*, 2007).

Los aromas provenientes de los compuestos volátiles definen un sabor único. La composición y concentración de estos, puede intensificar la captación del sabor del tomate o contribuir a la formación de sabores desagradables (Dávila *et al.*, 2011), por ello, las precepciones individuales de los consumidores culminan con las sensaciones y experiencias agradables o desagradables de su sabor. La acumulación de azúcares puede determinar la intensidad del aroma, ambos en conjunto (sabor y aroma) son muy valorados por los consumidores (Beckles, 2012).

3.3.1.6 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales es particularmente importante en la industria procesadora de tomate y ha sido probablemente donde se requiere de mayor atención que en cualquier otra cualidad del fruto destinado a este fin (Causse *et al.*, 2002).

Los SST son un índice refractométrico que indica la proporción disuelta en porcentaje de sólidos disueltos en una solución, es impreciso pero es de bajo costo, rápido y funciona de manera aceptable para niveles de sólidos en tomate (Balibrea *et al.*, 2006; Kader, 2008).

El contenido de SST varía de 4.5 a 8.5 % de su peso fresco. Sin embargo, en cultivares comerciales de tomate se encuentran en un rango de 4.6 a 6.3% de peso fresco, aunque estos porcentaje pueden ser mayor en algunas especies nativas (de 8 a 15%) (Chen y Foolad, 1999).

Los SST comprenden todos los componentes del fruto (ácidos orgánicos, lípidos, azúcares, fenoles, aminoácidos, ácido ascórbico minerales y pigmentos) a excepción del agua y compuestos volátiles (Aoun *et al.*, 2013). No incluyen las proteínas, celulosa, hemicelulosa, pectinas y polisacáridos. En tomate los sólidos solubles y los sólidos no solubles representan aproximadamente un 75% y un 25% respectivamente del total de los sólidos (Majid, 2007). Los azúcares reductores (glucosa y fructosa) tienen la mayor proporción de los sólidos solubles, incluso la sucrosa está presente pero en pequeñas cantidades (Aoun *et al.*, 2013).

3.3.1.7 Acidez

Los ácidos orgánicos desempeñan un papel crítico en el mantenimiento de la calidad, especialmente en el aroma y sabor característico de los frutos, en el valor nutricional de los alimentos y en el metabolismo postcosecha (Parra y Fischer, 2013); algunos son componentes esenciales en el ciclo de los ácidos tricarbónicos de la respiración y son una fuente de energía disponible que puede ser utilizada cuando otras fuentes se agotan (Solarte *et al.*, 2010). Hay dos tipos de ácidos orgánicos, los llamados alifáticos y los aromáticos. Los principales ácidos que contienen los frutos de tomate son el ácido cítrico, ácido málico (ambos alifáticos) y ácido ascórbico. Generalmente el contenido de ácidos en frutas climatéricas como el caso del tomate, estos aumentan hasta el climaterio y durante la maduración disminuyen (Parra y Fischer, 2013; Florkowski *et al.*, 2009).

Una forma de cuantificar estos, es por medio de la acidez titulable que es una medida del contenido de ácidos, mide la cantidad de protones que pueden ser neutralizados. En la maduración de los frutos de un 40 a 90% del total de ácidos están en forma de ácido cítrico, una forma muy común de medida de la acidez, que, en tomates en estado de madurez se encuentra en un rango de 0.25 a 1.1% en ácido cítrico en base a su peso fresco (Darwin, 2005). Un indicador de acidez de suma importancia es el pH y más aún cuando la fruta tiene fines industriales, este, está relacionado con los costos de transformación del producto (Rodríguez *et al.*, 2006). A medida que el pH aumenta, los ácidos orgánicos disminuyen, esto ocurre conforme avanza el periodo postcosecha del fruto, actividad típica de la maduración: disminución de la acidez y aumento del contenido de azúcares (Parra y Fischer, 2013).

3.4 Metabolismo vegetal

3.4.1 Metabolismo celular

La mayor parte del carbono, nitrógeno y de la energía termina en moléculas comunes en todas las células, las cuales son necesarias para su funcionamiento y el de los organismos (Ávalos y Pérez, 2009). Esta serie de reacciones químicas que tienen lugar en los organismos constituyen el metabolismo.

Las células vegetales realizan procesos metabólicos comunes que conducen a la formación de compuestos como azúcares simples, aminoácidos nucleótidos, ácidos grasos, así como de polímeros derivados de estos compuestos, que son esenciales para la vida celular y en general para el desarrollo de la planta (Hartmann, 2007). El conjunto de estos procesos forman el metabolismo primario, por lo tanto a sus compuestos derivados se les denominan metabolitos primarios.

Sin embargo a diferencia de otros organismos, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y de la energía, a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener función directa en algunos procesos como fotosíntesis o respiración celular, a dichos compuestos se le denomina metabolitos secundarios. Se les denomina así porque no todas las plantas los contienen, no son esenciales para el funcionamiento de las plantas y en la mayoría de los casos no se les ha encontrado un rol o función definitiva (Vilela *et al.*, 2011).

Los metabolitos secundarios derivan de ciertos compuestos primarios, ambas clases de metabolitos están interconectadas lo cual hace difícil establecer una clara división entre ellas (Azcon y Talón, 2008) (Figura 6).

Los productos del metabolismo secundario vegetal tienen funciones específicas de suma importancia en la adaptación y respuesta de la planta frente a los factores ambientales (bióticos y abióticos) (Chang *et al.*, 2012). Estos contribuyen en el sabor, aroma y color de los frutos y flores, atrayendo polinizadores y dispersores de semillas (Ávalos y Pérez, 2009).

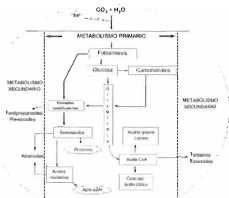


Figura 6. Elementos básicos del metabolismo primario en relación con el metabolismo secundario de la planta. Fuente: Avalos y Pérez, 2009.

Algunos otros sirven como componentes de defensa o toxinas contra patógenos y herbívoros, también, protegen a las plantas de los estrés abióticos como los rayos ultravioleta (Vranova *et al.*, 2012) y otros compuestos son importantes en la salud humana, como los antioxidantes y vitaminas, los cuales, proporcionan un valor nutricional en la salud humana (Duan *et al.*, 2012).

3.4.1.1 Actividad antioxidante

El oxígeno es un elemento esencial para la vida, este desempeña una función importante como aceptor terminal de electrones durante la respiración celular, pero también es el punto de partida para un tipo de daño celular conocido como estrés oxidativo (Zapata *et al.*, 2007). El desbalance en la producción de especies reactivas de oxígeno da lugar a este tipo de estrés que lleva a una variedad de cambios fisiológicos y bioquímicos (Waris y Ahsan, 2006), pueden alterar proteínas, lípidos, la membrana celular, rotura del ADN, degradación proteica (Palomo *et al.*, 2009; Florkowski *et al.*, 2009); por lo tanto dan como resultado el deterioro y muerte celular (Jeremy *et al.*, 2004; Zapata *et al.*, 2007).

La mayor parte de las enfermedades que provocan la muerte de las personas o deterioran su calidad de vida son provocadas por radicales libres. Cada célula padece de unos 10 mil impactos de radicales libres al día (Youngson, 2004). Existen sustancias que permiten disminuir incluso detener el estrés oxidativo, a estas se les llaman antioxidantes y su principal función es el atrapar los radicales libres por medio de su estructura para evitar que estos se oxiden y provoquen dicho estrés (Florkowski *et al.*, 2009). Por lo tanto, la actividad antioxidante es la capacidad que tienen dichas sustancias de interaccionar con los radicales libres para disminuir o evitar su oxidación (Mayor, 2010).

Dietas ricas en frutas y vegetales han demostrado reducir la incidencia de problemas cardiovasculares y algunos desordenes crónicos y degenerativos asociados con el daño oxidativo (Dragster, 2003; Raffo *et al.*, 2006). Incluso, estudios epidemiológicos le han asociado al consumo de tomate un menor riesgo de adquirir cáncer de próstata, pulmón y estómago (Zapata *et al.*, 2007; Raffo *et al.*, 2006).

Los antioxidantes están presentes en todos los órganos de las plantas e incluyen ácido ascórbico, carotenoides, vitamina E y compuestos fenólicos entre otros (Florkowski *et al.*, 2009).

3.4.1.2 Vitamina C

El ácido ascórbico y su primer producto derivado de su oxidación, el ácido deshidroascórbico, que puede ser reducido en el cuerpo humano, son considerados como vitamina C (Florkowski *et al.*, 2009). A pesar de ello, los humanos y otras especies no son capaces de sintetizar este compuesto, por no disponer de la enzima denominada gulonolactonaoxidasas implicada en la síntesis de este (Valdés, 2006). El ácido ascórbico es hidrosoluble y muestra propiedades antioxidantes y ácidas (Florkowski *et al.*, 2009), este puede ser sintetizado por las plantas usando L-Galactosa como precursor. Otra vía de síntesis ha sido propuesta, donde la planta usa ácido galacturónico, el cual, puede ser reciclado de la degradación de las pectinas de la pared celular (Agius *et al.*, 2003).

La vitamina C tiene gran importancia en la dieta de los consumidores, el incremento de su consumo ha sido asociado con una reducción de algunas enfermedades y desordenes, la dieta

recomendada para hombres es de 75 mg al día mientras que para las mujeres se recomienda un consumo de 90 mg diarios (Levine *et al.*, 2001; Valdés, 2006). La principal fuente de vitamina C son las frutas (las frutas tropicales contienen mayores proporciones de ácido ascórbico), vegetales (ambos abarcan un 90% del total) y jugos según la US food supply (Hiza and Bente, 2007).

La retención de vitamina C en frutos es afectada por el almacenamiento, proceso y por la maduración de este. Otro inconveniente es que el ácido ascórbico es altamente susceptible a la oxidación, pasa a ser ácido deshidroascórbico aún vitamina C, es importante considerar que si este compuesto continúa con la oxidación, se perderá (Florkowski *et al.*, 2009).

3.4.1.3 Compuestos fenólicos

Este grupo engloba una gran diversidad de compuestos derivados de aminas aromáticas, ácidos, fenilalanina y tirosina. Sus principales funciones son que actúan como elementos de disuasión de depredadores, protegen a la planta de los rayos ultravioleta y contribuyen en la alimentación de frutos y flores. Pueden influir en la astringencia y amargor de ciertos productos. Generalmente están presentes en bajas concentraciones pero en ciertos casos como en las moras pueden alcanzar niveles de 0.1% (Florkowski *et al.*, 2009).

Estos compuestos tienen anillos aromáticos con grados variables de hidroxilación y son fácilmente oxidables a quinonas (Mattila *et al.*, 2006). Han sido identificadas grandes cantidades de compuestos fenólicos en plantas, se han subdividido en diferentes clases como ácidos fenólicos, flavonoides y otros componentes (ligninas, stilbenes, taninos, cumarinas, etc).

3.5 Sustratos

Actualmente en la producción de tomate en invernadero se están empleando sustratos de diferentes tipos. El término sustrato en horticultura se aplica a todo material sólido distinto del suelo, bien puede ser natural o de síntesis, mineral u orgánico, que, colocado en contenedores

de forma pura o mezcla, debe proporcionar las cantidades necesarias de agua y oxígeno permitiendo también el anclaje del sistema radicular desempeñando, por lo tanto un papel de soporte para la planta (Urrestarazu, 2000).

3.5.1 Antecedentes de los sustratos y situación actual

La práctica de cultivar plantas en maceta tiene probablemente el mismo origen que la jardinería, cuando surge la concepción estética del jardín puesto que se tiene la necesidad de transportar plantas ornamentales. Los egipcios hace aproximadamente 4000 años cultivaban árboles en contenedores de madera o piedra (Cruz *et al.*, 2013) lo cual está plasmado en sus pinturas murales, incluso se puede afirmar que sus elementales sistemas de cultivo han perdurado casi hasta nuestros días (Bures, 1997).

En estos tipos de sistemas, el desarrollo de la nutrición vegetal ha sido de gran importancia en la evolución de los cultivos sin suelo. El primer experimento cuantitativo en nutrición vegetal se le atribuye al físico J. B. van Helmont titulado "Experiencia del sauce" (Alcántar y Trejo, 2007), posteriormente en 1666 se publicó el primer experimento de cultivo en agua por el científico Robert Boyle. A mediados del siglo XVII tan solo hubo pequeñas experiencias realizadas por Woodward, Morceau y de Saussure. En cuanto a cultivos en solución nutritiva de 1850 a 1860 se emplearon diversas técnicas para entender la nutrición de las plantas por Horsmar, Knop y Sachs (Baixauli y Aguilar, 2002) y ya en el siglo XX Steiner, Hewitt, Hoagland, Aron y Gericke (Alcántar y Trejo, 2007) siendo este último en 1930 quien impulsó los cultivos hidropónicos tal y como los conocemos en la actualidad de forma comercial para tomates, desarrollando los cultivos en balsas de arena (Baixauli y Aguilar, 2002).

En las últimas décadas se han realizado innumerables investigaciones que han evolucionado y atribuido al desarrollo del cultivo sin suelo. Existen una infinidad de materiales que pueden ser utilizados como sustratos, a estos pueden incorporarse abonos, correctores, o bien pueden sufrir procesos de transformación, de modo que se obtengan sustratos con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el cultivo en cada situación correcta (Bures, 1997).

Dentro de las ventajas que existen en la utilización de sustratos se encuentran que se requiere un menor control de plagas y enfermedades de la raíz (Ojodeagua *et al.*, 2008; Cruz *et al.*, 2013), se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo el desarrollo del cultivo, la nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivos en suelos, se pueden emplear distintos sustratos a los comerciales conocidos y procedentes de residuos como la paja, fibra de coco, cascarilla de arroz entre otros (Baixauli y Aguilar, 2002).

Con la utilización de sustratos se pueden realizar mezclas de distintos materiales para la optimización de las propiedades adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Garbanzo y Vargas, 2014).

Las desventajas que presenta la utilización de sustratos comparadas con el suelo es que no amortigua interrupciones temporales de agua y nutrimentos por lo tanto una interrupción de estas afecta seriamente su desarrollo. El cultivo en sustratos requiere de 20 a 30% más riego para evitar acumulaciones de sales en el medio de cultivo en caso de contar con un sistema abierto (pérdida de solución nutritiva) eso significa pérdida de agua y nutrimentos, sin embargo con un sistema cerrado (recuperación de solución nutritiva) se obtiene un uso eficiente de agua y nutrientes (Ojodeagua *et al.*, 2008).

En México, las actividades industriales, alimentarias y agropecuarias producen materiales de desecho tales como el bagazo de caña, residuos del procesamiento de alimentos (cascaras de plátano, mango, naranja, etc.), frutas y verduras, los cuales, deben pasar por un proceso de transformación conocido como compostaje o vermicompostaje (si se agrega lombriz) para su utilización como medio de crecimiento.

De la actividad minera se pueden utilizar grava, jal, arena y el tezontle. Este último es muy utilizado en el centro del país puesto que sus propiedades físicas son adecuadas para su uso como sustrato (Rodríguez *et al.*, 2013).

3.5.2 Propiedades físicas y químicas

3.5.2.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas son de mayor importancia a considerar para un sustrato en comparación a las propiedades químicas. Esto se debe a que si las propiedades físicas son inadecuadas difícilmente podrán ser manipuladas una vez que se ha establecido el cultivo (Abad *et al.*, 2004; Pineda *et al.*, 2012).

Un aspecto esencial en el medio de crecimiento es el equilibrio entre el agua retenida y la aireación, puesto que deben existir suficientes poros pequeños para retener el agua que va a absorber la planta y de igual forma suficientes poros grandes para permitir el intercambio de aire con el medio externo y mantener las concentraciones de oxígeno por encima de los niveles críticos (Pire y Pereira, 2003). Las propiedades físicas que usualmente se determinan en los sustratos son el espacio poroso total, la capacidad de retención de agua y aire, la densidad aparente y densidad de partículas (Pire y Pereira, 2003; Cruz *et al.*, 2013). Estas deben estar en proporciones adecuadas para obtener un buen crecimiento y desarrollo del cultivo (Cuadro 2).

El espacio poroso o porosidad total es la porción no sólida del volumen del sustrato, por lo tanto es el espacio que no está ocupado por el material sólido que se agrega a la maceta o contenedor y que puede estar ocupado por agua y aire, este debe ser mayor a 85% (Ansorena, 1994; Pire y Pereira, 2003).

La capacidad de retención de agua de un medio es el volumen de agua que retiene después del riego y drenaje. La cantidad de agua retenida por un medio particular es dependiente en la distribución del tamaño de partícula y la altura del recipiente. Cuando un determinado medio se ha saturado con agua se ha dejado drenar libremente, se dice que el medio está a capacidad de recipiente o contenedor. El volumen del medio ocupado por el aire a este nivel de humedad es la denominada porosidad de aireación o espacio drenable de poros (Pire y Pereira, 2003; Garbanzo y Vargas, 2014).

Cuadro 2. Niveles óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo.

Propiedad	Nivel óptimo
Tamaño de partícula (mm)	0.25-2.50
Densidad aparente (g/cm ³)	<0.4
Densidad real (g/cm ³)	1.45-2.65
Espacio poroso total (% en volumen)	>85
Retención de agua (% en volumen) a:	
10 cm	55-70
50 cm	31-40
100 cm	25-31
Capacidad de aireación (% en volumen)	10-30
Agua fácilmente disponible (% en volumen)	20-30
Agua de reserva (% volumen)	4-10
Agua total disponible (% en volumen)	24-40
Valor <R> (cm)	10-30
Contracción (% en volumen)	<30

Fuente: Ansorena, 1994.

La densidad aparente se define como la masa seca contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo, depende del grado de compactación y del tamaño de partícula lo contrario de la densidad real o de partícula, esta no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula y se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan sin considerar los poros y huecos (Cruz *et al.*, 2013).

3.5.2.2 Propiedades químicas

En general los medios de cultivos no son completamente inertes, es decir que interactúan con la solución nutritiva, estos actúan como reserva de nutrientes a través de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) la cual depende de la acidez o pH (Ansorena, 1994). Cruz *et al.* (2013) menciona que los sustratos orgánicos son quienes contribuyen en mayor grado sobre las propiedades químicas del medio de crecimiento, dentro de las cuales, se encuentran la CIC, disponibilidad de nutrientes, salinidad y la relación C/N.

La CIC mide la capacidad de retención de nutrientes, esta aparte del pH también depende del contenido y composición de la materia orgánica y de arcilla de la fase sólida (Abad *et al.*, 2004). Como consecuencia de esta propiedad las partículas de arcilla y humus adquieren carga eléctrica negativa que puede ser permanente en las arcillas, pero en algunos compuestos, sobre todo en los grupos ácidos del humus, pierden iones H^+ a medida que incrementa el pH (Ansorena, 1994) razón por la cual, el contenido nutrimental de los sustratos suele ser muy variable.

Comúnmente se utilizan sustratos considerados inertes, sin embargo, los materiales compostados en su mayoría presentan un porcentaje elevado de nutrientes disponibles en comparación con otros sustratos de origen mineral (Cruz *et al.*, 2013), pero su estructura tan fina puede ocasionar problemas de hipoxia (Hashemimajd *et al.*, 2004). A fin de proporcionar las propiedades fisicoquímicas adecuadas, la mezcla de sustratos orgánicos con inertes ha sido una opción viable y permite reducir el uso de fertilizantes químicos (Márquez *et al.*, 2008).

A pesar de ello, en los materiales compostados se debe tener cuidado en la relación carbono nitrógeno (C/N) del sustrato utilizado, debido a que los tejidos de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica tienen una relación C/N del orden de 30. Por lo tanto, si se utilizan materiales con esta relación por encima de los 30, es decir mayor proporción de carbono, necesitarán para su crecimiento aportes extra de nitrógeno el cual lo tomarán del medio de cultivo compitiendo con las plantas (Ansorena, 1994; Muñoz, 2004).

3.5.3 Vermicomposta

La vermicomposta es el resultado de un proceso que consiste en la biooxidación acelerada y estabilización de materiales orgánicos, a través de la acción desintegradora conjunta de lombrices y microorganismos que lo convierten en un material humificado, mineralizado y no tóxico (Saha *et al.*, 2012; Cruz, 2010).

3.5.3.1 Antecedentes y situación actual

La lombriz es reconocida desde tiempo inmemorial como el animal ecológico por definición, Aristóteles le llamó "El intestino de la tierra" (Lavelle *et al.*, 1999) puesto que transforma todos los residuos que se forman de manera natural en los ecosistemas así como los de la sociedad humana, convirtiéndolos en un humus de óptima calidad devolviendo al suelo su fertilidad y mejorando su estructura (Ferruzi, 1994; Lavelle *et al.*, 2001; Murguía *et al.*, 2010).

Las lombrices aparecieron en la Tierra hace 600 millones de años, han acompañado la construcción y evolución de la mayoría de los suelos en el mundo y han sido un factor importante en la conservación de la fertilidad de forma natural de estos (Lavelle *et al.*, 1999).

Desde el antiguo Egipto ya se consideraba a la lombriz como un animal enormemente valioso; en un edicto promulgado durante el reinado de los faraones hace más de 2000 años se protegía a la lombriz de quien pretendiera dañarla o exportarla fuera de esa región, eso llegaba a tal extremo que se tenían castigos muy rigurosos como la pena de muerte para los transgresores, ellos sabían que la fertilidad del valle del Nilo, se debía en su mayor parte al inalcanzable trabajo de estos maravillosos animales (Ferruzi, 1994).

Los primeros estudios profundos sobre el tema y las primeras nociones sobre el hábitat y el sistema de reproducción de las lombrices, datan de 1837, investigaciones dirigidas por el biólogo Darwin (Ferruzi, 1994) quien años más tarde las elogiaría como los brillantes actores en la formación de la tierra vegetal (Lavelle *et al.*, 1999).

Existen aproximadamente 3627 especies de lombrices en todo el mundo, en regiones tropicales se han encontrado 500 especies las cuales tienen la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de suelo de los agroecosistemas (Lavelle *et al.*, 1999).

En el proceso de vermicompostaje las lombrices más utilizadas por sus características de adaptación y reproducción son *Eisenia fétida* o *foetida* (lombriz Roja Californiana), *Eisenia Andrei* Bouché y *Perionyx excavatus* (Dominguez y Pérez, 2010). Murguía *et al.* (2010)

menciona que la lombriz Roja Californiana o red híbrid (denominación comercial) es la más común en vermicompostas, esta es la que revela mejores condiciones para la cría en cautiverio.

En el siguiente cuadro se muestran algunas especificaciones del humus de lombriz para su comercialización (DOF, 2008).

Cuadro 3: Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz..

Propiedad	Nivel óptimo
N2 total	1 - 4 % base seca
Materia orgánica	20 - 50 % base seca
Relación C/N	≤ 20
Humedad	20 - 40 %
pH	5.5 - 8.5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS·m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg ⁻¹
Peso volumétrico	0.40-0.90 g mL ⁻¹

Este proceso es excelente para elaborar abonos agrícolas, el material obtenido se considera enriquecido tanto química como biológicamente por la actividad de las lombrices y por la dinámica microbiana que se establece durante el proceso (Hernández, 2012). La utilización de vermicomposta trae consigo grandes beneficios; reduce el uso de fertilizantes químicos (Ochoa *et al.*, 2000; Hidalgo *et al.*, 2002), incrementa la retención de humedad, incrementa las poblaciones de microorganismos presentes en el suelo o sustrato (Ferrera *et al.*, 2001), estabiliza el pH (Soto *et al.*, 2002), funciona como plaguicida, mejora las condiciones físicas del suelo o sustrato (Castellanos *et al.*, 2000), se reutilizan los residuos orgánicos, en la producción de hortalizas la calidad de los productos es igual y en algunos casos mayor que las siembras convencionales (Hernández, 2010).

El uso de vermicomposta, como sustrato para el cultivo sin suelo se ha ido popularizando, Hernández (2008), Ortega (2010) y Mondragón (2011) reportaron que la vermicomposta tiene

propiedades fisicoquímicas de efecto positivo como sustrato. Esta tiene una estructura más fina y mayor área superficial, lo que proporciona mayor absorción y retención de nutrientes comparada con las compostas convencionales, las cuales, pasan por un estado termofílico (Zaller, 2007). La vermicomposta ha sido utilizada en la producción de hortalizas mostrando efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de la planta (Márquez *et al.*, 2008). De la Cruz *et al.* (2009) mencionan que la mezcla de vermicomposta con sustratos inertes al 37.5 y 50% cubren las necesidades nutricionales del cultivo de tomate, incluso, reporta que la vermicomposta como sustrato permitió satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, así como reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Márquez *et al.*, 2008).

3.5.4 Tezontle

El tezontle es un material mineral de origen volcánico. En México es de los más utilizados como medio de crecimiento, se ha estudiado en la producción de hortalizas desde hace unos 20 años (Ojodeagua *et al.*, 2008) incluso también es muy utilizado en la producción de flores (Vargas *et al.*, 2008) y plantas ornamentales (Rodríguez *et al.*, 2013). A pesar de ello, el tezontle es uno de los sustratos menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas (San Martín *et al.*, 2012).

En general, es un material considerado inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy baja, tiene buena aireación; tiene poros de empaquetamiento simple y vesículas, presenta una proporción variable de porosidad interna, que incluye a los poros cerrados, por lo tanto este tipo de porosidad facilita su manejo con respecto al traslado, cribado y llenado de contenedores al disminuir su porosidad aparente (Rodríguez *et al.*, 2013). La retención de humedad del tezontle depende de su tamaño de partícula, generalmente está libre de sustancias tóxicas, tiene buena estabilidad física (Bastida, 1999) y además, tiene un bajo costo de adquisición (Castellanos y Vargas, 2003). Es ampliamente utilizado en hidroponía, sin embargo, este material es de alta demanda en la industria de la construcción (SCyT, 2010).

Dentro de las ventajas que presenta, el tezontle puede ser reutilizado para la producción hidropónica. Esto no solo favorece la conservación de los materiales, sino que también significa reducción de costos de producción (Rodríguez *et al.*, 2013).

3.6 Requerimiento de riego

Otro factor importante a considerar en el manejo de los sustratos es el riego. Este consiste en aportar agua al suelo o sustrato para que las plantas (hortalizas, pastos, hierbas, ornamentales, etc.) tengan el suministro de agua que necesitan, favoreciendo así su crecimiento y desarrollo (García y Briones, 2007). En el sistema de cultivo sin suelo el riego es un factor de suma importancia a considerar, ya que este condiciona el rendimiento y la calidad de la producción y si existe deficiencia de agua puede provocar la muerte de la planta (Al-Omran, *et al.*, 2010; Helyes *et al.*, 2012).

Autores como Harmanto *et al.* (2005) y Flores *et al.* (2007), mencionan que el agua debe ser proporcionada en cantidad y en tiempo exacto puesto que una mala programación del riego promueve la presencia de enfermedades y desórdenes fisiológicos. Debido a esto, se han perfeccionado y adaptado diversos indicadores de riego, con la ayuda de sensores y sistemas de monitoreo sofisticados que permiten determinar con mayor confiabilidad el momento oportuno de riego a través de variables asociadas al estrés hídrico de los cultivos (Flores *et al.*, 2007). Por lo tanto la elección oportuna del momento de riego permite obtener mayores rendimientos (Ismail *et al.*, 2008).

Por esta razón, es necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos, mejor conocida como evapotranspiración o uso consuntivo, la cual se define como la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo o sustrato (Fuentes, 1998). Existen diversos factores que condicionan la evapotranspiración, dentro de los cuales se encuentran el medio de cultivo, la naturaleza y fase vegetativa en la que se encuentra el cultivo (López *et al.*, 2010) y las condiciones meteorológicas (radiación, viento, humedad atmosférica, etc.). La evapotranspiración varía a lo largo del ciclo vegetativo, en plántulas la mayor parte del

agua consumida tiene lugar por evaporación del medio de crecimiento, pero a medida que el cultivo se desarrolla aumenta la transpiración, que se hace máxima al alcanzar la planta su máximo desarrollo foliar (Hann, 2011).

Los requerimientos de agua de la planta comprenden el agua total usada en la evapotranspiración, mientras que el total del agua requerida para el riego también incluye las necesidades de agua para el lavado de sales acumuladas, este es expresado como una profundidad de agua (lámina de riego) para cierto periodo (García y Briones, 2007).

La determinación de las necesidades de agua de un cultivo puede hacerse por diversos métodos. Un método directo es el lisímetro, al igual que por la fracción de lixiviación, otros métodos empíricos evalúan la evapotranspiración a través de los datos climáticos y de otra clase (López *et al.*, 2010). Entre ellos destacan los métodos de radiación Blaney y Criddle y de la cubeta evaporimétrica (Fuentes, 1998).

3.6.1 Métodos de riego en invernadero

El uso de agua en un sistema de riego está condicionado por la forma de distribuir las dotaciones a las tomas de regante y por la forma de dar los riegos a los campos de cultivo. Los modos más difundidos de regar son por superficie, por aspersión, localizados y, entre estos últimos, por microaspersión y por goteo (Losada, 2005).

El riego por aspersión es la lluvia artificial que se produce al pulverizarse el agua que descarga desde conductos a presión. El agua es asperjada a la atmósfera exterior a través de emisores que pueden consistir en boquillas de desagüe dispuestas en un mecanismo aspersor que constituye el último elemento del sistema de distribución (García y Briones, 2007).

La técnica que usa aspersores de rotación rápida, o difusores fijos, con presión, gasto y alcance relativamente pequeños es la llamada microaspersión (Rodríguez *et al.*, 2007). Esta técnica no moja toda la superficie del suelo o medio de crecimiento resultando en un riego localizado. Este

tipo de riego también integra el riego por goteo, estos también suministran el agua sobre una fracción de suelo, a través de sistemas a presión con orificios emisores o goteros en los que la velocidad de salida es muy pequeña (Montemayor *et al.*, 2006).

En general, los sistemas de riegos por goteo son fijos, lo que facilita riegos frecuentes, sin exigir demasiada contrapartida en mano de obra. Puede darse así riegos ligeros a suelos o sustratos con escasa retención de humedad (Lozada, 2005).

En el sistema de riego por goteo se puede realizar la fertilización día a día ya que los nutrientes se suministran disueltos en el agua (Cadahia, 2000), por lo cual, se obtiene una dosificación racional de fertilizantes, nutrición optimizada del cultivo y por lo tanto aumento de rendimientos, mayor calidad de frutos, mayor eficiencia y rentabilidad de los fertilizantes (Del amor y Del amor, 2007). Para conseguir que la planta tome los nutrientes de forma óptima es necesario que estos se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la disolución fertilizante, de esta forma se evitan fenómenos negativos como efectos osmóticos y antagonismos que perturban la absorción de nutrientes por la planta (Cadahia, 2000; Valenzuela *et al.*, 2014).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Dado la naturaleza de la investigación el experimento se llevó a cabo en tres fases. Fase 1, consistió en la selección del medio de crecimiento del cultivo. Fase 2, fue el cultivo en invernadero y la medición de los parámetros de crecimiento en el ciclo del cultivo. Fase 3, consistió en la evaluación de la calidad del fruto (parámetros externos e internos).

4.1 Fase 1. Selección del medio de crecimiento del cultivo.

Se obtuvieron cinco vermicompostas elaboradas en la región de Nayarit, de los materiales: estiércol de bovino (V_1), hueso de mango (V_2), pulpa de café (V_3), cachaza de caña (V_4) y estiércol de ovino (V_5).

Las vermicompostas se cernieron para eliminar residuos orgánicos y piedras de tamaño mayor a 0.5 mm. Las propiedades físicas evaluadas fueron el espacio poroso total (PT), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), densidad aparente (DA) y densidad real o de partícula (DP) de acuerdo a Fonteno *et al.* (2000). Dentro de las propiedades químicas, se evaluó el pH y la conductividad eléctrica (CE).

Posteriormente, se realizaron mezclas de las vermicompostas seleccionadas con tezontle, de tamaño de partícula entre 0.5 a 10 mm. Se realizaron mezclas de tezontle con vermicomposta en proporción 80:20. Se determinaron las propiedades físicas y químicas de las mezclas.

4.2 Fase 2. Cultivo en invernadero

El experimento se estableció en un invernadero de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, del 30 de julio del 2013 al 3 de enero del 2014, la humedad relativa media en el ciclo del cultivo fue 64.53% (Figura 7), la temperatura media del mes más cálido fue de 32.38°C y para el mes más frío de 23.31°C. En la Figura 8 se muestra el comportamiento de las temperatura media en el ciclo del cultivo julio 2013- enero 2014.

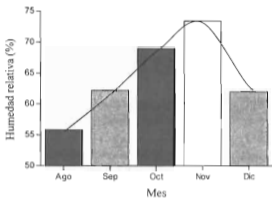


Figura 7. Humedad relativa en el ciclo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

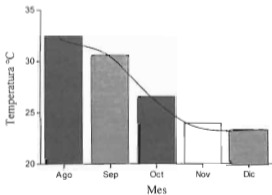


Figura 8. Temperatura en el ciclo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

Se utilizó semillas de tomate bola "Zyanya", las cuales, se sembraron en una charola de unicel de 200 cavidades, se utilizó el sustrato peat moss para la germinación y se regó con solución nutritiva Steiner (SN) al 25% de concentración y un pH de 5.5. La solución Steiner se preparó con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , KH_2PO_4 , K_2SO_4 , y MgSO_4 , más micronutrientes, para los cuales se elaboró una solución con el fertilizante comercial Ultrasol® micro.

Las plántulas se trasplantaron a los 28 días después de la siembra (DDS), con una altura promedio de 13 cm, en macetas de polietileno negro de 8.25 L de capacidad, que contenían los medios de crecimiento de acuerdo a los tratamientos (Cuadro 7). Las macetas se acomodaron de manera lineal con una distancia entre macetas de 40 cm del centro de una con respecto al de la otra y 80 cm entre pasillos con una densidad de siembra de 31250 plantas ha^{-1} . Se utilizó un sistema de riego por goteo.

El requerimiento de riego (Cuadro 4) se calculó usando la ecuación de Blaney y Criddle (Aguilera y Martínez, 1996) como referencia, después del trasplante, el riego se mantuvo con SN Steiner al 25% con una frecuencia inicial de dos riegos de 125 mL. La concentración de la SN se modificó en función de los tratamientos (Cuadro 5), donde la concentración de la SN al 80% tuvo una CE de 2.34 dS m^{-1} y al 100% una CE = 2.69 dS m^{-1} , el pH fue de 5.5. A partir de los 15 DDT se comenzó a regar a diferentes frecuencias de acuerdo a las propiedades físicas de los medios de crecimiento tezontle y mezcla de tezontle con vermicomposta.

Cuadro 4. Calendario de riego del tomate bola variedad "Zyanya" por el método de Blaney y Criddle. Ciclo invierno 2013-2014.

Mes	Días	Kc	ET ^r (cm)	Volumen mL/maceta
Agosto	5	0.43	1.32	500
Septiembre	30	0.44	8.19	3114
Octubre	31	0.58	9.42	3581
Noviembre	30	0.92	11.17	4247
Diciembre	31	0.98	10.65	4050
Enero	31	0.80	8.79	3341

Kc = coeficiente del cultivo; ET^r = evapotranspiración real en lámina de riego

El riego se ajustó de acuerdo a los tratamientos (Cuadro 5) en función de la demanda hídrica, la capacidad de retención de humedad de los sustratos tezontle y mezcla de tezontle con vermicomposta y requerimiento del cultivo mediante la fracción de lixiviación. Esta se manejó en el rango del 15 al 30%. Se midió el volumen de la fracción de lixiviación diariamente antes de la primera emisión para programar el riego del día, el lixiviado se recolectó por medio de bandejas, se tomó periódicamente el pH y CE del lixiviado con la finalidad de controlar dichas variables en el medio del cultivo.

Cuadro 5. Tratamientos utilizados para la producción de tomate bola 'Zyanya' a dos volúmenes y frecuencias de riego. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Abreviatura	Concentración de la SN Steiner	Riego
1	TT	100	R ₁
2	T-R ₁	80	R ₁
3	T:V-R ₁	80	R ₁
4	T:VR-R ₁	80	R ₁
5	T-R ₂	80	R ₂
6	T:V-R ₂	80	R ₂
7	T:VR-R ₂	80	R ₂

TT = Tezontle testigo, T-R₁ = Tezontle riego 1, T:V-R₁ = Tezontle-vermicomposta riego 1, T:VR-R₁ = Tezontle-vermicomposta reutilizada riego 1, T-R₂ = Tezontle riego 2, T:V-R₂ = Tezontle-vermicomposta riego 2, T:VR-R₂ = Tezontle-vermicomposta reutilizada riego 2, R₁ = volumen de riego 1, se encuentra en función de la CRA del tezontle; R₂ = volumen de riego 2, se encuentra en función de la CRA de la mezcla tezontle con vermicomposta.

Posteriormente, a los 30 días después del trasplante (DDT) se determinó el coeficiente de uniformidad de caudales del sistema de riego, este tuvo una eficiencia del 94%, este mismo proceso se realizó al final del cultivo con una eficiencia del 90% ligeramente menor respecto a los 30 días después del trasplante (DDT), sin embargo, en ambos casos es considerado como excelente.

Se inició la cosecha a los 70 DDT, se cortó el fruto cuando tenía un color uniforme, este, se encontraba en estado de maduración, la cosecha duró hasta el final del cultivo a los 130 DDT.

Se realizaron los controles fitosanitarios preventivos y curativos. Se aplicó Cipermetrina para el control de gusanos, se aplicó Mefenoxam y Tetracloroisoftalonitrilo para tizón y cenicienta. Para el control de mosquita blanca se aplicó Imidacloprid y Betacyflutrin.

4.2.1 Variables evaluadas

4.2.1.1 Variables de riego

Se midió el volumen de riego utilizado en todo el ciclo de cultivo, para esto, se registró la programación del riego por día. La aplicación del riego se automatizó por medio de un timer (meInor, 3010-MX, México). Se midió el volumen drenado de cada tratamiento; este se recolectó en bandejas de plástico que se colocaron por debajo de un soporte de fierro que sostenía la maceta. Se utilizó una probeta graduada para realizar la medición. Se determinó el volumen de agua utilizada por la planta y el sustrato por diferencia del volumen de riego y el volumen drenado. Se calculó el uso eficiente del agua para cada tratamiento por medio de la relación de rendimiento en kg por metro cúbico de agua utilizada. La frecuencia de riego se estableció de acuerdo a los requerimientos del cultivo mediante la fracción de lixiviación del 15%, la cual, varió según el sustrato (Se ajustó siempre al 15%).

4.2.1.2 Variables de crecimiento, contenido nutrimental y rendimiento

La altura de la planta y el diámetro del tallo se midieron cada semana a partir de los 7 DDT.

Altura de planta. Se midió con una cinta métrica tomando de referencia la base del tallo hasta el meristemo apical.

Diámetro del tallo. Se midió 20 centímetros arriba del nivel del sustrato con un vernier digital (Truper, CALDI-6MP, México).

Lecturas SPAD. Se tomaron cada semana a partir de los 14 DDT en hojas recientemente maduras mediante el Minolta SPAD (Konica Minolta, SPAD-502 PLUS, Japón), las unidades SPAD se transformaron en unidades de concentración de clorofila en $\mu\text{g cm}^{-2}$ por la ecuación $Y = 0.996X - 1.52$ (Vázquez *et al.*, 2012), donde, Y es el contenido de clorofila y X las unidades SPAD.

Área foliar. Se midió en ocho hojas de la parte media de la planta a los 97 DDT con el equipo Portable Area Meter LI-3000[®].

Materia fresca y seca. Se obtuvo de la planta completa, el primer muestreo se realizó a los 60 DDT, el segundo muestreo a los 120 DDT. Para la materia fresca de la planta se utilizó una báscula de 5 kg de capacidad (TORREY, L-EQ Series, México). Posteriormente, la planta se secó en un horno de secado (NOVATECH, Hs35-A1A, México) a 60°C y la materia seca se pesó en una báscula (AND, GX-2000, Japón) de 2100 g de capacidad. Este procedimiento se realizó para ambos muestreos.

Materia fresca, seca y volumen de raíz. Se determinó a los 120 DDT, las mediciones de materia fresca y seca de raíz se realizaron con las mismas técnicas que en planta. El volumen de raíz se determinó por el método de desplazamiento de volumen de agua de acuerdo a Moreno *et al.* (2011) y Parra *et al.* (2012).

Contenido nutrimental. Se determinaron los macronutrientes N, P y K en las hojas de la planta en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. La muestra se obtuvo de los muestreos realizados a los 60 DDT y 120 DDT en hojas de la parte media de la planta entre el racimo dos y cuatro. Se pulverizaron las hojas secas en un molino y posteriormente se cribaron para obtener partículas de tamaño lo más uniforme posible. Estas se almacenaron a temperatura ambiente en sobres de papel completamente sellados con cinta adhesiva y se colocaron en bolsas individuales para cada muestra también selladas. Posteriormente, el digestado de las muestras se realizó con 0.5 g de la muestra seca pulverizada y se colocó en un matraz de digestión, al cual, se le agregó 4 mL de mezcla diácida (4:1 de ácido sulfúrico y ácido perclórico) y 2 mL de

peróxido de hidrógeno al 30%. Posteriormente se colocaron los matraces con sus respectivas muestras en una estufa de digestión (TYPE, 2200) a 260 °C, hasta alcanzar una decoloración completa. Después cada muestra digerida se aforó con agua a 50 mL, se colocaron en recipientes de plástico completamente sellados para su manipulación y se procedió a la determinación del contenido nutrimental de los macronutrientes a evaluar (Alcántar y Sandoval, 1999).

Determinación de N. Se tomó 20 mL del extracto (digestado aforado) y se añadió 5 mL de Rojo de metilo y Azul de metileno 2:1 (v/v) como indicador para llevar a cabo el método Kjeldahl (Kirk, 1999).

Determinación de P. Se tomó 5 mL del extracto, al cual, se le añadió 10 mL de ácido nítrico, 5 mL de solución de molibdato-vanadato (amarillo) y por último se aforó a 50 mL con agua destilada para proceder a su lectura de absorbancia en el espectrofotómetro (GENESYS, 10UV) a 420 nm.

Determinación de K. Se tomó 1 mL del extracto y se realizó una dilución extracto-agua destilada 1:10, esto se realizó para todas las muestras. Después se metió el extracto diluido en el flamómetro (CORNING, 410) el cual, reportó concentraciones de K en ppm.

Rendimiento. Se obtuvo mediante la suma total del peso fresco de los frutos cosechados, los cuales, se pesaron en una báscula electrónica de 5 kg de capacidad (TORREY, L-EQ Series, México).

4.3 Fase 3. Calidad del fruto

Después de cosechado el fruto se procedió a la evaluación de los atributos de calidad de cuatro plantas por tratamiento. Las variables evaluadas en el fruto de tomate bola 'Zyanya' fueron: diámetro, color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable, índice de sabor, madurez, vida de anaquel, pérdida de peso, actividad antioxidante, fenoles totales y vitamina C.

4.3.1 Variables evaluadas del fruto

Se midió el color, diámetro y firmeza, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, índice de sabor y madurez del fruto en el primer fruto de cada racimo de la planta, cuando estos alcanzaron su estado de madurez de consumo (cuando los frutos presentaron una coloración rojo al 100% de acuerdo a la tabla de color de The John Henry Co. MI, USA.)

Color. Se determinó con dos lecturas, una por cada lado del fruto, por medio de un colorímetro (3nh, NR145).

Diámetro. Se midió con un vernier digital (TRUPER, CALDI-6MP, México) de manera ecuatorial.

Firmeza. Se midió con un penetrómetro (OA, FT 327, Italia), para lo cual, se quitó el epicarpio del fruto de la zona a evaluar.

Sólidos solubles totales (SST). Se determinaron en el jugo del tomate, para esto, se penetró el tomate y se extrajo el jugo, el cual, se colocó en el lector del refractómetro digital (HANNA, HI96801, Rumania).

pH. Se midió en la pulpa licuada del tomate con un potenciómetro (THERMO ORION, START A121, US).

Acidez titulable. Se evaluó en porcentaje de ácido cítrico por el método de la AOAC (1995), se utilizó 5 g de pulpa.

Índice de sabor y madurez. Se calcularon de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Navez *et al.* (1999) y Nielsen (2003) citados en Hernández *et al.* (2007):

$$\text{Índice de sabor} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{20 \cdot \text{acidez}} + \text{acidez} \qquad \text{Madurez} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{acidez}}$$

Pérdida de peso. Se evaluó en los frutos del primer racimo a temperatura ambiente y se pesaron cada tercer día hasta el final de su vida postcosecha.

Actividad antioxidante, fenoles totales y vitamina C. Se realizaron en el segundo fruto del segundo racimo cuando este presentó 100% de coloración rojo. Para la actividad antioxidante y compuestos fenólicos se realizaron con extracción metanólica, el solvente se preparó en proporción 1:1 metanol:agua (Cerón *et al.*, 2010). Para la obtención del extracto se utilizaron 5 g de pulpa y se licuó en 25 mL de la solución metanólica antes descrita. La extracción se recolectó y se almacenó en un ultracongelador (THERMO SCIENTIFIC, ULT1386-3-A41, US) a -80 °C.

Actividad antioxidante. Se determinó en los extractos mencionados anteriormente. Se utilizó el método de atrapamiento del radical libre 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) de acuerdo a Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones.

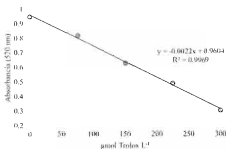


Figura 9. Curva estándar de Trolox utilizada para la determinación de la actividad antioxidante

Se prepararon soluciones de DPPH y Trolox a una concentración de 74 ppm en etanol, las cuales se agitaron por 10 min en una plancha electromagnética (FISCHER-SCIENTIFIC, CHINA). Posteriormente se colocaron 50 µL de las muestras en viales eppendorf y se les agregó 250 µL de solución de DPPH, se agitaron vigorosamente en el vortex (VORTEX-GENIE2, GS60, EU)

y se dejaron reposar a temperatura ambiente durante una hora. Para cada conjunto de muestras se realizó una curva estándar de trolox con las siguientes concentraciones: 0, 75, 150, 225 y 300 $\mu\text{mol trolox/L}$ (Figura 9), para cada concentración de la curva se tomaron 50 μl de solución de trolox en 250 μl de DPPH, se agitó y se dejó reposar por una hora al igual que en las muestras. Transcurrido este tiempo se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm por medio de un espectrofotómetro (BIOTEK, SINERGY HT, USA). Se realizaron determinaciones de cada muestra por triplicado a diferentes diluciones del extracto en metanol.

Compuestos fenólicos totales. Se determinó de acuerdo al método de Stintzing *et al.* (2005), el cual utiliza el reactivo de Folin-Ciocalteu. Esto se llevó a cabo con los mismos extractos que en la determinación de la actividad antioxidante.

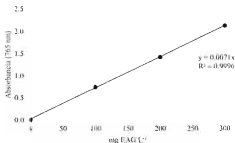


Figura 10. Curva estándar de ácido gálico utilizado para la determinación de compuestos fenólicos totales

Se colocaron en viales eppendorf 50 μL de muestra, se les agregó 250 μL de solución de Folin-Ciocalteu (1:9 en agua destilada) y 200 μL de solución de carbonato de sodio al 7.5%, posteriormente se agitaron en vortex y se incubaron a temperatura ambiente durante 30 min. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm en el mismo equipo que en la actividad antioxidante. Para la curva estándar de ácido gálico (Figura 10) se preparó una solución de 400 ppm de ácido gálico en agua destilada y se prepararon las siguientes

soluciones: 0, 100, 200, 300 y 400 ppm. De la misma manera que en las muestras, se colocaron 50 μL de cada concentración en viales eppendorf a las cuales se les agregó 250 μL de solución Folin-Ciocalteu y 200 μL de carbonato de sodio. Se leyó a una absorbancia a 765 nm para obtener la curva de calibración. La concentración de compuestos fenólicos totales se obtuvo a partir de la curva estándar de ácido gálico y se expresó como equivalentes de ácido gálico (EAG) mg L^{-1} . Todas las determinaciones de las muestras y la curva se realizaron por triplicado.

Ácido ascórbico (Vitamina C). Se utilizó el método colorimétrico descrito por Dürüst *et al.* (1997). La extracción se realizó con una solución de ácido oxálico al 3%. Al igual que en las extracciones para actividad antioxidante y compuestos fenólicos, se tomaron 5 g de muestra y se licuaron en 25 mL de la solución de ácido oxálico al 3%, se filtró con papel filtro, la extracción se recolectó y se almacenó en un ultracongelador.

Se preparó una solución de DCPL (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica) de 24 ppm en agua destilada, ácido oxálico al 0.4% en agua destilada, amortiguador de acetatos compuesto por 3 g de acetato de sodio, 7 mL de agua desionizada y 10 mL ácido acético glacial. Para la curva de estándar se preparó una solución madre de 100 mg L^{-1} de ácido ascórbico diluido en ácido oxálico al 0.4%.

El procedimiento consistió en colocar en viales eppendorf 50 μL de cada una de las muestras, se agregaron 50 μL de amortiguador de acetatos y 400 μL de DCPL, se agitaron las muestras en el vortex y se leyó las muestras en el espectrofotómetro a una absorbancia de 520 nm, se utilizó ácido oxálico al 0.4% como blanco. Cada muestra se realizó por triplicado.

Se utilizó la solución madre de 100 mg L^{-1} de ácido ascórbico para realizar la curva estándar (Figura 11), para ello, se realizaron diluciones de 75, 50 y 25 mg L^{-1} . Al igual que en las muestras, se colocaron 50 μL de la solución madre y sus respectivas diluciones en viales eppendorf y se aplicó en método antes descrito. El blanco fue ácido oxálico.



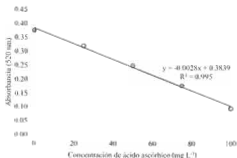


Figura 11. Curva estándar de ácido ascórbico utilizada en la determinación de vitamina C

4.4 Diseño experimental y análisis de datos

Se aplicaron seis tratamientos en un diseño experimental completamente al azar con doce repeticiones, se incluyó un testigo con el mismo número de repeticiones generando un total de 84 plantas (Cuadro 5). La unidad experimental para las variables de crecimiento, contenido nutricional y rendimiento fue de una maceta con una planta a un solo tallo con cinco racimos por planta y cinco frutos por racimo. Para las variables de calidad de fruto, la unidad experimental fue de cuatro plantas a un solo tallo con cinco racimos por planta y cinco frutos por racimos.

Los efectos de los tratamientos se analizaron mediante pruebas paramétricas y no paramétricas de acuerdo a la distribución de los datos obtenidos de las variables antes descritas. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza con el programa Statistical Analysis Systems (SAS, 2009) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fase 1. Selección del medio de crecimiento del cultivo

Las propiedades físicas y químicas evaluadas se presentan en el Cuadro 6. Las vermicompostas seleccionadas fueron la vermicomposta a partir de hueso de mango (V_2), pulpa de café (V_3) y estiércol de ovino (V_5).

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas de las vermicompostas. Ciclo invierno 2013-2014.

Vermicomposta	CA%	CRA%	PT %	DA (g cm ⁻³)	DP (g cm ⁻³)	pH	CE (dS m ⁻¹)
V_1	2.82	66.68	69.51	0.65	2.12	6.5	6.54
V_2	5.40	66.14	71.54	0.53	1.90	7.0	9.68
V_3	7.90	64.20	72.10	0.48	1.77	7.0	10.12
V_4	5.22	75.53	80.75	0.35	1.86	6.8	10.93
V_5	4.87	65.63	70.50	0.64	2.16	8.2	6.09

V_1 = Estiércol de bovino, V_2 = Hueso de mango, V_3 = Pulpa de café, V_4 = Cachaza, V_5 = Estiércol de ovino, CA= Capacidad de aireación, CRA= Capacidad de retención de agua, DA= Densidad aparente, PT= Porosidad total, DP= Densidad de partícula y CE= Conductividad eléctrica.

Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas de tezontle puro y mezclas de tezontle con vermicomposta. Ciclo invierno 2013-2014.

Sustrato	Proporción	CA %	CRA %	DA (g cm ⁻³)	PT %	DP (g cm ⁻³)	pH	CE (dS m ⁻¹)
T- V_2	80:20	24.5	33.2	0.80	57.8	1.90	7	1.82
T- V_3	80:20	28.4	32.4	0.77	60.9	1.98		
T- V_5	80:20	19.9	34.3	0.89	54.2	1.95		
T		46.6	20.7	0.73	67.3	2.22		

T = Tezontle, V_2 = Hueso de mango, V_3 = Pulpa de café, V_5 = Estiércol de ovino, CA = Capacidad de aireación, CRA = Capacidad de retención de agua, DA = Densidad aparente, PT = Porosidad total, DP = Densidad de partícula y CE = Conductividad eléctrica.

Se seleccionó la mezcla de tezontle con vermicomposta de hueso de mango como materia prima en proporción 80:20 para ser utilizada como medio de crecimiento del cultivo de tomate bola 'Zyanya' (Cuadro 7).

5.2 Fase 2. Cultivo en invernadero

5.2.1 Variables de riego

El volumen de riego (R_1 y R_2) aplicado al cultivo varió de acuerdo a la capacidad de retención de agua (CRA) del sustrato utilizado. En el volumen de riego 1 (R_1) de acuerdo a la CRA del tezontle, se utilizó $201.1 \text{ L planta}^{-1}$ ó 628.47 L m^{-2} , equivalente a $6,284.75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, con una frecuencia inicial de dos riegos por día y 15 al final del cultivo. El tratamiento T- R_1 mantuvo una media de volumen de drenado del 20% (Figura 12), este sustrato (tezontle), que corresponde a los tratamientos T- R_1 , TT y T- R_1 fueron los que obtuvieron mayor porcentaje de volumen de drenado (VD) (Figura 12), lo cual, coincide con el resultado obtenido en la caracterización física de los medios de crecimiento (Cuadro 7) que fue el que obtuvo menor retención de agua (CRA = 20.7%) con respecto a los demás sustratos evaluados.

El volumen de drenado de cada medio de crecimiento o sustrato fue variable debido a que estos tenían una CRA diferente, la mezcla tezontle con vermicomposta reutilizada (T:VR- R_1) drenó el 14% del volumen aplicado, mientras que la mezcla de tezontle con la vermicomposta seleccionada (T:V- R_1) drenó el 16%. Ambos sustratos son mezclas de tezontle con vermicomposta en las mismas proporciones, la diferencia en el volumen drenado se explica a que T:VR- R_1 fue reutilizado, esto trajo como consecuencia un incremento en la CRA, debido posiblemente a la fragmentación de partículas como lo menciona Rodríguez *et al.* (2013).

El R_2 en función del tratamiento T:V- R_2 requirió un mayor volumen de riego pero con una frecuencia menor. Al momento del trasplante se inició con dos riegos y se finalizó el ciclo de cultivo con 10 riegos. Se utilizó $216.6 \text{ L planta}^{-1}$ ó 676.87 L m^{-2} lo equivalente a $6,768.75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un 20% de volumen drenado, que coincidió con el R_1 , T- R_2 fue el que drenó mayor volumen de agua, 27% del volumen total aplicado y la mezcla T:VR- R_2 drenó el 17%.

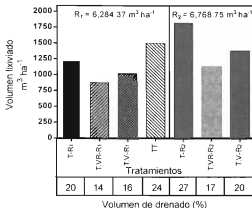


Figura 12. Volumen de drenado por hectárea de acuerdo al volumen de riego y al sustrato, en tomate bola 'Zyanya'.

Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con lo mencionado por Albiac y Tapia (2004), ellos señalan que la técnica de cultivo en sustrato para tomate requiere un gasto de agua por encima de $6,000.00 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sin embargo, Yescas *et al.* (2011), reportan en sus resultados un consumo neto de $2900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ muy por debajo de lo mencionado anteriormente. Por otra parte, Suazo *et al.* (2014) en su investigación con tezontle y mezclas de tezontle con arena 1:1, aplicó un volumen total de $6,696 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con densidad de siembra de 3 plantas m^{-2} similar al presente estudio. Esto implicó que utilizaran 412 m^3 más con respecto a R_1 .

El consumo de agua de la planta resultó diferente para cada tratamiento, en la Figura 13 se muestran los resultados del agua que se aplicó al cultivo de tomate en el ciclo comprendido entre agosto 2013 – enero del 2014, sin tomar en cuenta el volumen de drenado.

El tratamiento que tuvo mayor consumo de agua fue el T:VR-R₂ con $179.77 \text{ L planta}^{-1}$, seguido del T:V-R₂ con $173.28 \text{ L planta}^{-1}$ que correspondieron al R₂. El mismo patrón se dió en el R₁,

donde, el tratamiento T:VR-R₁ fue mayor con 172.94 L planta⁻¹, seguido de T:V-R₁ con 168.92 L planta⁻¹. Los tratamientos T-R₁ y T-R₂ resultaron por debajo de los tratamientos con vermicomposta, con 160.88 L planta⁻¹ para T-R₁ y 158.11 L planta⁻¹ para T-R₂. El tratamiento testigo (TT) utilizó menor cantidad de agua con 152.83 L planta⁻¹.

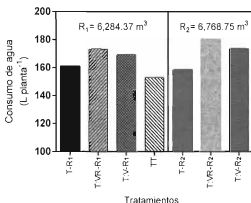


Figura 13. Consumo de agua en los tratamientos de tomate bola 'Zyanya'

Los resultados demuestran cómo el volumen de riego aplicado (R₁ ó R₂) y su disponibilidad influye en la absorción de la planta y cómo esta presenta diferentes tendencias de acuerdo a las condiciones que se presentan en el medio de crecimiento. En el Cuadro 8 se muestra una comparativa del consumo de agua de la planta en ambos volúmenes de riego.

El tezontle (T-R₁ y T-R₂) presentó tendencia similar en ambos volúmenes de riego. A pesar que recibió mayor cantidad de agua en el R₂, el tiempo entre riegos fue más prolongado y tenía la misma CRA. Las diferencias en los demás sustratos demostraron que a mayor CRA se necesita mayor cantidad de volumen de riego, esto para mantener la fracción de lixiviación adecuada.

Cuadro 8. Consumo del agua de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Sustrato	R ₁ (m ³ ha ⁻¹)	R ₂ (m ³ ha ⁻¹)
T	5027.50	4940.93
T:VR	5404.37	5617.81
T:V	5278.75	5415.00
TT	4775.93	

T = Tezontle, T:VR = Mezcla de tezontle con vermicomposta (sustrato reutilizado), T:V = Mezcla de tezontle con vermicomposta, TT = Tezontle 100% de concentración de SN (tratamiento testigo), R₁= Riego 1, R₂= Riego 2..

La concentración de la SN del tratamiento testigo (TT) influyó en la absorción de la planta, la diferencia de este con respecto al T-R₁ fue de 8 L planta⁻¹, lo equivalente a 250 m³ ha⁻¹, para el tratamiento T:VR-R₁ fue de 20 L planta⁻¹ (625 m³ ha⁻¹), en T:V-R₁ fue de 16 L planta⁻¹ (500 m³ ha⁻¹), T-R₂ 6 L planta⁻¹ (187.5 m³ ha⁻¹), T:VR-R₂ 27 L planta⁻¹ (843.75 m³ ha⁻¹) y T:V-R₂ fue de 21 L planta⁻¹ (656.25 m³ ha⁻¹). La diferencia del consumo de agua del tratamiento TT con respecto a los demás varia de 187 a 843 m³ ha⁻¹. Se obtuvieron los mismos comportamientos en ambos volúmenes de riego (Figura 13).

Por otra parte, el tratamiento T:VR-R₁ fue el que obtuvo un uso más eficiente de agua, esto porque tuvo mayor rendimiento y utilizó menor cantidad de agua. De manera general los tratamientos con vermicomposta del R₁ fueron los que obtuvieron un uso más eficiente del agua con respecto a los demás tratamientos, esto se muestra en el Cuadro 9. A excepción del tratamiento T:VR-R₁ con 25.33 kg m⁻³ y T:V-R₁ con 23.83, el uso eficiente de agua (UEA) de los demás tratamientos oscilaron en 22 kg m⁻³.

Yescas *et al.* (2011) reportaron en sus resultados un UEA de 22.16 kg m⁻³ con una frecuencia de cuatro riegos en arenita y perlita como sustratos en siete racimos evaluados, utilizaron en todo el ciclo de cultivo 2900 m³ ha⁻¹, menos de la mitad del agua utilizada en el presente estudio, donde se utilizó 6284.37 y 6768.75 m³, sin embargo, obtuvieron un rendimiento de 2.9 kg planta⁻¹ mucho menor al de esta investigación donde se obtuvo 4.88 kg planta⁻¹.

Cuadro 9. Uso eficiente del agua (UEA) de acuerdo a los tratamientos en tomate bola 'Zyanya'.
Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹)	UEA (kg m ³)
T-R ₁	140524.02	22.36
T:VR-R ₁	159207.03	25.33
T:V-R ₁	149785.71	23.83
TT	139729.17	22.23
T-R ₂	155257.81	22.94
T:VR-R ₂	151164.06	22.33
T:V-R ₂	149100.69	22.03

T-R₁ = Tezontle riego 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada riego 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta riego 1; T-R₂ = Tezontle riego 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada riego 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta riego 2; TT = Tezontle testigo.

Sánchez *et al.* (2014) obtuvieron valores del UEA por debajo de los presentados en esta investigación de 18.5 kg m⁻³ en un tratamiento comparable con los presentados anteriormente. Ellos utilizaron bolsas de 15 L de capacidad con una densidad de siembra de 6.5 plantas m⁻² (19.5 racimos m⁻²) y evaluaron 3.87 racimos m⁻² más que en el presente trabajo, además, la temperatura media máxima en esa región es de 25 °C, mientras que en el presente estudio la temperatura promedio máxima fue de 32.38 °C.

A pesar de ello, la presente investigación demostró que con la aplicación del riego en base de la CRA del sustrato se obtiene una alta productividad del agua. Por otra parte, Papadopoulos (1991) recomienda aplicaciones extras de agua y nutrientes (20 a 35%) en cultivos en sustratos para prevenir la acumulación de sales y desbalance nutricional en la rizosfera, esto puede explicar el alto rendimiento de T-R₂, sin embargo, los tratamientos con menor volumen de lixiviado obtuvieron un uso más eficiente del agua, por lo tanto, altos porcentajes de volumen drenado reducen el uso eficiente del agua.

A pesar de que el R₁ no estuvo fundamentado en los sustratos con composta, estos, tuvieron un drenaje de 14% (T:VR-R₁) y 16% (T:V-R₁) dentro del margen establecido del 15-30% de

volumen drenado, la planta tuvo mayor disponibilidad agua para su crecimiento y desarrollo, por lo cual presenta altos rendimientos en función del agua utilizada.

5.2.2 Variables de crecimiento, contenido nutrimental y rendimiento

5.2.2.1 Altura de planta

A los siete días después del trasplante (DDT) la altura de la planta (17 cm) fue mayor en el R_1 sin diferencias significativas significativas entre tratamientos con el mismo nivel de riego. Para el R_2 se presentó el mismo comportamiento sin diferencias significativas entre los tratamientos con valores aproximados a los 15 cm de altura, sin embargo, si se encontraron diferencias estadísticas al contrastar el R_1 con el R_2 (Figura 14A). El TT fue el que obtuvo la altura más baja con 13 cm.

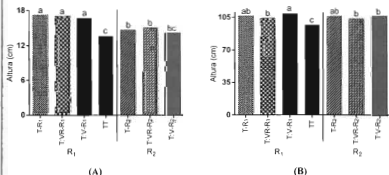


Figura 14. Altura de la planta de tomate bola 'Zyanya' a los 7 DDT (A) y a los 35 DDT (B).

A los 35 DDT el tratamiento T:V-R1 obtuvo el valor más alto con 109 cm, seguido de T-R1 con 106 cm y T-R2 y T:V-R2 con 105 cm. Hubo diferencias significativas en todos los tratamientos con respecto al TT, en la Figura 14B se muestran los resultados obtenidos para esta variable, al igual que a los siete DDT, el TT resultó con plantas de menor tamaño.

A los 49 y 70 DDT la planta tuvo una respuesta diferente a los tratamientos con respecto a las semanas anteriores, esto se puede apreciar en la Figura 15. Los tratamientos T-R₁ y T:V-R₁ resultaron sin diferencias significativas con los valores más elevados de altura a los 49 DDT con 154.91 y 154.16 cm respectivamente (Figura 15A), mientras que a los 70 DDT los tratamientos con mayor altura fueron T:V-R₁ con 115 cm y T-R₂ con 114. Por otra parte, a los 49 DDT los tratamientos T:VR-R₁, T:VR-R₂ y T:V-R₂ resultaron sin diferencias significativas, sin embargo, obtuvieron valores menores a los antes mencionados. Estos tratamientos tienen una característica en común, la presencia de vermicomposta, lo cual, se puede deducir que no tuvo efecto en el incremento de altura a los 49 DDT. Aun así, todos los tratamientos evaluados fueron estadísticamente diferentes al TT, el cual obtuvo una altura menor a los demás tratamientos.

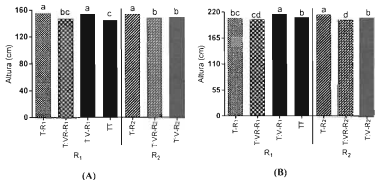


Figura 15. Altura de la planta de tomate bola 'Zyanya', a los 49 DDT (A) y a los 70 DDT (B).

A los 70 DDT, los tratamientos T-R₁, T:V-R₂ y TT fueron estadísticamente iguales con valores intermedios de 207, 208 y 209 cm respectivamente, mientras que T:VR-R₁ y T:VR-R₂ ambos mismo sustrato presentaron los valores más bajos (204 y 203 cm), a pesar que recibieron diferentes volúmenes de agua, estos fueron estadísticamente iguales (Figura 15B). Por lo tanto, existen diferencias altamente significativas en altura contra volumen de agua y tipo de sustrato.

Ortega *et al.* (2010) a los 125 DDT en tomate genotipo Sun 7705 reportaron alturas al final del cultivo de 346 a 461 cm en los sustratos aserrín, composta, tierra, tezontle y mezclas entre ellos en proporción 1:1, donde la mezcla de aserrín con composta obtuvo la mayor altura. Esto concuerda con T:V-R₁ (sustrato con vermicomposta) en donde se reportó la mayor altura. En esta misma investigación a los 80 DDT reportaron una altura promedio de 246 cm, la cual, resultó mayor que la máxima altura reportada en el presente trabajo con 215 cm.

López *et al.* (2012) evaluaron la altura a los 60 DDT en tezontle con tres riegos por día, en sus resultados reportaron una altura de 154 a 163 cm con una densidad de siembra de cuatro plantas m⁻², comparado con los resultados de la presente investigación donde la altura de la planta fue de 187 a 199 cm cuando estuvo a los 60 DDT, por lo tanto, ratifica la influencia del efecto del riego en la altura de la planta, ya que con 15 riegos obtuvo una mayor altura con tres riegos, lo cual, se corrobora con los resultados de Suazo *et al.* (2014) quienes obtuvieron la mayor altura a mayor frecuencia de riego.

San Juan *et al.* (2014) en suelo, obtuvieron resultados inferiores a los de la presente investigación con 96.74 cm a los 60 DDT, mientras que Rodríguez *et al.* (2013) a los 71 DDT reportaron su altura máxima alcanzada de 190 cm en el sustrato tezontle de segunda reutilización, lo que no concuerda con el tratamiento T:VR-R₁ también un sustrato reutilizado, que fue el que alcanzó menor altura.

La tendencia de la altura de la planta a través del tiempo se muestra en la Figura 16, inicialmente después del trasplante se puede observar que la planta tiene un crecimiento en altura con cierta lentitud, esto ocurre hasta los 14 DDT. A los 7 DDT la planta creció aproximadamente en promedio 2.47 cm, una semana después a los 14 DDT creció 11.27 cm. A partir de los 14 DDT, la planta creció aproximadamente de 20 a 27 cm por semana, donde su pico máximo de crecimiento en altura por semana fue a los 28 (27.56 cm) y 35 DDT (27.81 cm).

El aumento notorio en la altura de la planta coincide con la etapa reproductiva del cultivo que inició a los 16 DDT, la planta requirió una mayor demanda de nutrientes y mayor área foliar, lo

cual corresponde a un incremento en la altura de la planta por la formación de hojas nuevas, esto para la producción de fotosintatos que utilizó posteriormente para el llenado de frutos, que inició a los 30 DDT con la aparición del primer fruto. Cinco días después la planta presentó su mayor crecimiento por semana a los 35 DDT como se mencionó anteriormente y en las fechas posteriores de evaluación, la planta disminuyó su incremento semanal a 20.5 cm por semana.

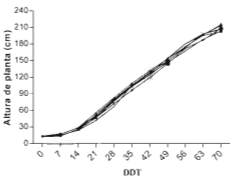


Figura 16. Comportamiento de la altura de la planta de tomate bola 'Zyanya' a los 70 DDT

5.2.2.2 Diámetro de tallo

Los resultados del diámetro de tallo a los 7 DDT variaron de 2.88 a 3.41 mm (Figura 17A), se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, con respecto al TT todos los tratamientos resultaron ser estadísticamente iguales a excepción del tratamiento T:V-R₁, el cual, obtuvo mayor grosor del tallo con 3.41 mm y fue igual estadísticamente al T-R₁ con 3.19 mm.

A los 35 DDT los tratamientos T:V-R₁ y T:V-R₂ obtuvieron los valores más altos. El tratamiento de mayor grosor de tallo fue T:V-R₂ con 11.41 mm seguido del tratamiento T:V-R₁ con 11.14 mm, estos, no presentaron diferencias significativas (Figura 17B). Los demás tratamientos

obtuvieron resultados por encima de 9.06 mm, que fue el valor más bajo, el cual, correspondió al tratamiento TT. A pesar de ello, estos resultaron sin diferencias significativas comparados con TT.

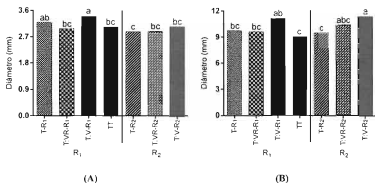


Figura 17. Diámetro de tallo de la planta de tomate Bola 'Zyanya', 7 DDT (A), 35 DDT (B).

El uso de la vermicomposta tuvo efecto positivo en el diámetro del tallo, estos tratamientos (T:V-R₁, T:V-R₂), fueron los únicos que presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo.

A partir de los 35 DDT la planta tuvo respuesta similar a los tratamientos en fechas posteriores de evaluación. A los 70 DDT (Figura 18A) y a los 112 DDT (Figura 18B) los tratamientos T:V-R₁ y T:V-R₂ obtuvieron los valores más altos sin diferencias significativas entre ellos. A los 70 DDT T:V-R₁ presentó un diámetro de tallo de 14.14 mm, mientras que T:V-R₂ obtuvo 13.67 mm, los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales al tratamiento testigo. A los 112 DDT ocurrió prácticamente lo mismo, ambos tratamientos (T:V-R₁, T:V-R₂) tuvieron un diámetro de 15.37 mm, al final del cultivo se observó una tendencia positiva de mayor diámetro de tallo en los sustratos elaborados con vermicomposta.

A lo largo del cultivo, el tratamiento T:V-R₁ obtuvo el valor más alto en las primeras semanas de evaluación, a partir de los 35 DDT este tratamiento junto con el tratamiento T:V-R₂ presentaron mayor diámetro de tallo resultando desde un inicio con diferencias significativas al tratamiento testigo con valores superiores. Los resultados del diámetro de tallo muestran que esta respuesta de la planta a los tratamientos aplicados se debió a la vermicomposta.

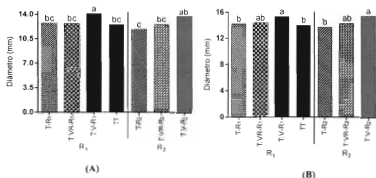


Figura 18. Diámetro de tallo de la planta de tomate bola 'Zyanya', 70 DDT (A), 112 DDT (B).

En su investigación, Sánchez *et al.* (2014) tomó el diámetro de tallo hasta el sexto entrenudo y obtuvo resultados a los 90 DDT de 12.1 a 14 mm, valores similares a los obtenidos en dicha fecha de evaluación, donde se obtuvieron diámetros de tallo de 13 a 15 mm. Sin embargo, la planta de tomate se caracteriza por tener un tallo delgado en la base de la planta y de mayor grosor en la parte media, aun así se obtuvo mayor grosor de tallo. Juárez *et al.* (2012) evaluó esta variable por encima del entrenudo de la tercera hoja con resultados al final del cultivo de 13.9 a 16.4 mm, ligeramente por encima de los tratamientos de T:V-R₁ y T:V-R₂ ambos con 15.37 mm de grosor. Sin embargo su tratamiento testigo superó a nuestros resultados con 3 mm. Rodríguez *et al.* (2013) obtuvieron valores de 9.2 a 9.6 mm, más de 5 mm de diferencia comparado con los resultados más altos aquí presentados.

Todos estos autores en sus investigaciones utilizaron el tezontle como medio de crecimiento, razón por la cual, este comportamiento se le atribuye al manejo adecuado de riego, además que los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en T:V-R₁ y T:V-R₂ en comparación con los demás sustratos. El uso de vermicomposta contribuyó en un mayor grosor del tallo, lo que coincide con Acosta *et al.* (2014), quienes obtuvieron el mismo comportamiento en plantas de agerato (*Ageratum houstonianum*) al utilizar vermicomposta como sustrato.

5.2.2.3 Contenido de clorofila

La clorofila es considerada como el pigmento fotosintético más importante, ya que es la biomolécula que interviene de forma más directa en el proceso de absorción y conversión de la energía luminosa (Azcón y Talón, 2008).

La comparación de medias mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 10), donde, a los 14 DDT el tratamiento T-R₁ y T-R₂ presentaron los valores más altos con diferencias significativas entre ambos tratamientos, el T:VR-R₂ obtuvo el valor más bajo de lecturas SPAD con una diferencia de 4.28 unidades con respecto a los valores más altos, mientras que los demás tratamientos resultaron iguales estadísticamente.

Cuadro 10. Comparación de medias para lecturas SPAD de hojas de cultivo de tomate bola 'Zyanya' a diferentes días después del transplante (DDT). Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	14 DDT	35 DDT	60 DDT	91 DDT	120 DDT
T-R ₁	44.91 a	51.84 ab	66.94 a	90.50 e	69.19 b
T:VR-R ₁	41.84 c	50.70 c	65.56 a	92.58 c	69.41 b
T:V-R ₁	41.72 c	52.70 a	66.42 a	91.59 d	69.88 ab
T-R ₂	43.25 b	51.31 bc	65.90 a	94.60 a	69.84 ab
T:VR-R ₂	40.63 d	51.62 b	66.06 a	93.78 b	70.50 a
T:V-R ₂	41.90 c	52.10 ab	65.51 a	91.51 d	70.55 a
TT	41.63 c	50.66 c	63.90 a	94.45 ab	69.19 b

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

La comparación de medias a los 35 DDT mostró diferencias significativas, donde el tratamiento T:V-R₁ obtuvo la lectura más alta, seguido de T-R₁ y T:V-R₂ sin diferencias estadísticas entre ellos y a su vez, T:VR-R₂ no tuvo efecto significativo con respecto T-R₁ y T:V-R₂. Por otra parte T:VR-R₁ y T-R₂ no tuvieron efecto significativo con respecto al tratamiento TT quien obtuvo el valor más bajo. A los 60 DDT no existió efecto significativo entre los tratamientos. A los 91 DDT se dieron los valores más altos a lo largo del cultivo, el tratamiento TT fue igual significativamente a T-R₂ y T:VRR₂, los demás tratamientos tuvieron diferencias significativas a los tratamientos mencionados anteriormente con valores más bajos. Posterior a esa fecha los parámetros disminuyeron, al final del cultivo no existieron diferencias significativas en los tratamientos regados con R₁, de igual forma, no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos regados con el R₂, aunque si existió efecto en los tratamientos con vermicomposta regados con el R₂ con respecto a los demás tratamientos que fueron iguales estadísticamente al TT.

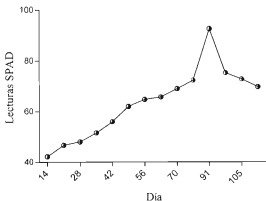


Figura 19. Lecturas SPAD durante el desarrollo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'

La curva del comportamiento de lecturas SPAD se muestra en la Figura 19, el cual concuerda con Cruz (2010) quien tuvo la misma respuesta para el final del cultivo con una disminución de lecturas SPAD.

El contenido de clorofila (Cuadro 11) es directamente proporcional a las lecturas SPAD de acuerdo a la ecuación reportada en Vázquez *et al.* (2012) $Y = 0.996X - 1.52$.

A los 14, 35 y 60 DDT T-R₁ se mantuvo dentro de los tratamientos con mayor contenido de clorofila, sin embargo, no existió mucha diferencia del contenido de clorofila en las hojas entre los tratamientos. A los 91 DDT quien obtuvo mayor contenido de clorofila fueron los tratamientos de tezontle T-R₂ y TT. Al final del cultivo se obtuvieron resultados con mayor grado de homogeneidad de 67.39 a 68.74 $\mu\text{g cm}^{-2}$, donde los parámetros más altos coincidieron con los tratamientos con vermicomposta.

Cuadro 11. Contenido de clorofila en $\mu\text{g cm}^{-2}$ en hojas de cultivo de tomate bola 'Zyanya' a diferentes días después del transplante (DDT). Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	14 DDT	35 DDT	60 DDT	91 DDT	120 DDT
T-R ₁	43.21	50.11	65.15	88.61	67.39
T:VR-R ₁	40.15	48.97	63.77	90.68	67.61
T:V-R ₁	40.03	50.96	64.63	89.70	68.08
T-R ₂	41.55	49.58	64.11	92.70	68.04
T:VR-R ₂	38.95	49.89	64.27	91.88	68.69
T:V-R ₂	40.22	50.37	63.72	89.62	68.74
TT	39.94	48.93	62.12	92.55	67.39

T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

En su investigación Valenzuela *et al.* (2014) utilizaron las lecturas SPAD como índice de verdor, ellos obtuvieron lecturas SPAD a los 110 DDT de 27 a 53 y utilizando la ecuación de conversión a concentraciones de clorofila presentaron valores de 25.37 a 51.26 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Estos resultados concuerdan con los reportados por Vázquez *et al.* (2012) quienes obtuvieron concentraciones de 43 a 53 $\mu\text{g cm}^{-2}$ a los 63 DDT. Sin embargo, ambos autores presentan un contenido de clorofila en hojas menor a los resultados reportados en la presente investigación donde se obtuvieron concentraciones mayores a los 63 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Otros autores como Rodríguez *et al.* (2007) y Ayala *et al.* (2011) reportan las lecturas SPAD directamente como el contenido de clorofila como una medida adimensional. Ambas investigaciones reportaron valores similares, donde Rodríguez *et al.* (2007) obtuvo parámetros de 36.32 y 38.32 $\mu\text{g cm}^{-2}$, mientras que Ayala *et al.* (2011) de 33.34 a 41.3 $\mu\text{g cm}^{-2}$. A partir de los 56 DDT se obtuvieron resultados por encima de 60 $\mu\text{g cm}^{-2}$, los cuales superan a los reportados en la literatura, no se encontraron valores mayores a los presentes, estos alcanzaron lecturas SPAD mayor a 90, al igual que su contenido de clorofila (Cuadro 11).

5.2.2.4 Área foliar

En la Figura 20 se presentan los resultados del área foliar. De acuerdo al análisis de varianza se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores más altos en esta variable corresponden a los tratamientos con vermicomposta, dentro de los cuales no existe diferencia significativa entre ellos, los tratamientos T-R₁, T-R₂ y TT resultaron con menor área foliar, sin embargo, el T-R₂ fue igual estadísticamente a los tratamientos con vermicomposta y el TT no tuvo diferencias significativas con los tratamientos T:V-R₁, T:V-R₂ y T-R₂.

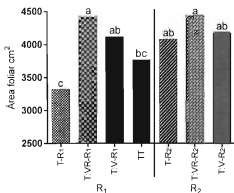


Figura 20. Área foliar de ocho hojas de la planta de tomate bola 'Zyanya'

Los tratamientos que sobresalieron de forma positiva con mayor área foliar fueron T:VR-R₁ y T:VR-R₂, los cuales fueron los únicos tratamientos diferentes estadísticamente al testigo. El tratamiento T-R₁ obtuvo el valor más bajo para esta variable con 3323 cm², tuvo una diferencia mayor a 1000 cm² con respecto a los tratamientos T:VR-R₁ y T:VR-R₂, sin embargo, coincide con los resultados de Cruz (2010) quien presentó en su investigación valores de 1900 a 3843 cm² en ocho hojas evaluadas. Barraza *et al.* (2004) presentaron valores de 4728.28 a 8109.73 cm² en sus tratamientos, los cuales, los evaluaron en la planta completa. Aun así no obtuvieron valores que coincidan con los resultados obtenidos en la presente investigación, tomando en cuenta que se utilizó aproximadamente un tercio de las hojas de la planta. Lo mismo ocurrió con Dodd *et al.* (2009) que reportaron parámetros de hasta 2000 cm² considerablemente menor a los resultados obtenidos. Por otra parte, autores como Diaz *et al.* (2013) obtuvieron valores por debajo de 1119.8 cm², los cuales no concuerdan con los valores obtenidos en la presente investigación, estos se encuentran considerablemente por encima a los reportados (Figura 20).

5.2.2.5 Peso de materia fresca y seca de la planta

De acuerdo al Cuadro 12, el análisis de varianza señala diferencias significativas a los 60 DDT en la acumulación de biomasa, en el peso de la materia en fresco el tratamiento T:VR-R₁ obtuvo el valor más alto, lo cual coincidió con el mayor contenido en materia seca en este mismo sustrato.

Sin embargo, los resultados muestran que a mayor peso de la materia fresca no garantiza mayor acumulación de biomasa en materia seca, esto se puede observar claramente en los tratamientos TT y T-R₂, incluso, en los resultados del segundo muestreo.

Con la única excepción de T:VR-R₁ y T:VR-R₂, a los 60 DDT la mayoría de los tratamientos resultaron ser iguales estadísticamente en acumulación de biomasa seca al tratamiento TT. En el segundo muestreo a los 120 DDT no existió efecto significativo entre los tratamientos para estas variables, aun así, T:VR-R₁ y T:VR-R₂ presentaron los valores más elevados, lo cual, coincidió con el mismo comportamiento que en el primer muestreo.

Cuadro 12. Comparación de medias para materia fresca y seca de la planta en el cultivo de tomate bola 'Zyanya' en dos muestreos. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	60 DDT		120 DDT	
	MF (g)	MS (g)	MF (g)	MS (g)
T-R1	952 d	121.05 b	1702.51 a	233.11 a
T:VR-R1	1342 a	176.01 a	2176.94 a	252.47 a
T:V-R1	1260 b	149.18 ab	1939.40 a	221.11 a
TT	1136 c	127.13 b	1739.33 a	244.91 a
T-R2	1106 c	138.14 b	1700.49 a	221.31 a
T:VR-R2	1273 b	143.72 ab	1985.59 a	248.45 a
T:V-R2	961 d	128.84 b	1879.71 a	236.63 a

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); MF = Materia fresca; MS = Materia seca; T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

Los tratamientos evaluados no mostraron diferencias significativas entre sí, los resultados obtenidos fueron mayores a los reportados por Rodríguez *et al.* (2007) con 202, 160, 151 g en sus tratamientos, aunque en uno de ellos si concuerda con los resultados obtenidos donde presentan 252 g de materia seca. Sánchez *et al.* (2014) en camas de tezontle obtuvieron a los 51 DDT valores que oscilaron entre 92 y 112 g planta⁻¹, ligeramente menor a los obtenidos, llama la atención que al final del cultivo presentaron valores de 223 a 248 g planta⁻¹, los cuales son iguales significativamente a los reportados en el segundo muestreo, aun cuando ellos en su investigación trabajaron hasta el tercer racimo. Esta respuesta se pudo haber debido a la que la planta al no gastar sus fotoasimilados en brotes nuevos y elongación de raíz, en consecuencia, se obtuvo una mayor acumulación de compuestos fotosintéticos de reserva para el funcionamiento fisiológico de la planta. También Mujica *et al.* (2014) mostraron en sus resultados parámetros desde 150 hasta 270 g planta⁻¹ en tratamientos con hongos micorrizicos, lo que demuestra que no es necesario este tipo de fertilización para aumentar la biomasa seca de la planta, puesto que no mostró efecto significativo con respecto a los resultados según el Cuadro 12. De los autores anteriores que evaluaron la acumulación de biomasa en los tejidos de la planta, Matos *et al.* (2011) obtuvieron valores similares a los reportados en un volumen de sustrato de 5 L, sin embargo, en un volumen de sustrato de 10 L y 15 L con un solo riego diario,

sus resultados fueron considerablemente mayores. Así mismo, utilizaron una frecuencia de cinco riegos día⁻¹ donde obtuvieron aproximadamente 200 g por encima de la presente investigación. En general, las evidencias anteriores demuestran que la acumulación de biomasa seca por planta se encuentra en un rango de 150 a 300 g con sus respectivas excepciones como se mostró en los resultados de Matos *et al.* (2011).

5.2.2.6 Peso de materia fresca, seca y volumen de raíz

De acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para dichas variables, la comparación de medias (Cuadro 13) en el peso de materia fresca se obtuvieron los valores más bajos para T:V-R₁, T:VR-R₂ y TT sin diferencias estadísticas entre ellos. Los tratamientos T-R₁ y T-R₂ resultaron con valores por encima de los demás tratamientos con diferencias significativas entre ambos tratamientos y con respecto a los demás.

Cuadro 13. Comparación de medias para materia fresca, seca y volumen de raíz en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	MF (g)	MS (g)	Volumen (mL)
T-R ₁	341.27 a	31.63 ab	258.5 a
T:VR-R ₁	189.92 cd	23.19 bc	175 bc
T:V-R ₁	136.38 e	16.53 c	125 d
TT	157.00 cd	28.55 ab	212.5 b
T-R ₂	233.85 b	27.81 ab	169.3 c
T:VR-R ₂	155.00 e	22.88 bc	195 bc
T:V-R ₂	198.33 c	34.49 a	166.5 c

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05); MF = Materia fresca; MS = Materia seca; T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

Por otra parte, en el peso de materia seca sucedió el mismo comportamiento que en la parte aérea de la planta. Los tratamientos con mayor peso en materia fresca no corresponden a los que

obtuvieron mayor acumulación de biomasa. Dentro de estos se encuentran T:V-R₂ con el valor más alto, seguido de T-R₁, TT, y T-R₂ sin diferencias significativas. Los tratamientos reutilizados fueron iguales estadísticamente al TT. El único tratamiento que resultó diferente a todos fue el tratamiento T:V-R₁, quien obtuvo por mucho, el valor más bajo.

En el volumen de raíz, los tratamientos T:V-R₁ y T:V-R₂ obtuvieron los parámetros más bajos con diferencias significativas entre ambos, mientras que T-R₁ fue estadísticamente diferente a todos los tratamientos con el mayor valor. T:VR-R₁, T:VR-R₂ y T-R₂ no mostraron diferencias significativas entre ellos, donde los tratamientos de segunda reutilización fueron iguales al tratamiento testigo. Al comparar estas evidencias, se pudo observar la influencia que tiene el volumen y frecuencia de riego sobre la respuesta de la planta para esta variable, aún en los mismos sustratos con propiedades fisicoquímicas iguales existen diferencias significativas lo cual se le atribuye al riego aplicado.

Los resultados obtenidos en la presente investigación en peso de materia seca, fueron menores a los reportados por Martínez *et al.* (2012), quienes en su estudio presentaron valores de 40.8 a 49.7 g con aplicación de solución nutritiva intermitente cada 10 minutos. Rivera *et al.* (2007) mencionó que el mayor peso de materia seca de raíces depende del mayor tiempo de contacto de la solución nutriente con las raíces. Sin embargo, T:V-R₁, T:VR-R₁ y T:VR-R₂ fueron tratamientos que tuvieron mayor tiempo de contacto de las raíces con la solución nutritiva y se dio el comportamiento contrario con menor peso en materia seca con respecto a los tratamientos de tezontle puro (menor tiempo de contacto de las raíces con la SN).

Este mismo autor mencionó que si una planta recibe agua y nutrientes en abundancia no estimulará demasiado el crecimiento de la raíz, pero si el agua y los nutrientes escasean será necesario poseer un sistema radical amplio para que la planta sobreviva.

A pesar de que la planta nunca tuvo escases de agua y nutrientes, los tratamientos de tezontle puro (T-R₁, T-R₂ y TT) tuvieron menor cantidad de solución nutritiva, esto, debido a su baja retención de agua. De acuerdo a lo mencionado, estos tratamientos tuvieron mayor necesidad

de desarrollar su sistema radicular, por lo cual tuvieron un mayor peso de materia seca de raíz con respecto a los tratamientos con vermicomposta a excepción de T:V-R₁.

Por otra parte, la acumulación de biomasa seca por órgano de la planta se presentó tal y como lo mencionó Betancourt y Pierre (2013). En sus resultados señalaron que la acumulación de biomasa, hasta mediados del ciclo del cultivo, fue en el siguiente orden: hojas, tallo, frutos, y raíz, donde al final del cultivo los frutos tuvieron un aporte importante al valor de la materia seca total, consecuencia de la alta demanda metabólica que estos tienen.

5.2.2.7 Contenido nutrimental

En la determinación de nitrógeno el efecto de los tratamientos a los 60 DDT fue significativo con respecto al tratamiento TT a excepción del T-R₁, no obstante, todos los valores resultaron por debajo de este tratamiento (TT), lo cual se le atribuye al efecto de la concentración de la SN. Los tratamientos T:VR-R₁, T:V-R₁, T-R₂ y T:V-R₂ no tuvieron diferencias significativas entre ellos, mientras que T:VR-R₂ resultó estadísticamente diferente a todos los tratamientos con el valor más bajo (Figura 21).

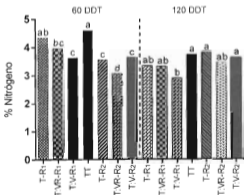


Figura 21. Contenido de nitrógeno en hojas de tomate bola 'Zyanya'

Por otra parte, a los 120 DDT el único tratamiento con diferencias significativas fue el T:V-R₁ con el valor más bajo, los demás tratamientos resultaron ser estadísticamente iguales al TT. Sin embargo, los resultados muestran una clara tendencia entre volúmenes de riegos, donde los tratamientos con el R₁ no obtuvieron diferencias significativas entre si, el mismo comportamiento se dio para el R₂, en el cual se dieron los valores más elevados. Cabe mencionar que a los 60 DDT se mostró el comportamiento inverso, donde los parámetros más elevados se dieron en el R₁, aunque entre volúmenes de riegos, si existieron diferencias estadísticas.

De acuerdo a la Figura 21, al comparar ambas fechas de muestreo se puede observar que a los 60 DDT en el R₁ se presentaron resultados mayores que a los 120 DDT, esto se puede explicar porque la planta a esa fecha seguía produciendo hojas nuevas, las cuales son órganos fuente de fotosintatos. Mientras que a los 120 DDT con el corte del ápice de la planta los fotosimilados se dirigen hacia las áreas de mayor demanda como lo son los frutos. Llama la atención que este comportamiento no se mostró para el R₂, el cual obtuvo en general valores ligeramente arriba de los 120 DDT con respecto a los 60 DDT, sin embargo, en ambas fechas de determinación, estos se encontraron por encima del rango de suficiencia de acuerdo a Rodríguez *et al.* (2007) quienes mencionan que es de 1.8 a 2.5%.

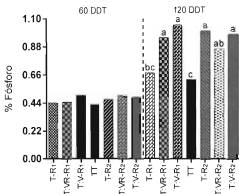


Figura 22. Contenido de fósforo en hojas de tomate bola 'Zyanya'

Por otra parte, en la determinación de fósforo, a los 60 DDT, el análisis de varianza no mostró diferencias entre los tratamientos evaluados, los valores oscilaron entre 0.42 a 0.50%, lo cual se muestra en la Figura 22. En cuanto a los 120 DDT, de acuerdo al análisis de varianza, existieron diferencias entre tratamientos. En la comparación de medias la mayoría de los tratamientos resultaron ser estadísticamente diferentes al TT quien obtuvo el parámetro menor (Figura 22).

El único tratamiento que no mostró diferencias significativas con respecto a TT fue el T-R₁, los tratamientos con vermicomposta del R₁ resultaron estadísticamente iguales a aquellos que se les proporcionó mayor cantidad de agua (tratamientos regados con R₂).

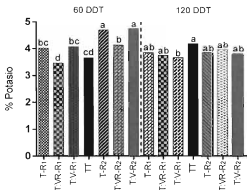


Figura 23. Contenido de potasio en hojas de tomate bola 'Zyanya'

En la determinación de potasio a los 60 DDT existieron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 23). Los sustratos regados con el R₂ obtuvieron mayor contenido de potasio en las hojas. Los tratamientos T-R₂ (4.70%) y T:V-R₂ (4.74%) mostraron efecto significativo sobre los demás tratamientos con los valores más elevados. T:VR-R₂ fue igual estadísticamente a los tratamientos con mayor contenido de potasio del R₁, los cuales fueron T-R₁ y T:V-R₁, éstos últimos a su vez no mostraron efecto de los tratamientos con respecto al TT, quien no tuvo diferencia significativa con T:VR-R₁. Llama la atención que en ambos volúmenes de riego se

mostró el mismo comportamiento donde el valor más bajo coincide con el sustrato reutilizado, sin embargo, no existe mucha diferencia entre los resultados. Estos valores se encuentran de 3.40 a 4.74%.

A los 120 DDT hubo mayor homogeneidad entre los tratamientos con respecto a los 60 DDT, todos los resultados estuvieron dentro del rango de 3.6 a 4.2%. Los únicos tratamientos que mostraron diferencias entre si fueron T:V-R₁ y TT siendo este último el que obtuvo el valor más alto. Mientras tanto, los demás tratamientos resultaron ser iguales estadísticamente a T:V-R₁ y TT con valores intermedios entre estos dos (Figura 23).

Los resultados obtenidos del contenido nutrimental de nitrógeno en hojas fueron menores a los reportados por Hernández *et al.* (2009), quienes obtuvieron a los 65 días valores entre 4.00 y 4.75%, sin embargo, al final del cultivo ellos mostraron valores de 3.00 a 3.25%, los cuales fueron ligeramente menores a los de la presente investigación. Llama la atención que el comportamiento de la absorción de nitrógeno para los sustratos regados con el R₂ no sucedió de acuerdo a lo reportado por Gastal y Lemaire (2002).

Estos autores mencionaron que la absorción de nitrógeno es determinada en gran medida por la tasa de crecimiento del cultivo. Señalan que el incremento del contenido de nitrógeno con la masa del cultivo no es lineal, observándose una disminución en la absorción de N por unidad adicional de biomasa a medida que la planta crece, lo cual parece ser un fenómeno general de los cultivos vegetales. En las plantas regadas con el R₁ se dio tal como se mencionó anteriormente.

El fósforo a los 60 DDT se encontró en los niveles recomendados de acuerdo a Maynard and Hochmuth (1997), quienes mencionaron un rango de suficiencia de 0.18 a 0.6%. Sin embargo, a los 120 DDT en la presente investigación todos los tratamientos sobrepasaron estos niveles alcanzando valores de hasta 1%. Según Passam *et al.* (2007), no es muy común que existan efectos de toxicidad en plantas por exceso de fósforo, a pesar de ello, Jones (1998) sugirió 1% como el nivel crítico entre suficiencia y toxicidad en plantas de tomate.

Para el caso de potasio, el rango de suficiencia en tomate es de 3.5 a 6% (Rodríguez *et al.*, 2007), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en ambas fechas de muestreo. Hernández *et al.* (2009), en general, obtuvieron de 3.5 a 4% aunque hubo ligeros incrementos entre los tratamientos al final del cultivo con respecto a los 65 DDT en dicha investigación, esto no coincidió con el comportamiento mostrado en la Figura 23, en la cual de manera general hubo una menor concentración de potasio en hojas al final del cultivo.

5.2.2.8 Rendimiento

De acuerdo al análisis de varianza existieron diferencias significativas entre los tratamientos, en la Figura 24 se muestra la comparación de medias para esta variable. El tratamiento T:VR-R₁ fue el que obtuvo mayor rendimiento, seguido de T-R₂ y T:VR-R₂. Dado el comportamiento del R₁, donde los valores más elevados correspondieron a los sustratos con vermicomposta se esperaba un comportamiento similar para el R₂, sin embargo, no sucedió dicha respuesta en los tratamientos, donde T-R₂ obtuvo el mayor rendimiento del R₂ como se muestra en la Figura 24.

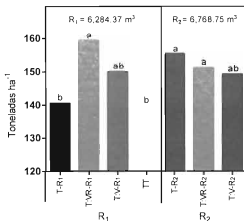


Figura 24. Comparación de medias del rendimiento del cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

Esta situación se puede explicar por lo mencionado en Sánchez *et al.* (2014) donde se reporta que alta salinidad reduce el rendimiento. De acuerdo a la conductividad eléctrica de los lixiviados, T-R₂ correspondió a la CE más baja en cada evaluación a lo largo del cultivo como era de esperarse, por tener mayor cantidad de volumen de drenado, no obstante, el tratamiento T:VR-R₁ obtuvo de los valores más altos en CE, aun así, obtuvo un mayor rendimiento (Figura 24).

A pesar que no se presentó efecto significativo de T:VR-R₁ con los tratamientos T:V-R₁, T-R₂, T:VR-R₂ y T:V-R₂, la diferencia que se obtuvo entre los valores de estos, convierte al riego uno de los factores más importantes a considerar en el manejo del cultivo de tomate bola 'Zyanya' (Cuadro 14). Lo mismo sucedió con los tratamientos T-R₁, T:V-R₁ y T:V-R₂ que resultaron ser estadísticamente iguales al tratamiento TT, que resultó con el valor menor. Sin embargo, en cuestiones de producción son diferencias importantes, las cuales impactan de forma positiva en la economía del productor. En el Cuadro 14 se muestra la diferencia de cada tratamiento con respecto a TT.

Cuadro 14. Comparación del rendimiento de los tratamientos con respecto al tratamiento testigo y su uso eficiente del agua, correspondiente en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Rendimiento t ha ⁻¹	Diferencia t	UEA Kg m ⁻³
T-R ₁	140.524	0.794	22.36
T:VR-R ₁	159.207	19.477	25.33
T:V-R ₁	149.786	10.056	23.83
T-R ₂	155.258	15.528	22.94
T:VR-R ₂	151.164	11.434	22.33
T:V-R ₂	149.101	9.371	22.03
TT	139.729		22.23

T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

Los tratamientos TT y T-R₁ obtuvieron menos de una tonelada de diferencia, mientras que los demás sustratos con sus respectivos riegos resultaron con más de 9 t ha⁻¹ de diferencia, lo cual, se considera una cantidad elevada tanto en producción como económicamente.

Los resultados obtenidos demuestran que el 15% de volumen drenado es adecuado para la obtención de altos rendimientos y un ahorro considerable de agua, este es un recurso valioso en este tipo de sistemas de producción, que impacta también en la reducción del uso de fertilizantes.

Los resultados obtenidos son menores al máximo valor reportado por Ortega *et al.* (2010), quien obtuvo 250 t ha⁻¹ en una mezcla de aserrín y composta contra 159.2 t ha⁻¹ del tratamiento T:VR-R₁. En tezontle puro dicho autor reportó 131 t ha⁻¹ lo que coincide con TT, sin embargo, la densidad de siembra utilizada por ellos fue de 60000 plantas ha⁻¹, 28750 plantas ha⁻¹ de diferencia con respecto a la presente investigación, lo cual justifica el mayor rendimiento con respecto a T:VR-R₁. Suazo *et al.* (2014) con una densidad de siembra de 30000 plantas ha⁻¹ reportaron rendimientos de 85.5, 107.7 y 113.1 t ha⁻¹ en mezcla de tezontle y arena (1:1), donde el valor más bajo corresponde a una concentración de SN Steiner de 50%, el valor intermedio a 75% de SN y el más alto a 100% de concentración de SN. Cabe señalar que estos resultados no concuerdan con los obtenidos en esta investigación, el tratamiento TT regado con SN Steiner al 100% de concentración obtuvo el rendimiento más bajo. Flores *et al.* (2007) presentó rendimientos de 200 t ha⁻¹ con una densidad de siembra de 43000 planta ha⁻¹ con 8 racimos por planta en tezontle y 6 riegos diarios. Esto es mayor a lo obtenido por todos los tratamientos evaluados en la presente investigación, sin embargo, solo se utilizaron 31250 plantas ha⁻¹ y cinco racimos. Con 27000 plantas ha⁻¹ y 18 racimos Ojodeagua *et al.* (2008) en tipo de producción comercial utilizaron como sustratos suelo y tezontle cuyos rendimientos oscilaron entre 304 y 341 t ha⁻¹ y Valera *et al.* (1999) reportaron rendimientos comerciales de 450 t ha⁻¹ en un invernadero hidropónico Holandés con control climático.

Estas evidencias, resalta la importancia de esta técnica de producción, en la cual se pueden utilizar altas densidades de siembra y llevar un control eficiente de la fertilización por medio de riegos frecuentes lo que permite obtener mayores rendimientos en comparación con el suelo. Al

respecto Muluallem y Tekeste (2014) reportaron rendimientos en dos zonas evaluadas de 18 a 38 t ha⁻¹ y de 76 a 97 t ha⁻¹ en suelo, el valor más alto reportado en dicha investigación es superado en 44% por el tratamiento TT (menor rendimiento).

5.2.3 Correlación de las variables de crecimiento, contenido nutrimental y rendimiento

De acuerdo a los coeficientes de correlación (Cuadro 15), existe alta correlación entre la altura y diámetro de tallo con las lecturas SPAD con coeficientes de 0.98 y 0.90 respectivamente, al igual que la altura y el diámetro de tallo con 0.92. Alcántar y Trejo (2007) reportaron que lecturas SPAD de 45 corresponden a 50 cm de altura en las plantas de tomate bien nutridas, esto concuerda con los resultados obtenidos a los 21 DDT.

Cuadro 15. Coeficientes de correlación de los resultados obtenidos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

	AF	AL	DT	SPAD	N	P	K	Rend	MSP	MSR	VR
AF	1.00										
AL	-0.20	1.00									
DT	-0.08	0.92	1.00								
SPAD	-0.04	0.98	0.90	1.00							
N	0.20	-0.47	-0.53	0.24	1.00						
P	0.64	0.07	0.05	-0.37	-0.30	1.00					
K	-0.16	-0.19	-0.14	0.58	0.60	-0.80	1.00				
Rend.	0.86	0.06	0.06	-0.16	-0.12	0.61	-0.33	1.00			
MSP	-0.49	-0.53	0.23	0.06	0.25	-0.54	0.10	-0.54	1.00		
MSR	-0.27	-0.35	-0.40	0.23	0.64	-0.20	0.16	-0.42	0.30	1.00	
VR	-0.37	-0.08	-0.27	0.04	0.36	-0.22	-0.18	-0.37	0.59	0.65	1.00

AF = Área foliar; AL = Altura de la planta; DT = Diámetro de tallo; N = Contenido de nitrógeno (%); P = Contenido de fósforo (%); K = Contenido de potasio (%); Rend = Rendimiento; MSP = Materia seca de la planta; MSR = Materia seca de raíz; VR = Volumen de raíz.

En cuanto al rendimiento, también se obtuvo un alto coeficiente de correlación con el área foliar (AF) de 0.86 y se encontró ligeramente relacionado con el contenido de fósforo en hojas con 0.61. Se encontró relación positiva del fósforo con el AF con un coeficiente de 0.64 y negativa con el contenido de potasio K con un coeficiente de de -0.80. El potasio se correlacionó con el contenido de nitrógeno (0.60).

Como ya es conocido, mayor área foliar es favorable para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, lo cual contribuye a obtener mayores rendimientos. La relación que guarda el fósforo con el rendimiento y el área foliar, puede deberse a que las plantas con mayor área foliar son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente (Barraza *et al.*, 2004).

El fósforo es sumamente importante en las reacciones energéticas de la planta tal como la fotosíntesis (Alcántar y Trejo, 2007), por lo tanto, alta actividad fotosintética requiere de alta demanda de este elemento, además, Passam *et al.* (2007) menciona que una adecuada suplementación de fósforo está relacionada con altos rendimientos.

Por otra parte, Hernández *et al.* (2009) en su investigación reportaron que el contenido de nitrógeno y potasio en las hojas de la planta están altamente correlacionadas, incluso plantea que la respuesta de la planta al nitrógeno depende de la dosis de potasio o del potasio presente en el medio de crecimiento.

En los resultados obtenidos se encontró que la materia seca de raíz se encuentra relacionada con el contenido de nitrógeno en hojas y con el volumen de raíz, en los cuales obtuvo coeficientes de correlación de 0.64 y 0.65 respectivamente.

Según Masinde *et al.* (2009), el contenido de nitrógeno en hojas se correlaciona significativamente con su contenido de clorofila, por lo que un alto nivel en los registros de lecturas SPAD, significa un elevado contenido de nitrógeno en hojas que se relaciona con un crecimiento vegetativo vigoroso, puede conducir a una alta actividad fotosintética y por lo tanto

una acumulación de biomasa que a su vez influye en el rendimiento (Castro *et al.*, 2004; Ayala *et al.*, 2011). Lo anterior, no coincidió con los resultados obtenidos ya que no se encontraron las correlaciones mencionadas a excepción del aumento de biomasa en la raíz de la planta.

5.3 Fase 3. Calidad del fruto

5.3.1 Color, diámetro y firmeza de fruto

La comparación de medias no mostró efecto significativo en el color por los tratamientos evaluados en los primeros cuatro racimos (Cuadro 16). No obstante, en el quinto racimo si existieron diferencias significativas entre los tratamientos, específicamente en HUE y CROMA. En cambio en la luminosidad (L) todos los tratamientos por racimo resultaron iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 16. Comparación de medias del color de fruto en los racimos uno y cinco del cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo					
	I			5		
	L	HUE	CROMA	L	HUE	CROMA
T-R ₁	49.448 a	45.297 a	46.374 a	48.28 a	47.255 a	39.618 a
T:VR-R ₁	49.92 a	45.284 a	46.059 a	48.113 a	47.768 abc	39.82 a
T:V-R ₁	49.238 a	45 a	44.412 a	49.37 a	46.435 ab	38.101 ab
TT	49.083 a	44.44 a	45.877 a	47.625 a	41.232 c	40.226 a
T-R ₂	49.531 a	45.621 a	45.425 a	47.753 a	45.979 abc	38.464 ab
T:VR-R ₂	49.261 a	44.703 a	44.513 a	48.908 a	41.682 bc	36.804 b
T:V-R ₂	49.045 a	43.629 a	45.317 a	48.485 a	41.594 bc	39.777 a

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezonitle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezonitle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezonitle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezonitle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezonitle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezonitle vermicomposta volumen 2; TT = Tezonitle testigo.

El valor más elevado en HUE en el quinto racimo, correspondió al tratamiento T-R₁, seguido de T:V-R₁, T-R₂ y T:VR-R₁ sin diferencias significativas entre ellos, mientras que, TT, T:V-R₂ y T:VR-R₂ no mostraron efecto significativo con los valores más bajos respectivamente.

Únicamente en el racimo uno, se observó que los tratamientos regados con el R_1 a excepción de TT resultaron con valores más elevados en HUE, sin embargo, del racimo dos hasta el racimo cinco, de manera general obtuvieron valores más elevados los tratamientos regados con el R_2 ; pero solo en el quinto racimo se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos. Estas evidencias permiten deducir que el riego influyó en el tono (HUE) de color de los frutos.

En la comparación de medias del CROMA, TT obtuvo el valor más elevado, el tratamiento T:VR- R_2 obtuvo el valor más bajo, este fue el único que tuvo efecto significativo con respecto a los demás tratamientos a lo largo del cultivo, esto ocurrió solo en el quinto racimo. De manera general, en el R_2 se obtuvieron los valores más bajos en todos los racimos, caso opuesto a los resultados obtenidos en HUE.

En la Figura 25 se muestra una comparación del color entre un tomate al momento del corte y por visión computarizada. Por medio de esta imagen se tiene una idea más clara de los valores obtenidos en la escala de color L-CH (Luminosidad, CROMA y HUE).

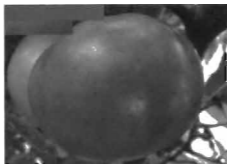


Figura 25. Comparación del color del fruto por visión computarizada (esquina superior) al momento del corte con un tomate por cosechar.

A simple vista es sumamente complicado diferenciar los colores obtenidos del primer racimo con respecto al quinto racimo, en el Cuadro 17 se muestran los colores obtenidos por medio del

programa computacional Office 2013. En este cuadro se puede observar que los colores de los primeros dos racimos son rojos más vivos, más llamativos.

Cuadro 17. Visión computarizada del color del fruto en los tratamientos evaluados al momento del corte y en estado de madurez de consumo del cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Racimo	Corte	T-R ₁	T:VR-R ₁	T:V-R ₁	TT	T-R ₂	T:VR-R ₂	T:V-R ₂
1								
2								
3								
4								
5								

Corte = Al momento del corte; T-R₁ = Tezonile volumen 1; T:VR-R₁ = Tezonile vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezonile vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezonile volumen 2; T:VR-R₂ = Tezonile vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezonile vermicomposta volumen 2; TT = Tezonile testigo.

A partir del racimo cuatro los resultados mostraron rojos opacos, mientras que en el racimo 3 los colores rojos son intermedios entre los antes mencionados. Los colores más opacos corresponden a los tratamientos que tuvieron un HUE menor a 42 y CROMA menor o igual de 40 como se muestra en los tratamientos TT, T:VR-R₂ y T:V-R₂ del quinto racimo (Cuadro 17).

Todos los tomates evaluados sin incluir el color al momento del corte, presentaron color rojo de acuerdo a la carta de color denominada "Tomato color standards U.S.D.A. Visual Aid TM-L-1" (The John Henry Co. MI, USA), la cual, ilustra con 12 fotografías en color los requerimientos de color. Este tipo de herramientas se utilizan con frecuencia para determinar el punto de maduración de los frutos, al respecto, Thai *et al.* (1990) sugirieron utilizar el croma como un

indicador de los estados de madurez del tomate, sin embargo, en los resultados obtenidos, al momento del corte el fruto obtuvo un HUE de 82.601 y CROMA de 28.538, mientras que el color de los frutos maduros de T:VR-R₂ del quinto racimo presentaron HUE de 41.682 y CROMA 36.804, donde existe una notable diferencia de más de 40° en HUE contra 7° en CROMA, por lo tanto este no es un buen indicador del estado de madurez, tal como lo señala López y Gómez (2004). Un HUE de 90° es indicativo de color amarillo puro y CROMA cercano a cero presenta una tendencia al color blanco (García *et al.* 2011). Las evidencias anteriores, indican que los cambios de coloración de amarillo a rojo presentan poca variación en cromas lo que corrobora lo mencionado por Padrón *et al.* (2012).

Los resultados obtenidos fueron similares a los reportados por Sánchez *et al.* (2008), quienes en tomates maduros tipo "Muchamiel, Murciano, Pera y Flor de Baladre" presentaron los ángulos de tono (HUE) de 52.31, 48.92, 48.08 y 40.94; cromas de 39.49, 38.76, 36.89 y 29.53; respectivamente para los 4 tipos. Sin embargo Padrón *et al.* (2012) reportan en sus resultados cuando el tomate alcanzó la coloración de rojo, valores de 80 para HUE y 81 para CROMA, lo que no coincide con los resultados de la presente investigación.

Por otra parte en el diámetro del fruto, los resultados de la comparación de medias nos muestran diferencias significativas entre los tratamientos en todos los racimos (Cuadro 18). Los valores más altos de los primeros tres racimos (R-1, R-2 y R-3) corresponden a los sustratos regados con el R₁, donde el tratamiento T:VR-R₁ obtuvo los parámetros más elevados con la única excepción de T:V-R₂ en el segundo racimo.

Sin embargo, en el cuarto y quinto racimo los tratamientos regados con el R₂ obtuvieron frutos de mayor tamaño, donde en el cuarto racimo (R-4) T:V-R₂ y en quinto racimo (R-5) T-R₂ resultaron ser los tratamientos con frutos más grandes (Cuadro 18). En la Figura 26 se muestra la tendencia antes mencionada, en la cual, inicialmente el R₁ obtuvo los frutos de mayor tamaño, mientras que en los racimos cuatro y cinco, los frutos de mayor tamaño se dieron en el R₂. Esto correspondió a cuando la planta tenía una menor demanda nutricional con respecto a los racimos anteriores.

Cuadro 18. Comparación de medias del diámetro de fruto de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo				
	1	2	3	4	5
	-----mm-----				
T-R ₁	72.55 a	72.43 b	73.23 b	73.58 b	71.18 c
T:VR-R ₁	72.72 a	73.19 b	74.89 a	71.32 c	71.22 c
T:V-R ₁	70.32 b	70.02 c	72.43 bc	71.20 c	74.61 ab
TT	70.35 b	72.32 b	73.62 ab	70.58 c	71.06 c
T-R ₂	67.40 c	68.34 d	71.47 cd	74.63 b	76.37 a
T:VR-R ₂	68.44 bc	66.73 e	71.37 cd	74.49 b	73.81 b
T:V-R ₂	67.58 c	76.61 a	70.84 d	80.19 a	72.59 bc

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

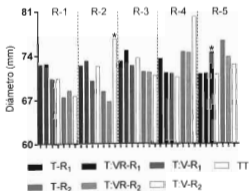


Figura 26. Diámetros de fruto de tomate bola "Zyanya".

De los resultados obtenidos en el diámetro de frutos, se observó que todos los frutos evaluados fueron de calibre de primera en la clasificación de Escobar y Lee (2001). Ellos mencionaron que el diámetro del fruto de primera corresponde de 67 a 82 mm, mientras que de acuerdo a la norma NMX-FF-031-1997 la mayoría de los frutos fueron extra grandes (>70 mm), solo en los primeros dos racimos regados con el R₂ fueron grandes (63 a 71 mm).

Por otra parte, Ardila *et al.* (2011) en su investigación en tomate 'Larga vida' obtuvieron frutos de 60 a 70 mm de diámetro, valores similares a los resultados obtenidos, los cuales, a su vez resultaron por debajo a los reportados por Casierra *et al.* (2007) con diámetros por encima de 80 mm. Aoun *et al.* (2013) utilizaron como testigo tomate comercial 'Marmande VF', el cual, obtuvo diámetros del orden de 90 mm, superior a los 80 mm alcanzados en el cuarto racimo de T:V-R₂. Sin embargo, ellos obtuvieron un peso de fruto de 150 g, bajo con respecto a su diámetro contra 190 g del tratamiento T:V-R₂ del cuarto racimo.

Esto demuestra que la variedad es un factor que influye en el crecimiento de los frutos. Comúnmente se suele denominar crecimiento al aumento de tamaño, sin embargo esto no sucede siempre así, dado que puede darse el crecimiento sin que aumente el tamaño pero si el número de células, por otro lado, también puede haber crecimiento con aumento de tamaño pero disminución del peso (Salisbury y Ross, 2000) como sucedió al comparar los presentes resultados con tomate 'Marmande VF'.

La comparación de medias de la firmeza del fruto en kg cm^{-2} se muestra en el Cuadro 19. De acuerdo a Tukey ($\alpha = 0.05$) de los tratamientos del R₁ en el primer racimo, el tratamiento T-R₁ tuvo efecto significativo positivo con respecto al TT, mientras que los del R₂, resultaron sin diferencias significativas entre ellos incluyendo al TT.

Para el segundo racimo en el R₁, T:V-R₁ resultó sin diferencias significativas comparado con TT y en el R₂ todos los tratamientos tuvieron efecto significativo con respecto al TT. Solo T:V-R₁ y T:V-R₂ obtuvieron valores por debajo de TT.

Cuadro 19. Comparación de medias de la firmeza de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo				
	1	2	3	4	5
	----- kg cm ⁻² -----				
T-R ₁	1.80 a	2.56 a	3.33 b	2.57 cd	3.40 a
T:VR-R ₁	1.33 b	2.06 b	2.07 ef	3.22 a	3.03 b
T:V-R ₁	1.45 b	1.45 ed	2.30 ed	3.18 a	3.43 a
TT	1.37 b	1.61 d	3.57 a	3.05 ab	2.57 c
T-R ₂	1.42 b	2.03 bc	2.50 cd	2.80 bc	3.42 a
T:VR-R ₂	1.21 b	1.87 c	2.57 c	2.90 b	3.20 ab
T:V-R ₂	1.17 b	1.32 e	1.85 f	2.50 d	2.97 b

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

En el racimo tres, existieron diferencias significativas de todos los tratamientos con respecto al TT quien obtuvo los frutos más firmes. En cambio en el racimo cuatro los tratamientos T:VR-R₁, T:V-R₁, T-R₂ y T:VR-R₂ fueron iguales estadísticamente al TT, donde los tratamientos regados con el R₁ obtuvieron los parámetros más altos en dicho racimo. En el último racimo TT obtuvo la firmeza más baja y a su vez, al compararlo con los demás tratamientos, todos estos mostraron efecto significativo, donde los frutos más firmes los obtuvieron T:V-R₁, T-R₂ y T-R₁.

De acuerdo a los resultados obtenidos, llama la atención que la firmeza es mayor conforme se avanza del racimo uno al cinco, este comportamiento se puede observar en la Figura 27.

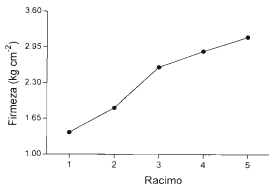


Figura 27. Comportamiento de la firmeza de los frutos de tomate bola 'Zyanya'.

Se compararon los resultados obtenidos con los reportados por Casierra y Aguilar (2008) quienes en tomate 'Marimba, Sofia y Bravona' de tipo comercial cosechados en distintas etapas de maduración, obtuvieron 0.643, 0.701 y 0.688 kg cm⁻² respectivamente. Estos resultados son diferentes a los obtenidos en todos los tratamientos y en todos los racimos, los cuales alcanzaron firmezas de 1.17 a 3.57 kg cm⁻². Estos tampoco concordaron con los resultados obtenidos por Cruz (2010), quien en mezclas de tezontle con vermicomposta evaluó la concentración de solución nutritiva y obtuvo valores de 0.581 a 0.612 kg cm⁻². Este autor, atribuyó las diferencias de mayor firmeza a la vermicomposta, la cual se encontraba en mezcla al 35% con tezontle.

Por su parte Villareal *et al.* (2010) en su estudio en suelo con aplicación de vermicomposta más fertilización química mencionaron que la aplicación de vermicomposta más la fertilización tradicional, mejoraron la firmeza de los frutos. Sin embargo, en el presente estudio esto solo ocurrió en el quinto racimo donde T:V-R₁ obtuvo los frutos más firmes, aunque este no presentó diferencias significativas con T-R₁ y T-R₂ los cuales no contenían vermicomposta. Al respecto Zaller (2007) mencionaron que la aplicación de vermicomposta incrementó la firmeza, aunque esto dependió de la variedad, así como de la cantidad aplicada en el medio de crecimiento, con

lo que se llega a la conclusión de que la vermicomposta al 20% con tezontle no influyó en la firmeza de los frutos.

A pesar de ello, se obtuvieron frutos más firmes que los autores antes mencionados, lo cual se atribuye al riego aplicado, donde en general, en ambos volúmenes y frecuencias de riego obtuvieron frutos de igual y mayor firmeza con respecto al tratamiento testigo a excepción del racimo tres.

5.3.2 Sólidos solubles totales, pH y acidez

Los resultados obtenidos de los sólidos solubles totales (SST) fueron dentro del rango de 3.92 a 5.51, la comparación de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) mostraron diferencias significativas en todos los racimos evaluados.

En los racimos uno, tres y cuatro la concentración de la solución nutritiva tuvo un efecto significativo en esta variable, en los racimos antes mencionados, el tratamiento TT obtuvo el mayor contenido de SST con diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos (Figura 28). En el racimo dos el tratamiento TT solo tuvo diferencias significativas con T:V-R₁ y T:VR-R₂, donde los tratamientos con mayor contenido de SST fueron T-R₁ y T:VR-R₁ sin efecto significativo entre ellos, ambos pertenecientes al R₁. Por otra parte, en el R₂, todos los tratamientos resultaron con menor contenido de SST con respecto al TT (Figura 28).

El único tratamiento sin diferencias significativas en comparación con TT en el racimo cinco, fue T-R₂, los demás tratamientos tuvieron diferencias significativas con respecto al TT. Los tratamientos que resultaron con valores encima de TT fueron T-R₁, T:V-R₁, T:VR-R₂ y T:V-R₂. En general el contenido de SST del R₁ en el quinto racimo fue mayor que los regados con el R₂.

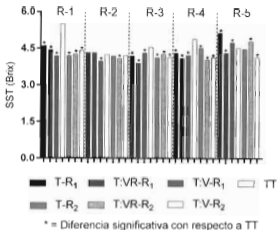


Figura 28. Comparación de medias de los SST de los tratamientos con respecto al tratamiento testigo en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

Rodríguez *et al.* (2013) reportaron en tezontle y tezontle reutilizado de primera y segunda reutilización en tomate Saladet SUN 7705 que no encontró diferencias significativas en el contenido de SST con valores de 4.09, 3.95 y 4.25 respectivamente, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación. Peña *et al.* (2013) en un híbrido Victoria (Sygenta) en cascarilla mezclada con escoria de carbón, obtuvieron de 4.6 a 5.2 de SST lo que concuerda con los resultados aquí presentados. Sin embargo, estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Aoun *et al.* (2013), quienes en suelo, obtuvieron valores de 2.47 a 4.75 en SST.

Por otra parte, Moreno *et al.* (2005) evaluaron la vermicomposta pura y a diferentes proporciones con arena en tomate "Hora-Dada", y obtuvo en sus resultados valores en SST por encima de 5.12 hasta 6, cabe mencionar que los valores más elevados correspondieron cuando la vermicomposta se encontraba entre el 25 y 50% como componente sustrato. Preciado *et al.* (2011) en tomate Saladet "El Cid" en tierra de río como sustrato, y soluciones nutritivas de

Steiner, te de composta, te de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, obtuvieron 4.10, 4.50, 4.40 y 4.60 respectivamente, estos valores son similares a los obtenidos en la presente investigación, sin embargo no coincide su tratamiento evaluado con solución de Steiner con respecto a TT.

De acuerdo a Preciado *et al.* (2011), el contenido de SST para el consumo en fresco de un tomate de calidad debe ser mayor a 4, todos los tratamientos evaluados a excepción de T-VRR₁ en el tercer racimo son aptos para su consumo en fresco como tomates de calidad, sin embargo, no todos son aptos para la industria de procesos, ya que según Díez (2001), el contenido de SST debe estar entre 4.5 y 5.5.

Este rango puede variar de acuerdo a distintos autores, por ejemplo; Aoun *et al.* (2013) mencionó que todos sus tomates evaluados podrían ser utilizados en la industria los cuales se encontraban en un rango de 2.47 a 4.75, mientras que Giordano *et al.* (1994) reportaron de 4.59 a 6.57 para su utilización en la transformación del tomate. Sin duda alguna el margen será establecido por la industria procesadora encargada de transformar el tomate.

El efecto de la concentración nutritiva en los racimos uno, tres y cuatro con mayor contenido de sólidos solubles totales (Figura 28) se puede explicar por el efecto que tiene la conductividad eléctrica de la concentración de solución nutritiva, Navarro *et al.* (2012) en tomate obtuvieron valores similares de SST a los presentados en esta investigación de 3.5 a 5.4, ellos atribuyen los parámetros más elevados al agua de riego que tenía una mayor CE, lo cual produce una reducción del flujo de agua hacia el fruto. Al respecto, Plaut *et al.* (2004) y Goykovic y Saavedra (2007) mencionaron que la mayor acumulación de sólidos solubles en el fruto pudiera deberse a una menor absorción y acumulación de agua por los frutos, y para superar este problema los frutos acumulan solutos orgánicos como azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), con lo que se logra disminuir el potencial osmótico, para así facilitar la absorción de agua en los frutos. Esto da a entender que el volumen y frecuencia de riego es un factor que influye en el contenido de sólidos solubles totales. González y Ruz (1999) señalan que el porcentaje de SST disminuye cuando se aumenta el suministro de agua, sin embargo en los resultados presentados, no se

observa una tendencia clara en el contenido de SST entre ambos riegos (R_1 y R_2), lo cual se puede explicar a que las plantas evaluadas no presentaban síntomas de estrés hídrico que pudieran inducir a la acumulación de solutos antes mencionada.

Otro factor en el cual se ha encontrado que impacta en el contenido de sólidos solubles totales, es el estado de madurez en el que han sido cosechados, autores como Casierri y Aguilar (2008) y Casierri *et al.* (2007) mencionaron que el hecho de cosechar los frutos de tomate en grados tempranos de maduración afecta el contenido de SST cuando los frutos alcanzan el grado de madurez de consumo, los cuales resultan menores que cuando el corte se realiza en tomates completamente rojos. Todos los tomates evaluados en la presente investigación se cortaron en el mismo estado de madurez de acuerdo al color.

Por otra parte, el pH de los frutos se mantuvo por encima de 4 en todos los racimos evaluados (Cuadro 20). El pH más elevado fue de 4.5, el rango de diferencia no resultó ser alto, sin embargo, existieron diferencias significativas entre los tratamientos en todos los racimos.

Cuadro 20. Comparación de medias del pH de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo				
	1	2	3	4	5
T- R_1	4.34 c	4.39 bc	4.28 ab	4.19 d	4.15 c
T:VR- R_1	4.50 a	4.35 cb	4.30 ab	4.21 bcd	4.27 a
T:V- R_1	4.38 bc	4.40 bc	4.26 b	4.27 a	4.15 c
TT	4.36 bc	4.42 ab	4.33 a	4.24 abc	4.23 a
T- R_2	4.28 d	4.33 c	4.18 c	4.19 d	4.17 bc
T:VR- R_2	4.41 b	4.48 a	4.31 ab	4.25 ab	4.24 a
T:V- R_2	4.42 b	4.37 bc	4.31 ab	4.21 cd	4.22 ab

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T- R_1 = Tezontle volumen 1; T:VR- R_1 = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V- R_1 = Tezontle vermicomposta volumen 1; T- R_2 = Tezontle volumen 2; T:VR- R_2 = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V- R_2 = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

Dentro de los tratamientos del R₁ en el primer racimo, T-R₁ y T:V-R₁ no tuvieron efecto significativo con TT, mientras que T:VR-R₁ obtuvo diferencias significativas con respecto a TT, T:VR-R₁ y T:V-R₁ con el pH más elevado. En el R₂, los pH más altos correspondieron a los tratamientos T:VR-R₂ y T:V-R₂ sin diferencias significativas entre sí, tampoco con TT, sin embargo, estos no fueron mayores a T:VR-R₁ con efecto significativo con respecto a los demás tratamientos. T-R₂ obtuvo el pH más bajo de todos los tratamientos (Cuadro 20).

En los racimos dos y tres, el tratamiento TT resultó sin diferencias significativas con T-R₁, T:VR-R₁, T:VR-R₂ y T:V-R₂, donde T:V-R₂ obtuvo el pH más elevado. En el racimo dos TT únicamente fue diferente estadísticamente a T-R₂, mientras que el racimo tres, TT tuvo diferencias significativas con T:V-R₁ y T-R₂, ambos con valores menores con respecto a TT.

El tratamiento TT en el racimo cuatro, únicamente fue distinto significativamente a T-R₁ y T-R₂, mientras que en el quinto racimo los tratamientos que resultaron con diferencias significativas, estos con pH menores fueron T-R₁, T:V-R₁, T-R₂ y T:VR-R₂ con respecto a TT. Cabe mencionar que en la mayoría de los racimos a excepción del uno, el TT se mantuvo dentro de los valores más elevados.

El pH de los frutos fue en decremento conforme se avanzó a la evaluación de cada racimo, esto se puede visualizar en la Figura 29, donde en el racimo uno, en general, se encuentran los pH más elevados, al final se obtiene un pH menor en el último racimo evaluado con respecto al primero. Este comportamiento sucedió en todos los tratamientos, cabe mencionar que no existieron grandes diferencias del primer racimo con respecto del quinto, sin embargo los resultados nos arrojaron dicha tendencia.

En el porcentaje de acidez en ácido cítrico, se obtuvieron resultados de 0.36 a 0.535%, el contenido mayor en este, se presentó en los racimos cuatro y cinco. No obstante desde el racimo tres se apreció mayor efecto de los tratamientos (Cuadro 21).

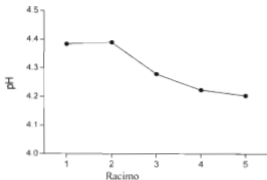


Figura 29. Comportamiento del pH del fruto en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

En el Cuadro 21 se puede observar que los tratamientos no tuvieron ningún efecto positivo en los primeros dos racimos con respecto al tratamiento TT, este obtuvo los parámetros más elevados. En el tercer racimo T-R₂ resultó tener mayor contenido de ácido cítrico, sin embargo no tuvo diferencias significativas con T-R₁, T-R₂ T:VR-R₂ y estos a su vez fueron iguales estadísticamente con TT quien presentó de los valores más altos.

En los racimos cuatro y cinco se obtuvieron diferencias significativas con valores por encima de TT, en el cual destacaron los tratamientos T:VR-R₂, T-R₁, T-R₂ y T:VR-R₁, estos en el racimo cuatro, mientras que en el racimo cinco fueron TR₁, T-VR₁, T-VRR₂ y T-VR₂.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el volumen y frecuencia de riego tuvieron efecto significativo en el pH y porcentaje de acidez, la diferencia del contenido de ácido cítrico entre los tratamientos se puede apreciar en la Figura 30.

Llama la atención que la tendencia del contenido de ácido cítrico no se presentó como en el pH, a diferencia de este, el contenido de ácido cítrico fue en aumento con los valores más bajos en el primer racimo y mayores en el último racimo (Figura 30), lo cual es el comportamiento inverso con respecto a la tendencia del pH (Figura 29).

Cuadro 21. Comparación de medias del porcentaje de acidez medido en ácido cítrico de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo				
	1	2	3	4	5
T-R ₁	0.360 a	0.375 b	0.401 abc	0.501 ab	0.535 a
T:VR-R ₁	0.370 a	0.375 b	0.382 bc	0.473 bc	0.389 d
T:V-R ₁	0.330 b	0.375 b	0.354 c	0.438 cd	0.516 a
TT	0.370 a	0.403 a	0.406 ab	0.427 d	0.424 cd
T-R ₂	0.360 a	0.375 b	0.438 a	0.490 ab	0.452 bc
T:VR-R ₂	0.370 a	0.375 b	0.396 abc	0.532 a	0.501 ab
T:V-R ₂	0.370 a	0.375 b	0.375 bc	0.375 e	0.487 ab

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

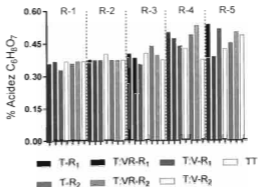


Figura 30. Contenido de ácido cítrico en porcentaje de los tratamientos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

Sin embargo, este comportamiento pudo deberse a que los últimos racimos fueron evaluados en un estado de madurez distinto de acuerdo a los resultados obtenidos en la madurez del fruto, los cuales se presentan más adelante.

Los resultados obtenidos de los tratamientos en pH concuerdan con los valores reportados por Vázquez *et al.* (2015) en tomate Saladette, quienes obtuvieron de 4.13 a 4.45 mientras que en la presente investigación fueron de 4.15 a 4.5. Sin embargo, en la acidez titulable en % de ácido cítrico en dicha investigación publicaron un contenido de ácido cítrico de 0.24 a 0.32%, el cual resultó por debajo de los resultados presentados en esta investigación donde se obtuvieron valores dentro del rango de 0.33 a 0.535%.

Por su parte, Moneruzzaman *et al.* (2009) en tomate Roma VF evaluó el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento en tomates en distintos estados de madurez, en un tratamiento comparable con los de la presente investigación obtuvo un pH de 4.170 y 0.438% de ácido cítrico lo que concuerda con los parámetros aquí reportados, no obstante, no sobrepasó los valores obtenidos.

San Martín *et al.* (2012) al evaluar diferentes granulometrías en tezontle con polvo y fibra de coco en tomate, reportó pH y acidez titulable de 4.76 a 4.86 y de 0.594 a 0.658% en ácido cítrico respectivamente. Estos resultados superan a los reportados en esta investigación, donde los parámetros más elevados no alcanzan a los parámetros más bajos publicados por este autor. Estas variaciones probablemente pudieron deberse a lo mencionado por Sánchez *et al.* (2013), quienes mencionan que al igual que en los sólidos solubles totales, el incremento del pH y del porcentaje de acidez se ve influenciado por la salinidad por lo que se puede aprovechar esta condición en la calidad del fruto.

5.3.2.1 Índice de sabor y madurez

La comparación de medias del índice de sabor resultó con diferencias significativas en todos los racimos (Cuadro 22). No obstante, los resultados obtenidos fueron de 0.897 a 1.022, solo 0.125 de diferencia. Del primer al tercer racimo el tratamiento testigo se mantuvo dentro de los índices más elevados sin diferencias significativas entre los valores más altos, en el cuarto racimo todos los tratamientos resultaron ser diferentes a TT, el cual obtuvo el mayor índice de sabor con 1.005 y en el quinto racimo al igual que en el primero T-R₁ destacó sobre los demás tratamientos con el valor más alto. El tratamiento TT en el quinto racimo con 0.962 obtuvo diferencias significativas con T-R₁, T:V-R₁ y T:VR-R₂, todos ellos con valores por encima a TT (Cuadro 22).

Cuadro 22. Comparación de medias del índice de sabor de los frutos de los tratamientos en cada racimo en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamiento	Racimo				
	1	2	3	4	5
T-R ₁	1.000 a	0.952 a	0.932 bcd	0.940 bc	1.022 a
T:VR-R ₁	0.970 ab	0.952 a	0.897 d	0.912 d	0.947 d
T:V-R ₁	0.962 ab	0.907 c	0.972 a	0.922 cd	0.982 b
TT	0.977 ab	0.930 abc	0.970 ab	1.005 a	0.962 c
T-R ₂	0.947 b	0.935 ab	0.912 cd	0.955 b	0.955 cd
T:VR-R ₂	0.945 b	0.920 bc	0.937 abc	0.915 cd	0.982 b
T:V-R ₂	0.967 ab	0.937 ab	0.930 cd	0.930 bcd	0.917 e

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezontle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezontle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezontle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezontle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezontle vermicomposta volumen 2; TT = Tezontle testigo.

Por otra parte, en la comparación de medias de la madurez de los frutos de los tratamientos se obtuvieron diferencias significativas en todos los racimos (Cuadro 23). En los racimos uno, tres, cuatro y cinco, TT resultó estar dentro de los frutos más maduros. En el racimo uno ningún tratamiento tuvo diferencias significativas con TT, en el tercer racimo el único que presentó diferencias significativas con TT fue T-R₂, el cual de acuerdo a los resultados tenía menor grado

de madurez. En el cuarto racimo TT presentó el valor más alto junto con T:V-R₂ sin diferencias significativas, mientras que los demás resultaron diferentes estadísticamente con respecto a estos. En el quinto racimo únicamente T:V-R₁ y T:V-R₂ obtuvieron diferencias significativas con TT, los demás tratamientos no tuvieron efecto significativo con respecto a TT.

Cuadro 23. Comparación de medias de la madurez de los frutos de los tratamientos en cada racimo en cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Ciclo invierno 2013-2014.

Tratamientos	Racimos				
	1	2	3	4	5
T-R ₁	12.80 a	11.59 a	10.59 bc	8.69 c	9.70 bcd
T:VR-R ₁	11.85 abc	11.59 a	10.28 bc	8.79 bc	11.19 a
T:VR ₁	12.59 ab	10.66 bc	12.35 a	9.70 b	9.29 cd
TT	12.03 abc	10.60 c	11.30 ab	11.53 a	10.73 ab
T-R ₂	11.69 bc	11.22 abc	9.50 c	9.29 bc	10.05 abc
T:VR-R ₂	11.41 c	10.96 abc	10.87 abc	7.68 d	9.64 bcd
T:V-R ₂	11.81 abc	11.29 ab	11.14 abc	11.12 a	8.60 d

Medias con misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T-R₁ = Tezonitle volumen 1; T:VR-R₁ = Tezonitle vermicomposta reutilizada volumen 1; T:V-R₁ = Tezonitle vermicomposta volumen 1; T-R₂ = Tezonitle volumen 2; T:VR-R₂ = Tezonitle vermicomposta reutilizada volumen 2; T:V-R₂ = Tezonitle vermicomposta volumen 2; TT = Tezonitle testigo.

Al respecto, Hernández *et al.* (2007) en tomates comerciales "Dorothy, Boludo, Thomas, Dominique y Dunkan" y otras cultivadas de forma intensiva, orgánica e hidropónica reportaron resultados en el índice de sabor de 0.94 a 1.07 y de 9.00 a 11.7 en madurez. Ambos resultados concuerdan con los obtenidos en la presente investigación con rangos de 0.89 a 1.02 en el índice de sabor y de 8.60 a 12.80 en la madurez.

En general, el promedio del contenido de sólidos solubles totales en tomate es de 4.6 ± 0.9 y de 0.50 ± 0.09 para ácido cítrico (Hernández *et al.*, 2007b), con estos valores se obtiene fácilmente una relación (índice de sabor) mayor a 0.85, el cual es un indicador de que un tomate está delicioso, mientras que menores de 0.7 tienen un sabor muy ligero o desabrido (Hernández *et al.*, 2007).

Todos los tomates evaluados presentaron un índice de sabor mayor a 0.85, incluso algunos tratamientos alcanzaron valores mayores o iguales a uno, lo cual indica que tenían muy buen sabor. La madurez del fruto no influyó para que estos presentaran valores menores a 0.85. Esto pone en evidencia que la evaluación de los SST y el ácido cítrico se encontraban en un grado de madurez homogéneo, a pesar de que esto dependió del color que presentó.

5.3.3 Pérdida de peso

Se encontró que ningún tratamiento tuvo diferencia significativa a los 6 y 18 días con respecto a TT. A los seis días después del corte, la pérdida de peso fue de 4.25% a 5.35% (Figura 31) donde T-R₂, T:V-R₂, T:VR-R₁ y TT presentaron menor pérdida de peso respectivamente sin diferencias significativas entre ellos. A los 12 días, T-R₂ fue el único tratamiento que obtuvo diferencias significativas con todos los tratamientos a excepción de T:V-R₂, mientras que a los seis, 12 y 18 días T-R₂ y T:V-R₂ se mantuvieron con la menor pérdida de peso.

No obstante, ningún tratamiento fue estadísticamente diferente a TT, el cual, a lo largo de la evaluación junto con T-R₂ y T:V-R₂ presentaron la menor pérdida de peso con respecto a los demás tratamientos. Estos resultados aseveraron el efecto que tuvo el R₂, donde a mayor volumen y menor frecuencia de riego en tezontle y mezcla de tezontle con vermicomposta, se obtuvo menor pérdida de peso lo que se ve reflejado en frutos con mayor calidad postcosecha. Por otra parte, también se observó en los resultados de todos los tratamientos, que el fruto de tomate bola 'Zyanya' tuvo mayor pérdida de peso en los primeros seis días (Figura 32), los valores oscilaron dentro del rango de 6.25 a 8.25 g. Los siguientes seis y 12 días (a los 12 y 18 días después del corte) perdió de 3.33 a 4.83 g en el mismo lapso de tiempo (seis días), aunque tiene tendencia a perder menos peso conforme se acerca a la senescencia del fruto. Esto se puede visualizar en la Figura 32.

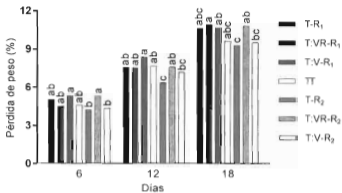


Figura 31. Comparación de medias de la pérdida de peso de los frutos en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'.

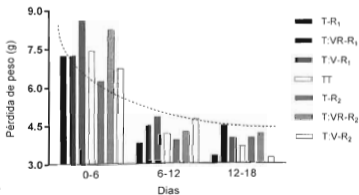


Figura 32. Pérdida de peso de tomate bola 'Zyanya' en tres lapsos de tiempo de seis días.

En su investigación Cruz (2010) en tomate, utilizó mezclas de tezontle con vermicomposta y obtuvo pérdidas de peso sin incluir un tratamiento regado solo con agua de 2.5 a 3.5%, 5.5 a 6.5% y 7.5 a 9% a los seis, 12 y 18 días de almacenamiento respectivamente. Estos resultados fueron menores a los obtenidos en la presente investigación con rangos de 4.25% a 5.35%, 6.42 a 8.47% y 9.44% a 11.06% en los mismos días de evaluación. Casierra y Aguilar (2008) al evaluar la cosecha en diferentes estados de maduración, mencionaron que los frutos pierden menor peso cuando estos son cosechados en etapas más tardías de maduración ya que en tomates cosechados 100% rojos solo perdieron 7.4% desde su recolección mientras que los recolectados en etapas tempranas de madurez perdieron de 9.1 a 9.9% que aun así perdieron menos peso que los resultados obtenidos. Esto puede deberse a las condiciones de almacenamiento de los frutos puesto que ellos los almacenaron a 15 ± 2 °C (reportado como temperatura ambiente).

Por otra parte, Riquelme (1999) menciona que la pérdida de peso de fruto para su comercialización no debe exceder 7% de su peso original, por lo tanto, los resultados de la presente investigación señalan que solo hasta los 12 días pueden ser comercializados. Por esta razón se utiliza el almacenamiento a bajas temperaturas para prolongar la pérdida de peso en los frutos (Navarro *et al.*, 2012).

5.3.4 Actividad antioxidante, fenoles totales y vitamina C

Se encontró en los resultados de actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales, que el R₂ obtuvo los parámetros más elevados en ambas determinaciones, esto se puede observar claramente en la Figura 33 y 34.

En la actividad antioxidante existieron diferencias significativas entre los tratamientos, incluso la diferencia entre ambos riegos es más que evidente (Figura 33). T-R₂ y T:V-R₂ tuvieron diferencias significativas y estos a su vez, fueron diferentes significativamente con TT (311.81 $\mu\text{mol ET L}^{-1}$) con valores por encima de este, 360.29 $\mu\text{mol ET L}^{-1}$ para T:V-R₂ y 412.69 $\mu\text{mol ET L}^{-1}$ para T-R₂ quien obtuvo mayor actividad antioxidante con respecto a los demás tratamientos. T-R₁ y T:VR-R₂ no tuvieron efecto significativo con el testigo, mientras que T:VR-R₁ y T:V-R₁ obtuvieron menor actividad antioxidante y mostraron diferencia significativa con TT.

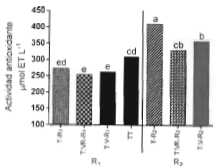


Figura 33. Comparación de medias de la actividad antioxidante del fruto de tomate bola 'Zyanya'.

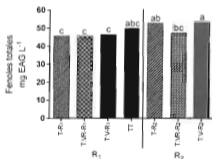


Figura 34. Comparación de medias de fenoles totales del fruto de tomate bola 'Zyanya'

Por otra parte, los resultados de los compuestos fenólicos totales no mostraron efecto significativo de ningún tratamiento con respecto a TT, sin embargo, T-R₂ y T:V-R₂ ambos pertenecientes al R₂, obtuvieron un mayor contenido de compuestos fenólicos sin diferencias

significativas entre ellos, aunque si tuvieron efecto significativo con T-R₁, T:VR-R₁ y T:V-R₁, todos estos pertenecientes al R₁ (Figura 34).

A diferencia de la actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales, en la vitamina C (ácido ascórbico) el mayor contenido lo tuvieron T-R₁ y TT ambos con el volumen de R₁, sin embargo, estos no tuvieron diferencias significativas con T-R₂ y T:VR-R₂ y estos a su vez, no tuvieron efecto significativo con T:V-R₁ y T:V-R₂ mientras que T:VR-R₁ fue el que menos vitamina C obtuvo (Figura 35).

Únicamente existió efecto significativo de los tratamientos con respecto a TT en la actividad antioxidante y vitamina C, sin embargo, en los compuestos fenólicos se muestra una tendencia similar a la actividad antioxidante como se mencionó anteriormente pero sin diferencias significativa de los tratamientos en comparación con TT.

Al respecto, Pillakenchapa *et al.* (2013) en sus resultados encontraron una fuerte correlación de la actividad antioxidante con los compuestos fenólicos totales, donde a mayor actividad de capacidad antioxidante es mayor el contenido de compuestos fenólicos. Esto concuerda con los resultados obtenidos donde T-R₂ y T:V-R₂ obtuvieron los valores más elevados en ambas variables.

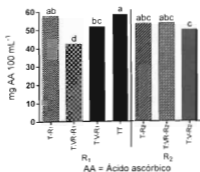


Figura 35. Comparación de medidas de vitamina C del fruto de tomate bola 'Zyanya'.

Por otra parte, es bien conocido que dos de los factores ambientales que influyen en el valor nutricional del tomate son la luz y la temperatura, por ejemplo, se ha demostrado que los tomates expuestos a la luz resulta favorable para la síntesis de vitamina C (Dumas *et al.*, 2003; Raffo *et al.*, 2006), sin embargo, todos los tomates analizados se mantuvieron en las mismas condiciones ambientales y de acuerdo a los resultados obtenidos, se asumió que el riego influyó significativamente en la actividad antioxidante, compuestos fenólicos y vitamina C, poniendo en manifiesto su consideración para la calidad del tomate bola 'Zyanya' en cuanto a su contenido de compuestos bioactivos.

6. CONCLUSIONES

El volumen y frecuencia de riego óptimo de tomate bola 'Zyanya' de acuerdo a la capacidad de retención de agua del tezontle con 20% de lixiviación fue de 6284.75 m³ ha⁻¹ distribuido de acuerdo a la necesidad hídrica de la planta de dos a 15 riegos. Mientras que el volumen y frecuencia de riego óptimo con base a la capacidad de retención de humedad de la mezcla tezontle - vermicomposta en proporción 80:20 respectivamente con 20% de lixiviación fue de 6768.75 m³ ha⁻¹ distribuido de dos a 10 riegos.

Ambos volúmenes y frecuencias de riego son adecuados para la producción de tomate bola 'Zyanya', en estos, se obtuvo mayor altura, diámetro de tallo, área foliar, biomasa y rendimiento en comparación con el tratamiento testigo.

La concentración de solución nutritiva Steiner al 80% fue suficiente para obtener un buen crecimiento, desarrollo, contenido nutrimental y altos rendimientos de la planta de tomate bola 'Zyanya'.

El contenido de vermicomposta en proporción 80:20 tezontle-vermicomposta respectivamente contribuyó con plantas más altas y diámetros de tallo de mayor grosor. En dicha proporción, no fue suficiente para influir de forma notoria en las variables evaluadas con respecto a los demás tratamientos.

El volumen de 6284.75 m³ ha⁻¹ y frecuencia de 15 riegos en función de la capacidad de retención de agua del tezontle (menor volumen y mayor frecuencia), promovió frutos con más firmeza, mayor homogeneidad en el tamaño de frutos (>70) y frutos con mejor sabor.

El volumen de 6768.75 m³ ha⁻¹ y frecuencia de 10 riegos en función de la capacidad de retención de agua de la mezcla tezontle-vermicomposta 80:20 (mayor volumen y menor frecuencia), influyó de forma positiva con menor pérdida de peso de fruto y promovió mayor actividad antioxidante y mayor contenido de fenoles totales.

La concentración de la solución nutritiva Steiner al 100% influyó positivamente en la pérdida de peso y SST, ya que el tratamiento testigo obtuvo menor pérdida de peso y mayor contenido de sólidos solubles totales.

El contenido de vermicomposta en proporción 80:20 (tezontle – vermicomposta), no influyó en el aumento de la calidad postcosecha del fruto de tomate bola 'Zyanya'.

El volumen y frecuencia de riego influyó en la calidad postcosecha del fruto de tomate bola 'Zyanya', en ambos riegos aplicados los frutos obtuvieron la calidad adecuada.

El volumen y frecuencia de riego en función de la retención de agua del tezontle y el sustrato de primera reutilización (T:VR-R₁) fue el mejor tratamiento en el crecimiento y calidad del fruto en el cultivo de tomate bola 'Zyanya'. Obtuvo mayor rendimiento con más de 19 toneladas de diferencia con respecto a TT. Presentó un buen crecimiento, desarrollo, y contenido nutrimental, obtuvo mejor uso eficiente del agua, menor pérdida por lixiviación lo que propició a que la planta en su medio de crecimiento consumiera mayor cantidad de agua, se redujeron costos de producción por ser material reciclado, además, los frutos obtuvieron parámetros de calidad postcosecha dentro de los estándares encontrados en la literatura.

7. LITERATURA CITADA

- Abad, B., Noguera, M. and Carrión, B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelos. En Urrestarazu, G. Cultivo sin suelo. Ed. Mundi Prensa, Madrid España. p. 113-158.
- Agius, F., González L., Caballero J., Muñoz J., Botella M. and Valpuesta, V. 2003. Engineering increased vitamin C levels in plants by overexpression of a D-galacturonic acid reductase. *Nature Biotechnol.* 21:177-181.
- Alam, M., Rahman, M., Mamun, M., Ahmad, I. and Islam, K. 2006. Enzyme activities in relation to sugar accumulation in tomato. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences* 43:241-248.
- Albiac, J. y Tapia J. 2004. El modelo para el análisis del sector agrario: Necesidades hídricas de los cultivos. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. <http://www.habitat.aq.upm.es/boletin/n27/ajalb4.htm>.
- Al-Omran, A., Al-Harbi, A., Wahb, A., Nadeem, M. and Al-Eter, A. 2010. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in Sandy calcareous soil. *Turkish Journal of Agriculture Forestry* 34:59-73.
- Ardila, R., Fischer, G. y Balaguera, L. 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 5:44-56.
- Alcántar G. G. y Trejo, T. L. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa, México. Colegio de Postgraduados. p. 2-4.
- Aguilera C., M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua suelo planta atmosfera. Cuarta edición corregida. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 256 p.
- Ansorena M. J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- AOAC, 1995. Official methods of analysis. Association of Oficial Analytical Chemists. Washington, DC, USA.
- Aoun, B., Lechiheb, B., Benyahya, L. and Ferchichi, A. 2013. Evaluation of fruit quality traits of traditional varieties of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Tunisia. *African Journal of Food Science* 7:350-354.

- Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C., Arancon, N. and Metzger, J. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84:7-14.
- Ávalos G. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie fisiología vegetal* 2:119-145.
- Ayala T. F., Zatarain, L. D., Valenzuela L. M., Partida R. L., Vázquez A. T., Díaz V. T. y Osasuna S. J. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombras. *Terra Latinoamericana* 29:403-410.
- Azcon J., Talón M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal, segunda edición.* Interamericana, McGraw-Hill. Madrid, España.
- Baixauli S. C. y Aguilar O. J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas, aspectos prácticos y experiencias. *Generalitat Valenciana. Conselleria de Pesca y Alimentación.* p. 11-13.
- Balibrea M., Martínez C., Cuartero J., Bolarin M. and Pérez, F. 2006. The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. *Function Plant Biology* 33:279-288.
- Bao, B., Ke, L., Jiang, J. and Ying, T. 2007. Fruit quality of transgenic tomatoes with suppressed expression of LeETR1 and LeTR2 genes. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition* 16:122-126.
- Betancourt P. y Pierre F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casa de cultivo en Quibor, Estado Lara. *Bioagro* 25:181-188.
- Barraza F., Fischer, G. y Cardona C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana.* 22:81-90.
- Bastida A. 1999. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, México. 72 p.
- Bastida T. 2002. Sustratos hidroponicos. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Batu A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal Food Engineering* 61:471-475.
- Bauchet G. and Causse, M. 2012. Genetic Diversity in Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Its Wild Relatives. Chapter 8. p 134-162. *Unité de Genetique et Amélioration des Fruits et Légumes, Francia.*
- Beckles, D. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63:129-140.
- Betancourt P. y Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casas de cultivo en Quibor, Estado de Lara. *Bioagro* 25: 181-188.
- Bures S. 1997. 1997. *Sustratos. Ediciones agrotécnicas S.L. Madrid.*
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. and Berdot, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technology* 28:25-30.
- Brumell, D. 2006. Cell Wall disassembly in ripening fruit. *Function Plant Biology* 33:103-119. In: Seymour, G., Chapman, N., Chew, B. and Ross, J. 2013. Regulation of ripening and opportunities for control in tomato and other fruits. *Plant Biotechnology Journal* 11:269-278.
- 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.
- Cadahia, L. 2000. *Fertirrigación cultivos horticolas y ornamentales. 2da edición. Ed. Mundi-Prensa, México. p. 67-69.*
- Canellas, L., Olivares, F., Okorokova, F. and Facanha, A. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol* 130:1951-1957.
- Cantwell, M. 2004. *Fresh Market Tomato. Statewide Uniform Variety Trial Report Field and Postharvest Evaluations. Universidad de California. South San Joaquin Valley. EE.UU.*
- Casierra P. F., Constanza C. M. y Cárdenas, H. J. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25:299-305.

- Casierra P. F. y Aguilar V. O. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26:300-307.
- Casierra P. y Cardozo M. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Quindío) cultivado a campo abierto. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 62:4815-4822.
- Castellanos J. Z. y P. Vargas T. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. En: *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. J. Z. Castellanos (ed). 2a edición, INTAGRI. México. p. 124-150.
- Castro B. R., Galvis S. A., Sánchez J. P., Peña L. A., Sandoval V. M. y Alcántar G. G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Series Horticolas* 10:147-152.
- Causse, M., Saliba, C., Lecomte, L., Duffé, P., Rousselle, P., Buret, M. 2002. QLT analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany*, vol. 53, núm. 377.
- Cerón S., Higuaita V. y Cardona A. 2011. Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. *Vector* 5:17 – 26.
- Chang Q., Fang X., Wu X., Mao Y., Wang L. and Chen X. 2012. Transcriptional regulation of plant secondary metabolism. *Journal of Integrative Plant Biology* 54:703-712.
- Chen F. y Foolad, M. 1999. A molecular linkage map of tomato based on a cross between *Lycopersicon esculentum* and *L. pimpinellifolium* and its comparison with other molecular maps of tomato. *Genome* 42:94-103.
- Christen, Y. 2000. Oxidative stress and Alzheimer's disease. *American Journal Clinical Nutrition* 71:621-629.
- Coronel J. y Castillo P. 2009. Alternativas de mejora en el manejo postcosecha de tomate riñón cultivado en la provincia de Santa Elena. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
- Cruz C. E., A. Can C., M. Sandoval V., R. Bugarín M., A. Robles B. y P. Juárez L. 2013. - Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2:17-26.
- Cueto M. 2010. Determinación del Efecto Inhibitorio del Aceite Esencial y Diferentes Extractos de orégano (*Lippia berlandieri schauer*) Sobre el Crecimiento de *Fusarium oxysporum* tanto

- in Vitro como en Plántula de Tomate. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo Leon, México D.F., México.
- Darwin, H. P. 2005. Postharvest physiology of fresh-cut tomato slices. University of Queensland, Australia. Tesis de Doctorado.
- Dávila A., González A., Ayala Z., Sepúlveda D. y Olivas I. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:133-143.
- Del Amor M. y Del Amor F. 2007. Response of tomato plants to deficit irrigation under Surface or subsurface drip irrigation. *Journal of Applied Horticulture* 9: 97-100.
- De la Cruz L., Estrada B., Robledo T., Osorio O., Márquez H. y Sánchez H. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25:59-67.
- Díaz M. B., M. Rodríguez P. y L. Torrez H. 2013. Respuesta en el crecimiento y rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) var. Vyta a la aplicación de diferentes dosis de FitoMas-E. *Centro Agrícola* 40:25-30.
- Diez N. M. 2001 Tipos varietales. En: Nuez F., Rodríguez A., Tello J., Cuartero J. y Segura B. 2001. El cultivo del tomate, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. p. 93-129.
- Dodd, L. C., Theobald, J. C., Richer, S. K. and Davies, W. J. 2009. Partial phenotypic reversion of ABA-deficient *flacca* tomato (*Solanum lycopersicum*) scions by a wild-type rootstock: normalizing shoot ethylene relations promotes leaf area but does not diminish whole plant transpiration rate. *Journal of Experimental Botany*.
- DOF, 1997. NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Especificaciones. Non industrialized food products for human consumption. Fresh vegetable. Tomato. (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Specifications. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- DOF, 2008. Diario Oficial de la Federación. NMX-FF-109-SFC1-2008. Humus de lombriz (Lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba.
- Domínguez J. y Pérez, L. 2010. *Eisenia Fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia Andrei* Bouché 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta Zoológica (n.s), Número especial* 2:321-331.

- Dragster, L. 2003. Antioxidant actions of polyphenols in human. *International Journal Vitamin Nutrition Research* 22:1839-1851.
- Duan, L., Chen T., Li M. Chen M., Zhou Y., Cui G., Zhao A., Jia W., Huang L. and Qi X. 2012. Use of metabolomics approach to characterize Chinese medicinal material Huanqi. *Mol. Plant* 5:376-386.
- Dumas Y., Dadomo, M. and Di LuccaGandGrolier, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal Sciences Food Agricultural* 83:369-382. In: Leyva R., Constán A. C., Begoña B., Sánchez R. E., Romero L., Soriano T. and Ruiz J. M. 2013. Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean screenhouse. ([wileyonlinelibrary.com](http://www.wileyonlinelibrary.com)) DOI 10.1002/jsfa.6191.
- Escalona C., Alvarado V., Monardó M., Urbina Z. y Martin B. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Nodo Hortícola VI Región. Facultad de CS. Agronómicas Universidad de Chile. Innova Chile Corfo. p. 10.
- Escobar H. y Lee R. 2001. Producción de tomate bajo invernadero. Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. p. 113-117. En: Ardila R. G., Fischer G. y Balaguera L. H. 2011. Caracterización del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Horticolas* 5:44-56.
- FAO, 2014. Food and Agriculture Organization. En: <http://fanstat3.fao.org/download/T/TP/S>. (visto: octubre 23 del 2014).
- Ferruzi C. 1994. Manual de lombricultura. Ed. Mundi-prensa, Madrid. p. 13-16.
- Flores J., W. Ojeda B., I. López, A. Rojano y I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 127-134.
- Florkowski, W., Shewfelt, R., Brueckner, B. and Prussia, S. 2009. *Postharvest Handling: A Systems Approach*. 2nd edición. Elsevier In. p. 59-93.
- Fonteno W., C. Harden and J. Brewster. 2000. Procedures for determining physical properties of horticultural substrates using the NCSU porometer. Horticultural Substrate Laboratory. North Carolina State University. 26 p.

- Fuentes Y. 1998. Técnicas de riego. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. 3ra edición, Mundi-Prensa. México p. 46-47.
- Garbanzo L. G. y Vargas, G. M. 2014. Determinación fisicoquímicas de diez mezclas de sustratos para producción de almácigos, Guanacaste, Costa Rica. Revista de las sedes regionales XV:151-168.
- García C. y Briones, S. 2007. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Ed. Trillas. México p. 12-28.
- García T., Zamudio F., Bello P., Romero B. y Solorza, J. 2011. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de empaque biodegradables: Caracterización física, química, térmica y morfológica. Revista Iberoamericana de Polimeros 12(3).
- Gastal, F. and Lemaire, G. 2002. N Uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 53: 789-799. En: Betancourt P. y Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casitas de cultivo en Quibor, Estado de Lara. *Bioagro* 25: 181-188.
- Giordano I., Lahoz E., Amato A. D., Pentangelo A. and Sozzi, A. 1994. Varieties choice of processing tomato in Southern Italy. *Acta Horticultura* 376:117-122. En: Peña M. Y., Casierra P. F. y Monsalve O. I. 2013. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7:217-227.
- Gómez M. F., Trejo T. L., García A. J. y Morales R. V. 2013. Lulo (*Solanum quiroense* Lamarck) como un nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:877-887.
- González A. M. y Ruz J. E. 1999. Efecto de la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial. *Agricultura Técnica (Chile)* 59:319-330.
- Gojkovic V. C. y Saavedra R. 2007. Algunos aspectos de salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA* 25:47-58.

- Gutiérrez G., Dussan, S. y Castro, C. 2012. Fisiología y atributos de calidad de la guayaba "pera" (*Psidium guajava* cv.) en poscosecha. *Revista de Ingeniería* 37:6-12.
- Grierson, D. and Kader, A. 1986. Fruit ripening and quality. En Antherton, J., Rudich, J. (eds). *The Tomato Crop. A Scientific Basis Improvement*. Chapman and Hall (Ed.). London and New York. pp. 241-280.
- Hahn, F. 2011. Irrigation fuzzy controller reduce tomato cracking. *International Journal of Advance Computer Science and Applications* 2(11).
- Hao, X. and Papadoupulos, A. 2002. Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open o closed rock-wool system. *Canadian Journal Plant Science* 82:771-780.
- Hartmann, T. 2007. From waste products to ecochemical: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry* 68:2831-2846.
- Harmanto, V. M. Salokhe, M. S. Babel and H. J. Tantau. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management* 71:225-242.
- Hashemimajd K., Kalbasi M., Golchin A. and Shariatmadari H. 2004. Comparison of vermicomposta and compost as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition* 27:1107-1123.
- Hernández S. M., Rodríguez R. E. and Diaz R. C. 2007. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry* 106:1046-1056.
- Hernández S. M., E. Rodríguez, R. and Diaz R. C. 2007b. Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *European Food Research and Technology* 10:65-77.
- Hernández M. I., J. Arozarena, N. y Chailloux M. 2009. Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA-3019. *Cultivos tropicales* 30:79-86.
- Hernández Y. 2013. Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (*Lycopersicum esculentum* var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-envasado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente. Tesis

- doctoral. Universidad de Córdoba. E.T.S de Ingeniería Agronómica y de Montes. Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. España. p. 21-24.
- Helyes L., Lugasi A. and Pék S. 2012. Effect of irrigation on processing tomato yield and antioxidant components. *Turkish Journal Agricultural Forestry* 36:702-709.
- Hiza, H. and Bente, L. 2007. Nutrient content of the U.S. food supply, 1990-2004: A summary report. Home Economics Research Report Number 57. U.S. Department of Agriculture, Center for Nutrition Policy and Promotions, Washington, DC, USA.
- Intelmann, D., Jaros, D. and Rohm, H. 2005. Identification of color optima of comercial tomato catsup. *European Food Research and Technology* 221: 662-666.
- Iskander C. R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences. Texas A&M University. Dallas, Texas. 9 p.
- Ismail S. M., K. Ozawa and N. A. Khondaker. 2008. Influence of single and multiple water application timings on yield and water use efficiency in tomato (var. First power). *Agricultural Water Management* 95:116-122.
- Jeremy, J., Shukla, N., Muzaffar, S., Handley, A. and Angelini, G. 2004. Reactive oxygen species, vascular disease and cardiovascular surgery. *Current Vascular Pharmacology* 2:229-236.
- Kader, A. 2008. Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal Science Food Agricultural* 88: 863-1868.
- Kirk P. J. 1999. Método de Kjeldahl para nitrógeno total. *Analytical Chemistry* 22:354-358.
- Lavelle, P., Brussaard, L. and Hendrix, P. 1999. Earthworm Management in Tropical Agroecosystems. Edited by P. Lavelle, Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, ORSTOM, Bondu, France.
- Lavelle, P., Barros, E., Blanchart, E., Brown, G., Desjardins, T., Mariani, L., Pierre, R. 2001. SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna?. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:53-61.
- Levine, M., Wang, Y., Padayatty, S. and Morrow, J. 2001. A new recommended dietary allowance of vitamin C for healthy young women. *Proceedings of the National Academic of Science U.S.A.* 98:9842-9846.

- Lira M., Peña L., Sanchez C., Rodriguez P. y Moreno, P. 2013. Comportamiento productivo de híbridos F₁ de tomate y sus poblaciones F₂. Revista Fitotecnia Mexicana 36:371-379.
- López C. A. and Gómez, P. 2004. Comparison of color index for tomato ripening. En: Zapata (a) L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L., Schvad, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Ciencias, Docencia y Tecnología, XVIII:207-226.
- López J. P., Castro B. R., Colinas L. T., Sandoval V. M., Ramírez V. P., Reed, W. D., Cisneros Z. L. y King, S. 2012. Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivados en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura 16:207-216.
- Losada V. 2005. El riego, fundamentos de su hidrología y de su práctica. Ed. Mundi- Prensa. México. p. 150-160.
- Majid R. 2007. Genome mapping and molecular breeding of tomato. Int. J. Plant genomics p. 52.
- Marin, R., Orchard, J. and Seymour, G. 2002. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. Journal Experiment Botany 53:2115-2119.
- Márquez H., C., P. Cano R. y N. Rodríguez D. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agricultura Técnica en México 34:69-74.
- Masinde, P. W., Wesonga, J. M., Ojiewo, C. O., Agong, S. G. and Masuda, M. 2009. Plant growth and leaf N content of *Solanum villosum* genotypes in response to nitrogen supply. Dynam. Soil Dynam Plant 3:36-47.
- Mathieu, R., Gévaudant, F., Sicard, A., Salar, S., Thi Do, P., Mouras, A., Fernie, A., Gibon, Y., Rothun, C., Chevalier, C. and Hemould M. 2010. Functional analysis of the anaphase promoting complex activator CCS52A highlights the crucial role of endo-reduplication for fruit growth in tomato. The Plant Journal 62:727-741.
- Matos P. R., Furlani, P. R., Vasconcelos, R. R., Bodine, J. D., Sakai, E., Lourencão, A. L., Torre, N. A. 2011. Irrigation frequency and substrate volumen effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. Science Agriculture (Piracicaba, Braz.) 68:400-405.

- Mattila, P., Hellstrom, J. and Torronen, R. 2006. Phenolic acids in berries, fruit and beverages. *J. Agric. Food Chemistry* 54:7193-7199.
- Maynard, D. N. and Hochmuth, G. J. 1997. *Knott's Handbook for vegetable growers*, 4th ed. Wiley Interscience, J. Wiley and Sons, N. Y. En: Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Favela, C. E., Figueroa, V. U., Alvarez, P. V., Palomo, G. A., Márquez, H. C., Moreno, R. A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo, serie horticultura*, 13:185-192.
- Mayor O. 2010. Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante. *Rev. Inst. Med. Trop.* 5:23-29.
- Mejía de T., S. M., E. I. Estrada S. y M. M. Franco P. 2007. Respuesta del tomate chonto cultivar Unapal Maravilla, a diferentes concentraciones de nutrientes. *Acta Agron. (Colombia)* 56: 75-83.
- Méndez L., Aguilera S., López C., Gonzalo R., Carrillo M., Escareño S. y Medina F. 2014. Preservation of fresh tomato waste by silage. *Interciencia*, 39(6).
- Moneruzzaman, K., Hossain, A., Sani, W., Saifuddin, M. and Alenazi, M. 2009. Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Roma VF. *Southern Cross Journals* 3:112-121.
- Montemayor T., Gómez M., Olague R., Zermelo G., Ruiz C., Fortis H., Salazar, S. y Aldaco, N. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. *Técnica Pecuaria en México* 44:359-364.
- Moreno R. A., Valdés P. M. y Zarate, L. T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica (Chile)* 65:26-34.
- Moreno P. E., Sánchez C. F., González M. L., Pérez M. C. y Magaña, L. N. 2011. Efectos de volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoamericana* 29:57-63.
- Mujica P. Y., Mena E. A., Medica C. A. y Rosales J. P. 2014. Respuestas de planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la biofertilización líquida con *Glomus cubense*. *Cultivo Tropicales* 35:21-26.

- Muluaem, T. and Tekeste, N. 2014. Evaluation of improved tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) varieties through participatory approach in South Ethiopia. Herald Journal of Agriculture and Food Science Research, 3:055-060.
- Muñoz, M. Diseño experimental: Para la variación de la relación carbono-nitrógeno, al compostar residuos de Galeria con diferentes proporciones de inóculo. Facultad de Ciencias Agropecuarias 2(1).
- Murguía L., Choque M., Pillco T., Huayta T., Chambí O. y Cutili, P. 2010. Comportamiento de la lombriz roja californiana y lombriz silvestre en bosta bovina y rumia bovina como sustrato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1:555-565.
- Navarro L. E., Nieto A. R., Corrales G. J., García M. M. y Ramírez, A. A. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. Revista Chapingo Serie Horticultura, 18:263-277.
- Navez B., Letard M., Gracelly D. y Jost, M. 1999. Les critères de qualité de la tomate. Infos-Citil, 155, 41-47. En: Hernández, S. M., Rodríguez, R. E., Díaz, R. C. 2007. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. Food Chemistry 106:1046-1056.
- Nielsen, S. 2003. Food analysis (3rd ed.). New York: Kluwer Academic. En: Hernández, S. M., Rodríguez, R. E. y Díaz, R. C. 2007. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. Food Chemistry 106:1046-1056.
- Nuez F., Rodríguez A., Tello J., Cuartero J. y Segura, B. 2001. El cultivo del tomate, Ed. Mundo-Prensa, Madrid, España.
- Nunoo J., Quartey, E., Amoatey, H. and Klu, G. 2014. Effect of recurrent irradiation in the improvement of a variant line of wild tomato (*Solanum pimpinellifolium*). Journal of Radiation Research and Applied Science 7:377-383.
- Ojodeagua A., Castellanos R., Muñoz R., Alcántar G., Tijerina C., Vargas T. y Enriquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana 31:367-374.
- Ortega M. L., Sánchez O. J., Ocampo M. J., Sandoval C. E., Salcido R. A. y Manzo, R. F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai, 6:339-346.

- Padrón P., Padrón L., Montes H. y Oropeza G. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense* 36:97-111.
- Palomo G., Gutiérrez M., Astudillo S., Rivera S., Torres C., Guzmán L., Moore, R., Carrasco G. y Alarcón M. 2009. Efecto antioxidante de frutas y hortalizas de la zona central de Chile. *Rev Chil Nutr.*36(2).
- Pangaribuan, D. 2005. Postharvest physiology of fresh – cut tomato slices. Tesis doctoral. University of Queensland, Australia.
- Papadopoulos A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and soilless media. *Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa*. En: Ojodeagua A., Castellanos R., Muñoz R., Alcántar G., Tijerina C., Vargas T., Enriquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:367-374.
- Parra T. S., Lara M. P., Villareal R. M. y Hernández V. S. 2012. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:143-153.
- Parra C. y Fischer G. 2013. Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Horticolas* 7:98-110.
- Passam, H. C., I. C. Karapanos, P. J. Bebeli and D. Savvas. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1 1-21.
- Peralta I. y Spooner, D. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). *Genet. Improv. Solanac. Crops* 2:1-27.
- Pereira M. and Zezzi, A. 2004. Preconcentration of Cd (II) and Pb (II) using humic substances and flow system coupled to flame atomic absorption spectrometry. *Microchim. Acta* 5:215-222.
- Peña M. Y., Casierra P. F. y Monsalve O. I. 2013. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Horticolas* 7:217-227.

- Pickersgill, B. 2007. Domestication of plants in the Americas: insights from Medelian and molecular genetics. *Annals of Botany* 100:925-940.
- Pillakenchapa K., Kodthalu S. S., Vala K. R., Avverahally T. S., Kundapur V. R. and Gonchigar, J. S. 2013. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, Cherry tomatoes and wild species. (wileyonlinelibrary.com) 15:276-291.
- Pineda P., Castillo G., Moráles C., Colinas L., Valdez y A., Avitia, G. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Hortícola* 14(2).
- Pineda P., Sánchez C., Ramírez A., Castillo G., Valdés A. y Moreno, P. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:95-111.
- Pire R. y Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15:55-63.
- Plaut, Z., Grava, A., Yelhezkel, Ch. and Matán, E. 2004. How do salinity and water stress affect transport of water assimilates and ions to tomato fruits? *Physiol. Plant.* 122:429-442.
- Preciado R. P., Fortis H. M., García H. J., Rueda P. E., Esparza R. J., Lara H. A., Segura C. M. y Orozco V. J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36:689-693.
- Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V. and Maiani, G. 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of food Composition and Analysis* 19:11-19.
- Restrepo S., Vallejo C. y Lobo A. 2008. Fenología de la floración en tomate cultivado y especies silvestres relacionadas. *Acta Agron (Palmira)* 57:89-93.
- Ríos D., Santos B., Díaz D. y García, N. 2003. Ensayos de cultivares de tomate de exportación en Tenerife: II. Comportamiento en postcosecha. *Agrícola Vergel: Fruticultura, Horticultura, Floricultura* 262:504-511.
- Riquelme B. F. 1999. Postcosecha del tomate para consumo en fresco. p. 589-623. En: Nuez F., Rodríguez, A., Tello J., Cuartero J. y Segura, B. 2001. *El cultivo del tomate*, Ed. Mundo-Prensa, Madrid, España.
- Rodríguez L. 2000. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Revista COMALFT* 27:31-38. En: Barraza F., Fischer, G. y Cardona C. 2004. Estudio del proceso

- de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana* 22:81-90.
- Rodríguez M., Arjona A. y Galvis, J. 2006. Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a temperatura ambiente en condiciones de la Sabana de Bogotá. *Agron. Colomb.* 24:68-76.
- Rodríguez D. N., Cano R. P., Favela C. E., Figueroa V. U., Alvarez P. V., Palomo G. A. y Márquez H. C., Moreno R. A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo, serie horticultura* 13:185-192.
- Rodríguez M., Rey R., Torralba V., Puig O y Acevedo, R. 1997. Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 "pruebas de campo". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16:73-77.
- Rodríguez D., Salcedo P., Rodríguez M., González E., Raymundo D. y Mena, M. 2013. Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana* 31:275-284.
- Sahir, K., Kusvuran, H., Dasgan, Y. and Agar, T. 2012. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on postharvest life and quality in four tomatoes cultivar. *The Journal of Animal & Plant Science* 22:1086-1091.
- SAGARPA, 2010. Monografía de cultivos. Jitomate. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documents/Monografias/Jitomate.pdf> (visto: 30 de diciembre de 2014).
- Saha, S., D. Dutta, D. P. Ray and R. Karthakar. 2012 Vermicompost and soil quality. In: E. Lichtfouse (ed.). *Farming for Food and Water Security. Sustainable Agriculture Reviews* 10. p. 243-264.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. p. 759.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 2000. *Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Thompson Ediciones, Madrid. p. 557-564, En: Casierra P. F., Constanza C. M. y Cárdenas H. J. 2007. *Análisis del crecimiento en frutos de tomate*

- (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25: 299-305.
- Sam, O., Sánchez, P., Coronado, M. y Risueño, M. 2006. Influencia de la alta temperatura en los tejidos radiculares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Cultivos Tropicales* 27:39-42.
- Sánchez E., Catalá M. S., Moráles M. A., Gomariz J., Egea-Sánchez J. M. y Costa, J. 2008. Caracteres de calidad de diferentes tipos de tomate murcianos. Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. 16-20 Septiembre. Bullas, Murcia, España, en: Padrón, P., Padrón, L., Montes, H., Oropeza, G. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense* 36:97-111.
- Sánchez M. J., Lorenzo P., Sánchez G. M., Medrano E., Cabezas M. J. y Domínguez, I. 2013. Influencia de la salinidad y el enriquecimiento carbónico en invernadero sobre la calidad en tomate tipo Raf (Delizia). Resultados preliminares. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid.
- Sánchez C. F., Moreno P. E., Pineda P. J., Osuna J. M., Rodríguez P. J. y Osuna E. T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48: 185-197.
- San Juan L. F., Ramírez, V. P., Sánchez G. P., Livera M. M., Sandoval V. M. y Carrillo, R. J., Perales, S. C. 2014. Variación en características de interés agronómico dentro de una población nativa de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:159-164.
- San Martín H., C., V. M. Ordáz C., P. Sánchez G., M. T. B. Colina L. y L. Borges G. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de Tezontle. *Agrociencia* 46:243-254.
- Santiago, J., M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9:59-65.

- Sato, S., Peet, M. and Thomas, J. 2002. Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. *Journal of Experimental Botany* 53:1187-1195.
- Seymour, G., Chapman, N., Chew, B., Rose, J. 2013. Regulation of ripening and opportunities for control in tomato and other fruits. *Plant Biotechnology Journal*, vol. 11, pp. 269-278.
- Schieber, F. and Stintzing, R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent development. *Trends Food Science Technology* 12:401-413.
- SCyT, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2010. Inventario de bancos de materiales. Bancos_2010. Mexico, D.F.
- SIAP, 2014. Cierre de producción agrícola por Estado, Tomate rojo (Jitomate). Ciclo: Año agrícola O-I + P-V 2011. Modalidad: riego + temporal. México. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 (visto: Octubre 20, 2014).
- Sinsawat V., Lepner J., Stamp P. and Fracheboud, Y. 2004. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. *J. Environment. And Experiment Botany* 521(2).
- Smertenko A., Drábek P., Viklický V. and Opatrná, Z. 1997. Heat stress affects the organization of microtubules and cell division in *Nicotiana tabacum* cells. *Plant Cell Environment* 20:1534-1542.
- Solarte M., Hernández M., Morales A., Fernandez J. y Melgarejo. 2010. Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. p. 85-119. Morales, A.L. y L.M. Melgarejo (eds.). Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134- 154.
- Suazo L. F., Zepeda B. R., Sánchez C. F., Martínez H. J., Virgen V. J. and Tijerina, C. L. 2014. Growth and yield of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) as affected by hidroponics, greenhouse and irrigation regimes. *Annual Research & Review in Biology* 4:4246-4258.

- Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S. and Dong, G. 2014. Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany* 15:787-800.
- The John Henry Co. MI, USA. U.S.D.A. United Fresh Fruit and Vegetable Association in cooperation with U. S. Department of Agriculture Agricultural Marketing Service Fruit and Vegetable Division.
- Thai, C. N., Shewfelt, R. L. and Garner, J. C. 1990. Tomato color changes under constant and variable storage temperatures: empirical models. En: Zapata L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L. and Schvad, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencias, Docencia y Tecnología* 34:207-226.
- Urbano B., Vasconcelos R., Cristina C., Jascomino P. and Trevisan J. 2005. Temperature-related changes in respiration and Q_{10} coefficient of guava. *Science Agriculture (Piracicaba, Braz.)* 62:458-463.
- Urrestarazu G., M. 2000. *Manual de cultivos sin suelo*. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 250 p.
- Urrieta V., J. A., M. de las N. Rodríguez M., P. Ramirez V., G. A. Baca C., L. del M. Ruiz P. y J. A. Cueto W. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 371-381.
- Valdés F. 2006. Vitamina C. *Actas Dermosifiliogr.* 97:557-568.
- Valenzuela L., Partida R., Díaz V., Velázquez A., Bojórquez B. y Enciso, T. 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:807-818.
- Valera M. D., Molina A. F. y Gil, R. J. 1999. Los invernaderos de Almería: tipología y mecanización del clima. Universidad de Almería. Almería, España. En Flores J., W. Ojeda B., I. López, A. Rojano y I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25:127-134.

- Vargas T., Castellanos R., Zaragoza J., Muñoz R., Sánchez G., Tijerina C., López R., Martínez S. y Ojodeagua, A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34:323-331.
- Vázquez C. M., Jiménez G., Torres P. I., Anaya U. I., Mendoza L. H. y Guevara G. R. 2012. Comportamiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) asperjadas con ácido salicílico cultivadas bajo diferentes condiciones climáticas en invernadero. *Ciencia@UAQ*, 5(1).
- Vázquez V. P., García L. M., Navarro C. M. y García H. D. 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios* XIX(36):1351-1356.
- Velasco S. P., Pineda S., Méndez A., España M. L., Cárdenas N. R., Bayuelo J. J., Valle J., Figueroa J. I., Lobit P. y Martínez, C. A. 2010. Reflectancia foliar, crecimiento y respuestas fisiológicas de maíz, y tomate a un abrillantador óptico. *Revista. Fitotecnia Mexicana* 33:45-52.
- Vifela A., González L. y Ravetta, D. 2011. Metabolismo secundario de plantas leñosas de zonas áridas: mecanismos de producción, funciones y posibilidades de aprovechamiento. *Ecología Austral* 21:317-327.
- Villareal R. M., Parra T. S., Sánchez P. P., Hernández V. S., Osasuna E. T. y Basilio H. J. 2010. Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:217-231.
- Vranova E., Coman D. and Gruişsem W. 2012. Structure and dynamics of the isoprenoid pathway network. *Molecular Plant* 5:318-333.
- Watada, A., Herner, R., Kader, A., Romani, R. and Staby, G. 1984. Terminology for the Description of Developmental Stages of Horticultural Crops. *HortScience* 19(1).
- Yescas C., P., M. A. Segura C., J. A. Orozco V., M. Enriquez S., J. L. Sánchez S., J. E. Frías R., J. A. Montemayor T. y P. Preciado R. 2011. Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixivios en la producción de tomate. *Terra Latinoamericana* 29:441-448.
- Youngson, R. 2004. ¿Que son los radicales libres? Madrid: Edit. ACRIBIA. p. 15-29

- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae* 112:191-199.
- Zambrano P. 2009. Manual del cultivo de tomate en invernadero. Economista M.Sc. Economía Agraria, Corpoica, CI, Tibaitata. Colombia. 56p.
- Zapata L., Gerard, L., Davies, C. y Schwab, M. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 35:173-193.
- Zapata (a) L., Gerard, L., Davies, C., Oliva L. y Schwab, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencias, Docencia y Tecnología XVIII*(34): 207-226.
- Zhang Y., Butelli E., De Stefano R., Schoonbeek H. and Magusin, A. 2013. Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Current Biology* 23:1094-1100.
- Znidarcic D. y Pozrl, T. 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (*Lycopersicon esculentum* Mill) whilst stored at different temperatures. *Acta agriculture Slovenica* 14:87-2.
- Znidarcic D., Ban D., Oplanic M., Karic L. and Pozrl T. 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8:21-25.

