



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

EFFECTO DEL TIPO DE SUSTRATO SOBRE LOS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y FISIOLÓGICOS DE
FRUTOS DE Jitomate (*Solanum lycopersicum*) TIPO
SALADETTE HIDROPÓNICO.

TESIS

PRESENTA

JAIRO ARMANDO LÓPEZ ROJAS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

DIRECTORES DE TESIS

ING. SALOMÓN LÓPEZ SERRANO

DR. OSCAR ANDRÉS DEL ÁNGEL CORONEL

HUATUSCO, VER.

JUNIO DE 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso creador de todo lo visible y lo invisible, del cielo y de la tierra cuanto contiene quien ilumina mi mente, mi corazón y mi espíritu en todo el trayecto de la formación personal académica y profesional en los 23 años de vida obsequiados, agradeciéndole por los regalos, bendiciones y los dones que me ha dado y por las virtudes y defectos que me ha conferido siendo estos la mejor arma para enfrentar la vida siendo él en quien me apoye, me réferi y me postre pidiéndole sabiduría, entendimiento, paciencia, misericordia y tiempo cuando en algún momento carecía de fe, me sentía caído, en desesperación y con miedo pensando que no sería capaz de continuar este trabajo desde el momento en el que quise realizarlo y a María virgen y madre por cuidar siempre de mí., mi familia y mis maestros llevándolos siempre por el buen camino dándoles sabiduría, salud, tiempo, paciencia y bendiciones.

Con respeto, cariño y todo el amor de mi vida Aurora Rojas Hernández por ser la mayor bendición que Jesucristo creador de todas las maravillas me ha dado al tenerla como madre dándome la vida siendo ella la mayor inspiración, ejemplo de trabajo, admiración y dedicación para enfrentar la vida, por todos sus consejos regaños, regalos insistiéndome siempre para mejorar mi calidad de vida, recordándome quien soy, porque he hecho lo que he hecho y logrado lo que he logrado al trazar los objetivos que siempre me he puesto en mente los cuales he cumplido.. Gracias por darme el

regalo más grande que se le puede conferir a un hijo, una formación académica, gracias a ti tengo los conocimientos que tú sabes y esta formación.

A Alba Nazaret López Rojas a quien tengo el orgullo y la dicha de tenerla como hermana por los 22 años estando junto a mi lado, en quien confié contándole las experiencias de vida la cual es parte fundamental de que siga aquí y tenga buena salud en quien pienso cada vez que regreso a casa, quien es motivo para mí de admiración y logros por lo que tiene y por lo que hace. Es una bendición tenerte en mi vida hermanita.

A mi prima Bani Mar García Rojas por ayudarme, consolarme brindándome su amor, su tiempo, cariño y sus consejos siendo un motivo de orgullo y admiración por lo que ha logrado, un claro ejemplo de que lo que se quiere se puede, solo es cuestión de trabajo, constancia, sacrificio y al no tener miedo salir de la zona de confort y al fracaso para lograr tus objetivos.

A mi familia materna por ser un pilar fundamental en mi vida, a mi abuelo ya fallecido quien es, fue y será siempre un ejemplo claro de alguien con el valor de la humildad, del no tener miedo a fallar, el no tener la vergüenza al preguntar y al quedarse en la duda para siempre, quien me enseñó a ser independiente, al trabajar por gusto mas no por obligación, al no depender de nada ni de nadie y al no compadecerme de mi mismo.

Al padre Luis Enrique Hernández Rosas siendo una persona consagrada a dios quien ya dejó esta vida para estar en presencia con el señor, el cual brindo en mi formación académica, parte de sus conocimientos y me enseñó a aumentar mi fe, al no dejar mis metas y objetivos motivándome siempre a no dejar la iglesia estando al servicio de dios.

Al Dr. Oscar Andrés del Ángel Coronel quien es uno de los principales participes para que este trabajo siendo un sueño se volviera una realidad, a quien me dirigí para

realizar este trabajo desde el momento en el que quise hacerlo dándome la oportunidad de estar en la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA-Instituto Tecnológico de Veracruz) donde experimente y adquirí conocimientos y virtudes para aumentar mi nivel de estudio para realizar este trabajo conociendo a personas que te motivan a continuar con tu formación académica de las cuales puedes aprender sin ningún costo. Gracias Dr. por su amistad, comprensión y tiempo para realizar este trabajo, por el regalo brindado en mis residencias profesionales, por la confianza depositada en mí, por los consejos, indicaciones y asesorías los cuales mejoraron mi nivel de educación personal y profesional. Le estaré eternamente agradecido, que dios lo colme de salud, sabiduría y bendiciones para seguir trascendiendo como investigador y a su familia de la misma forma.

Al ing. Salomón López Serrano siendo otro principal participe para que este trabajo fuera realidad, brindándome su confianza y su seguridad sin conocerme al cuidado del invernadero del ITSH, sitio base para dar a conocer mi forma de trabajo, mi presencia y mi nombre positivamente para ser recordado no como cualquier alumno más del ITSH sino como alguien que pudo aportar un granito de arena no con calificaciones sino con trabajo y hechos poniendo en alto la Carrera de Ingeniería en Industrias alimentarias y la Institución. Gracias maestro por su paciencia, consejos, tiempo y por la experiencia, la cual es una de las principales causas por las que cualquiera teme a los retos. Le estaré eternamente agradecido en mi vida considerándolo no solo como un docente sino como un amigo.

Al Dr. Hugo Sergio García Galindo por permitirme incorporarme a su equipo de trabajo en el laboratorio de postcosecha en la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA-Instituto Tecnológico de Veracruz) por las facilidades prestadas para realizar este trabajo, al MC. Javier de la Cruz Medina, a la Dra. Elizabeth del Solar Hernández y al Dr. Alejandro Manuel Vargas Ortiz siendo las personas que me brindaron todo el apoyo, confianza, tiempo, atención, aprendizaje, transmitiéndome parte de sus conocimientos experiencia desde el primero, el último día estando en el laboratorio y en la actualidad siendo clave para este trabajo.

A la Dra. Alejandra Ramírez Martínez quien me mostro que el aprendizaje no tiene límites, que cualquier objetivo se puede cumplir sin importar el entorno donde este, la cual hizo que explotara todas mis conocimientos y habilidades más allá del límite mejorando no solo mi formación sino mi calidad de vida, gracias por sus consejos, atención, tiempo, por la formar parte de mi vida en un semestre y por motivarme a seguir con este trabajo.

DEDICATORIAS

En especial a mi madre, mi hermanita, al padre Enrique, mi familia materna y a mi abuelo ya fallecido por todo su apoyo, amor, seguridad, esfuerzo y confianza hacia mí, gracias a ustedes fue posible concluir esta parte de mi formación profesional. Este trabajo es el resultado de todo su trabajo y sacrificio.

Dios padre de entre todos los dones, nos regala un don especial y el deber y tarea de cada individuo es usarlo para bien, no para mal para aportar algo digno a nuestro entorno. Nadie puede llegar a la cima armado sólo de su talento. Dios da el talento; el trabajo transforma el talento en genio.

A mis asesores de tesis: al Ing. Salomón López Serrano, Dr. Oscar del Ángel, M.C Magdalena Jiménez Hernández y a los catedráticos que contribuyeron a mi formación académica en especial a: la Dra. Alejandra Ramírez Martínez, Ing. Moisés Molina García, M.C Magdalena Jiménez Hernández, Ing. María Isabel Marín Hernández, M.C. Ing. Dalila Reyes Sampieri, Ing. Víctor Hugo Montane Jiménez Ing. Leticia Rendón Sandoval Q.F.C. Cirla Sedas Fernández, Ing. Esteban Gutiérrez Peña, Ing. Lucia Sánchez Arellano, Dr. Adán Cabal Prieto y mis maestros de educación primaria, secundaria y preparatoria.

Al anterior jefe de carrera de la Ing. en Industrias alimentarias el Ing. Víctor Hugo Montane Jiménez y a la ing. Dalila reyes Sampieri actual jefa de carrera los cuales siempre estuvieron al pendiente brindándome su apoyo desde que forme parte de la

carrera y cuando se presentaban los problemas. Me siento orgulloso de pertenecer a esta carrera.

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Al cuerpo académico del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco: a todo el personal de servicios escolares, estudios profesionales, recursos humanos, recursos financieros, al personal de limpieza, mantenimiento y policías; los cuales me brindaron el apoyo y la atención lo cual el alumno más necesita en los cuatros años estando en la institución, por la confianza depositada en mí dándome la oportunidad de estar en el invernadero adquiriendo nuevos conocimientos y por realizar en este sitio parte de mi trabajo de titulación.

Bienaventurado aquel que encuentra el trabajo que le gusta, que no se preocupe por otra bendición.

A mis amigos los acólitos en especial a José Manuel Arroyo, Miguel Ángel Ortega, Jesús Felipe Hernández, Joselito Durante, David Durante, Daniel Herrera Saúl Cumplido Vásquez, Mauricio Tenchipe Flores y Miguel Ángel Tecalco Morales, al padre Enrique ,don Erasto García, los cuales siempre me motivaron a no darme por vencido recordándome quien soy y del porque llegue hasta aquí.

El mayor estímulo para esforzarnos en el estudio y en la vida es el placer del mismo trabajo, el placer de los resultados y la conciencia del valor de los resultados para esa comunidad

Al Laboratorio de postcosecha de la UNIDA, en especial Al Dr. Hugo Sergio García Galindo. M.C. Javier de la Cruz Medina, a la Dra. Elizabeth del Solar Hernández, al Dr. Alejandro Manuel Vargas Ortiz, al Ing. Francisco Ruiseco Ramos, a la Lic. Lucero Guzmán de la Hoz, al Ing. Jesús Giovanni Hernández Torres y las personas que conocí en mi estancia en aquel tiempo especialmente a Alondra Verónica Cabrera del

valle, Alondra Yoselin Murillo Ríos, Karla Itzel Serrano Ortega, Ziany Guadalupe Montero Flores y María de Mar Margarita Gómez Juárez con quienes desarrolle un ambiente de trabajo, buena comunicación y convivencia con las cuales pase momentos agradables cuando los días se volvían complicados o de mucho trabajo llenándome de alegría, felicidad y ánimos las cuales no solo me brindaron su amistad sino me transmitieron sus conocimientos en el área de Bioquímica.

Aquel que hace el bien desinteresadamente sin pensar en el elogio o la recompensa al fin de cuentas tendrá ambas.

A mis amigos de secundaria especialmente Aranza Carreón Sánchez, José Alfredo pacheco Herrera, Erick Zarate Sosol, Ángel López Herrera, Jesús Felipe Hernández Peña, a mis amigos de la universidad principalmente Tania Isabel Vidaña Reyes, Ana Laura Loyo Avendaño, Jennifer Sánchez Cogco, Celia Hernández Carrillo, Elizabeth Ramírez Ramírez, Hada Elizenda Vela Ruiz, Esmeralda Peña Mora, Nancy Alicia Hernández Moreno, Inés Osorio Ixtla, Mariela Martínez Torralba, Monserrat Fernández Xaca y a mis compañeros especialmente Raciél Rodríguez de la trinidad, Sandra Areli Hernández Paz, Lorenzo Bertín Sedas Prieto, Christian Montiel Hernández , Nancy Mariel Dolores Medel y Consuelo Sánchez García

Tu tiempo es limitado, entonces no lo desperdicias viviendo la vida de otro. No se dejen atrapar por el dogma, que es vivir según los resultados del pensamiento de otros. No dejen que el ruido de las opiniones de los demás ahogue su propia voz interior. Y lo más importante, tengan el coraje de seguir a su corazón y a su intuición.

Efecto del tipo de sustrato sobre los parámetros fisicoquímicos y fisiológicos de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*) tipo Saladette hidropónico

Jairo Armando López Rojas¹

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial, Huatusco, Ver, México. C.P. 94100.

Correo-e: Jairo_senzey@hotmail.com

RESUMEN

El sustrato es todo material natural, solido, de síntesis, mineral u orgánico en forma pura o mezcla que permite el anclaje del sistema radicular teniendo un papel de soporte e interviniendo negativa o positivamente en el proceso de nutrición vegetal de la planta y en el fruto. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de catorce sustratos hidropónicos, de origen mineral, orgánico y mezclas de los mismos sobre el rendimiento y los parámetros físicos (tamaño, color, firmeza), químicos (SST, acidez titulable, pH) y fisiológicos (producción de CO₂ y TPE) de frutos jitomate (*Solanum lycopersicum*) hidropónico. Para el trabajo se utilizaron frutos de jitomate híbrido el 'Sid' de la empresa Harry's Moran en estado de madurez de consumo producidos y cosechados en el invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, los cuales fueron analizados en la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos

(UNIDA-Instituto Tecnológico de Veracruz) en el laboratorio de postcosecha. El diseño experimental fue completamente al azar utilizando catorce tratamientos de sustratos manejados en cuatro repeticiones cada uno por dos planta tomando como unidad experimental doce frutos por tratamiento. Los sustratos evaluados fueron el tezontle, tepezil, lombricomposta, composta, bagazo de caña y cascarilla de café siendo los tratamientos originales y los restantes combinaciones de los mismos. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor usando la prueba de Fisher $P \leq 0.05$ para comparar las medias de los tratamientos tomando como factor cada tratamiento y como respuesta cada variable evaluada utilizando el software estadístico Minitab versión 16. y Sigma Plot versión 14. Los resultados de la ANOVA indican que los frutos cultivados bajo los sustratos tezontle, cascarilla de café, tezontle con composta, tepezil con lombricomposta, bagazo con composta afectaron considerablemente el tamaño, rendimiento, color, (hue, croma y luminosidad), firmeza, pH, sólidos solubles totales, % de acidez titulable, tasa de producción de etileno y CO_2 del fruto, mientras que los frutos cultivados bajo tepezil composta, lombricomposta, bagazo, cascarilla con lombricomposta, tezontle con lombricomposta, tepezil con composta, bagazo con lombricomposta, cascarilla con lombricomposta y cascarilla con composta tuvieron un efecto escaso sobre las variables antes mencionadas. Las variables que mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) fueron el diámetro ecuatorial y diámetro polar, ° Hue, croma, sólidos solubles totales, acidez titulable y la producción de CO_2 del fruto mientras que la firmeza mostro diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$), por el contrario del rendimiento, luminosidad, pH y tasa de producción de etileno (TPE), las cuales no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Palabras clave: jitomate hidropónico, sustratos hidropónicos, calidad postcosecha de frutos.

Effect of the substrate on the physicochemical and physiological parameters of tomato fruits (*Solanum lycopersicum*) type Saladette Hidroponic

Jairo Armando López Rojas¹

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial, Huatusco, Ver, México. C.P. 94100.

Correo-e: Jairo_senzey@hotmail.com

ABSTRACT

The substrate is all natural material, solid, synthetic, mineral or organic in pure form or mixture that allows anchoring the root system having a support paper and intervening negatively or positively in the process plant nutrition of the plant and the fruit. The objective was to evaluate the effect hydroponic substrates fourteen, of mineral, organic and mixtures thereof on the performance and parameters physical (size, color, firmness), chemical (SST, titratable acidity, pH) and physiological (and CO₂ production TPE) tomato fruit (*Solanum lycopersicum*) Hydroponics. For work hybrid fruits of tomato they were used Sid Company Harry's Moran state of maturity of consumption produced and harvested in the greenhouse of Higher Technological Institute of Huatusco, which were analyzed Unit in Research and Development in Food (UNIDA-Technological Institute of Veracruz) in the laboratory of post harvest. The experimental design was completely randomized fourteen treatments substrates handled in four replicates each

of two plant taking as experimental unit twelve fruits per treatment. The substrates were evaluated tezontle, tepezil, vermicompost, compost, bagasse and coffee husks being the original treatments and the remaining combinations thereof. An analysis of variance (ANOVA) using single factor $P \leq 0.05$ Fisher test to compare treatment means using as factor each treatment was performed and each variable in response assessed using Minitab Statistical Software version 16 and Sigma Plot version 14. The results of the ANOVA indicated that the fruits grown under the tezontle substrates, coffee husks, tezontle with compost, tepezil with vermicompost, bagasse compost significantly affected the size, performance, color (hue, chroma and lightness), firmness, pH, total soluble solids, % titratable acidity, rate of ethylene production and CO_2 fruit, while the fruits grown under tepezil compost, vermicompost, bagasse, rice hulls with vermicompost, tezontle with vermicompost, tepezil with compost, bagasse vermicompost, , coffee husks with vermicompost and skins with compost had little effect on the above variables. The variables that showed significant differences ($P \leq 0.05$) were the total equatorial diameter and polar diameter, ° Hue, Chroma, total soluble solids, titratable acidity and CO_2 production the fruit while firmness showed highly significant differences ($P \leq 0.001$), by contrast performance, brightness, pH and production rate of ethylene (TPE), which showed no significant difference ($P \leq 0.05$).

Keywords: hydroponics tomatoes, hydroponic substrates, postharvest quality of fruit.

INDICE

RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III.MARCO TEORICO	8
3.1. El jitomate	8
3.2. Origen y domesticación.....	8
3.3. Evolución y taxonomía	9
3.4. Descripción botánica	10
3.4.1. Planta.....	10
3.4.2. Tallo	11
3.4.3. Hoja.....	11
3.4.5. Raíz.....	12
3.4.6. Flor	13
3.4.7. Fruto	13
3.5. Importancia del fruto	15
3.6. Requerimientos climáticos.....	16
3.6.1. Temperatura.....	16
3.6.2. Humedad relativa	17
3.6.3. Clima	17
3.6.4. Suelo	18
3.6.5. pH.....	18
3.7. Requerimientos nutricionales	18
3.7.1. Potasio	19
3.7.2. Calcio	20
3.7.3. Nitrógeno.....	20
3.7.4. Fósforo.....	21
3.7.5. Azufre.....	21
3.7.6. Magnesio	22

3.7.7. Hierro	22
3.7.8. Manganeseo	23
3.7.9. Zinc.....	23
3.7.10. Boro	24
3.7.11. Cobre	24
3.7.12. Molibdeno	25
3.7.13. Cloro	25
3.8. Hidroponía.....	25
3.8.1 importancia de la hidroponía	27
3.8.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	27
3.8.3 Métodos hidropónicos	28
3.9. Sustrato	30
3.9.1. Importancia de caracterizar sustrato	32
3.9.2. Características de los sustratos	32
3.9.3. Clasificación de los sustratos.....	33
3.9.4. Propiedades de los sustratos.....	33
3.10. Composta	34
3.10.1. Beneficios de una composta	35
3.10.2. Tipos de descomposición	35
3.10.3. Fases del proceso de la composta.....	36
3.10.4. Factores condicionantes de la composta	37
3.10.5. Contenido de nutrientes en la composta.....	39
3.11. Lombricomposta	40
3.11.1. Características de la lombricomposta	41
3.11.2. Atributos de calidad de la lombricomposta	41
3.11.3. Composición nutrimental de la Lombricomposta	45
3.12. Tezontle.....	46
3.12.1. Características del tezontle	47
3.12.2. Contenido de nutrientes en el tezontle	47
3.13. Bagazo de caña de azúcar	49
3.13.1. Características principales del Bagazo de Caña de Azúcar.....	50

3.13.2. Contenido de nutrientes en el bagazo de caña de azúcar	50
3.14. Cascarilla de café	51
3.14.1. Características de la cascarilla de café	52
3.14.2. Contenido de nutrientes en la cascarilla de café	52
3.15. Tepezil	53
3.15.1. Características del tepezil.....	53
3.15.2. Composición química	54
3.16. Parámetros de calidad poscosecha.....	54
3.16.1. Parámetros Físicos	55
3.16.1.1. Color	55
3.16.1.2. Resistencia del índice de la cascara a la penetración.....	59
3.16.2. Parámetros químicos	62
3.16.2.1. Sólidos solubles totales	62
3.16.2.2. El índice de acidez (pH).....	63
3.16.2.3. Acidez titulable y azúcares reductores.....	65
3.16.3. Fisiología poscosecha	67
3.16.3.1. Madurez.....	67
3.16.3.2. Respiración	70
3.16.3.3. Etileno.....	73
IV. JUSTIFICACIÓN	77
V. HIPOTESIS	79
VI. OBJETIVOS.....	80
6.1. Objetivo general.....	80
6.2. Objetivos Específicos	80
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	81
Ubicación y establecimiento del experimento	81
7.1. Pruebas físicas	83
7.1.1 Rendimiento	83
7.1.2. Medición del diámetro ecuatorial y polar del fruto	84
7.1.3. Medición del color en cáscara	85
7.2 Pruebas químicas	87

7.2.1. Valor de pH	87
7.2.2 Acidez titulable	88
7.2.3. Sólidos solubles Totales.....	90
7.3. Pruebas fisiológicas	91
7.3.1. Tasa de producción de CO ₂ y Etileno.....	91
7.4 Diseño experimental y análisis estadístico de datos	92
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
8.1. PRUEBAS FÍSICAS.....	94
8.1.1 Rendimiento	94
7.1.2. Medición del diámetro ecuatorial y polar del fruto	97
8.1.1. Medición de color en cascara y pulpa	100
8.1.2. Resistencia de la cáscara a la penetración (N)	106
8.2. Pruebas químicas	108
8.2.1. Valor de pH	108
8.2.2. Acidez titulable	110
8.2.3. Sólidos solubles totales	113
8.3. Pruebas fisiológicas	116
8.3.1 Velocidad de respiración	116
8.3.2 Tasa de producción de etileno	118
IX- CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	122
X. BIBLIOGRAFIA.....	125
Anexos.....	142

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutricional de 100 g de la parte comestible del fruto de jitomate	15
Cuadro 2. Contenido nutrimental de la composta.....	39
Cuadro 3. Grados de calidad para el humus de lombriz	44
Cuadro 4 Especificaciones fisicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta)	45
Cuadro 5. Límites máximos Permisibles para Especificaciones Microbiológicas ..	45
Cuadro 6 Propiedades químicas de 2 sustratos utilizados en el cultivo de tulipán (<i>Tulipa gesneriana</i> L.).....	48
Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña	51
Cuadro 8. Cambios de los constituyentes químicos durante la maduración	69
Cuadro 9. Clasificación de especies hortícolas de acuerdo a su nivel de producción de etileno	75
Cuadro 10 Orden y Combinaciones de los Tratamientos de Sustratos Hidropónicos.....	93
Cuadro 11. Rendimiento total (kg/planta) de la cosecha de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico.	96
Cuadro 12 Diámetro polar (cm) y diámetro ecuatorial (cm) de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico	98
Cuadro 13 Diferencias de color externo en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	101

Cuadro 14 Resistencia de la cascara a la penetración (N) en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	106
Cuadro 15 Variación de pH en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	108
Cuadro 16 Variación de la Acidez Titulable en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	110
Cuadro 17 Variación del contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix) en frutos de Jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distintas variedades de jitomate (Feiertag, 2016).....	9
Figura 2. Planta de jitomate (Nanzi, 2010)	10
Figura 3. Tallo de una planta de jitomate (Vásquez, 2015).....	11
Figura 4. Hoja de una planta de jitomate (FAO , 2003)	12
Figura 5. Raíz principal de la planta de jitomate (Cervantes, 2015).....	12
Figura 6. Flor de una planta de jitomate (Gonzalez, 2018)	13
Figura 7. Anatomía del fruto de jitomate (Baldomero, 2007)	14
Figura 8. Aplicación de la Hidroponía en cultivo de lechuga (Marquez, 2014).....	26
Figura 9. Diferentes sustratos hidropónicos (Intagri, 2009)	31
Figura 10. Composta como sustrato hidropónico (Chen, 2017).....	34
Figura 11. Lombricomposta como sustrato hidropónico (Juárez, 2005).....	40
Figura 12. Tezontle como sustrato Hidropónico (Gutiérrez, 2010).....	46
Figura 13. Bagazo de caña de azúcar como sustrato hidropónico (Patrón, 2010).....	49
Figura 14. Cascarella de café como sustrato hidropónico (Herrera, 2013)	51
Figura 15. Tepezil como sustrato hidropónico (Gutiérrez, 2010)	53
Figura 16. Representación del sistema CIE L*a*b* o CIELAB (Rettig & Hen, 2014)	57
Figura 17. Carta de clasificación del color en Tomate del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. (Roach, 2008).....	58
Figura 18. Patrones respiratorios de frutos climatéricos y no climatéricos (Alique, 2013).....	72

Figura 19. Ubicación de Instituto Tecnológico Superior de Huatusco	81
Figura 20. Ubicación del municipio de Huatusco	82
Figura 21. Bascula digital utilizada para obtener el peso de los frutos	84
Figura 22. Calibrador vernier digital para medir el diámetro ecuatorial y polar del fruto	85
Figura 23. Colorímetro MiniScan™ XE Plus para medir el color de la cascara del fruto.....	85
Figura 24. Texturometro digital marca Guss FTA GS 25 y computadora portátil marca Toshiba con el software para medir la resistencia a la penetración en frutos de jitomate	87
Figura 25. Potenciómetro THERMO-ORION® modelo 5 STAR para medir el pH del jugo de los frutos	88
Figura 26. Material utilizado para determinar el contenido de acidez titulable presente en el fruto	89
Figura 27. Determinación del contenido de Sólidos solubles totales presentes en el jugo de los frutos utilizando refractómetro, vasos de precipitado y puntas de plástico y	90
Figura 28. Rendimiento total de frutos de jitomate en relación al sustrato hidropónico.....	95
Figura 29. Comportamiento de la velocidad de producción de CO ₂ en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico.	116
Figura 30. Comportamiento de la velocidad de producción de etileno en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico	119

I. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas de gran importancia en la alimentación y de mayor valor económico en el mundo debido al alto volumen de mercado, altos índices de producción y a la alta demanda como uno de los principales frutos de la canasta básica al poder ser consumido en estado fresco o como producto industrializado mediante jugos, pastas, purés, concentrados o salsas (Ortega et al., 2010). El fruto tiene su origen en la región andina (Perú, Colombia, Ecuador y Chile) y en México donde fue domesticado al integrarse en el área mesoamericana por la cultura azteca recibiendo el nombre “tomalt” proveniente de la lengua nahuatl de México que significa tomate (Hernández, 2013).

El jitomate es un fruto climatérico perteneciente a la familia de las Solanáceas del género *Solanum* y de la especie *Solanum lycopersicum*, el cual se compone en mayor parte de agua e hidratos de carbono siendo muy cercano a frutas por su aporte superior en azúcares simples dándole un sabor dulce. En él destacan la vitamina C, vitamina E, provitamina A (β -caroteno), vitaminas del grupo B (B1 y B3) y minerales como fósforo y potasio, tiene alto contenido en licopeno, el cual es el más potente de los antioxidantes y el pigmento que le aporta su color rojo característico (Beecher, 1998).

La participación del jitomate dentro de las hortalizas es de 21.8 % y su consumo anual per cápita es de 14.3 kg. En la producción de jitomate, los diez países con la mayor producción obtenida a nivel mundial en el 2017 fueron: China, India, Turquía, Estados Unidos de América, Egipto, Irán, Italia, España, México y Brasil. Tomando como

referencia a estos países, China ocupa el primer lugar como productor con 59, 514, 773 millones de toneladas; India el segundo con 20,708,000 millones de toneladas y Turquía el tercero con 12,750,000 millones de toneladas mientras que México ocupa el noveno lugar con 4,243,058 millones de toneladas (SAGARPA, 2010) (SIAP, 2017). En territorio nacional, los principales estados productores de jitomate son: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí y Baja California; en este punto Sinaloa encabeza en la lista de entidades productoras de jitomate el primer lugar con el 27.41% de la producción nacional, Jalisco el segundo con el 26.13%, Michoacán el tercero con 7.22%, San Luis Potosí el cuarto con 7.15% y Baja California el quinto lugar con 7.13%; en exportación, México es el principal exportador mundial de jitomate fresco o refrigerado con un volumen promedio de 7, 5 millones de toneladas por año, el principal destino es Estados Unidos quien se lleva el 99% de sus jitomates (SAGARPA, 2017)

Cuando el jitomate es producido en campo abierto hay algunos factores que influyen en el desarrollo del cultivo tales como los cambios extremos de temperatura, la deficiencia o exceso de agua, el exceso de plagas y los suelos mal drenados por lo cual se ha optado por ser producido en invernadero, el cual permite regular el clima para tener a las plantas en un entorno óptimo de temperatura y humedad relativa propiciando la reducción del periodo productivo en comparación al que tiene en campo abierto, tener cultivos fuera de temporada, disminuir las plagas y enfermedades en la planta y en el fruto o proteger a ambos de los efectos de las condiciones climatológicas extremas (lluvia, granizo o nieve) y mejorar el desarrollo de la producción de la planta y la calidad del fruto. Al ser producido en invernadero existen diferentes técnicas para el cultivo del jitomate entre las cuales se encuentra la hidroponía; en el cual el sistema radicular de la planta se desarrolla sin suelo, ya sea en agua o en sustratos inertes con el fin proporcionarle agua, minerales y oxígeno suficientes para su óptimo desarrollo (De la Rosa et al., 2015).

Tales sustratos pueden ser el tezontle, tepezil, y grava los cuales son de origen mineral y se presentan forma pura o mezclada o el bagazo de caña de azúcar, cascarilla de café, cascarilla de arroz, fibra de coco o paja de cereales, los cuales son residuos de origen orgánico sujetos a la descomposición biológica de plantas, granos o árboles y

de algunas industrias considerándolos como residuos, subproductos o desechos con poca importancia o ninguna utilidad (Intagri, 2009)

Uno de principales factores que podrían determinar el éxito o fracaso del cultivo es la elección del sustrato, ya que proporciona el medio en que se desarrollan las raíces las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo del fruto; desempeñando la función de soporte, medio de distribución de nutrientes, agua y oxígeno a la planta. Un sustrato con buenas propiedades fisicoquímicas contribuye al desarrollo de la planta y por consiguiente al fruto aportándole una mejor calidad y mejores propiedades fisicoquímicas; una adecuada elección del mismo permite al productor optimizar recursos como agua y nutrientes y reducir costos de producción; por consiguiente el presente trabajo tuvo como propósito evaluar las propiedades fisicoquímicas del jitomate por medio de diferentes técnicas post cosecha cultivado en diferentes sustratos hidropónicos con el objetivo de definir cuál era el medio hidropónico apropiado que aportará mejores resultados en la obtención de rendimiento y calidad del fruto.

II. ANTECEDENTES

Al evaluar los parámetros fisicoquímicos o fisiológicos de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo diferentes sustratos hidropónicos, se presentan varios trabajos en donde el nombre científico del jitomate es diferente en algunos de los trabajos realizados por los autores por lo cual es necesario explicar por es presentado de esta manera.

El nombre científico del jitomate ha tomado mucha importancia durante varios años ya que no ha sido clara su denominación, en 1753 Linneo denominó al fruto con el nombre de *Solanum lycopersicon* colocándolo en el género *Solanum* junto con la papa pero Miller en 1768 propuso el nombre de *Lycopersicon esculentum*, siendo aceptado con este nombre por más de un siglo. En 1900 Karsten sugirió que *Lycopersicon Lycopersicon* era el nombre más apropiado para el fruto entrando en uso generalizado bajo ese nombre, pero debido las reglas de denominación de la planta no fue muy aceptado como tal, por violar el Código Internacional de Nomenclatura, sin embargo aún es encontrado en la literatura bajo ese nombre. Al paso del tiempo se nombró al jitomate con el nombre científico *Solanum lycopersicon* denominado por Linneo en 1753, ya que fue demostrado mediante pruebas genéticas que denominarlo bajo ese nombre era correcto, por lo cual fue acreditado así por Child en 1990 y por Spooner en el 2006 (Sañudo, 2013).

Con la explicación anterior se mencionan de esta manera algunos trabajos que centraron su análisis en evaluar los parámetros fisicoquímicos de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo diferentes sustratos hidropónicos como Ortega et al.,(2010) quienes evaluaron el efecto de los sustratos: aserrín, composta de pino, composta,

tierra agrícola y tezontle rojo y mezclas de los mismos sobre el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum mill*) bajo condiciones de invernadero encontrando que los frutos cultivados bajo aserrín-composta presentaron los mejores resultados en el tamaño y diámetro (11.3 cm y 6.3 cm) del fruto; tales resultados se deben al posible efecto constante de la solución nutritiva utilizada y que son sustratos de origen orgánico. En el rendimiento, los frutos bajo aserrín-composta mostraron el mejor rendimiento con 4 Kg/planta. En cuanto a los resultados de este trabajo, los autores indican que los frutos de jitomate cosechados bajo el tezontle, aserrín y la composta o mezcla de los mismos pueden presentar resultados favorables en el tamaño del fruto y rendimiento por planta.

Rodríguez (2013) evaluando la altura de la planta, el diámetro del tallo, el peso y contenido de sólidos solubles totales de frutos de tomate (*lycopersicon esculentum mill*) cultivado en tezontle reutilizado encontró que el peso promedio del fruto presenta diferencias en los tres ciclos consecutivos; el fruto presento 116.60 g en el primer uso, 113.47 g en el segundo y 96.58 g el tercero, en el contenido de solidos solubles totales, los frutos bajo este sustrato no fueron afectados, el fruto presento 4.09 °brix en el primer uso, 4.15 °brix en el segundo y 4.25 °brix en el tercero indicando así que el fruto en tres ciclos cultivado bajo este sustrato presento valores similares en esta variable. Debido al hecho de que el fruto es nombrado de varias formas en diferentes lugares, algunos lo llaman jitomate mientras que otros tomate, por lo que existe curiosidad de porque el fruto tiene diferentes términos. El termino tomate deriva del náhuatl *tomatl* que traducido al español significa agua gorda, nombre que se le dio quizás a su composición mayoritariamente por agua aunque se desconoce porque el nombre, mientras que jitomate deriva de la palabra náhuatl *xictomatl* que traducido al español significa ombligo de agua gorda posiblemente a la variedad a la que pertenecía como un fruto de mayor tamaño. Es correcto nombrar al fruto en los dos términos: jitomate o tomate pero presenta una observación; el termino jitomate solo es utilizado al hablar de variedades de frutos de mayor tamaño, color rojo brillante y que presente la especie de ombligo mientras que para las variedades que no presenten esa observación, el termino tomate es el mas adecuado. En territorio Mexicano, el término utilizado en el norte es tomate mientras que en el centro y sur se utiliza el termino jitomate para

diferenciarlo del tomate verde o del tomate de cascara, ya que en el norte es conocido con el nombre de tomatillo, de igual manera se utilizan mucho los vocablos tomate bola o tomate Saladette, los cuales hacen referencia a los tipos de variedades (Josafad, 2001).

Continuando con los estudios realizados, San Martín y Ordaz (2012) utilizando al tezontle evaluaron la calidad física y química de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía cultivado bajo diferentes tamaños de partícula de tezontle; los cuales fueron 3-5, 5-10 y 10-20 mm de diámetro. Las variables evaluadas fueron: sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, firmeza y color. En los resultados encontraron que los diferentes tamaños de partícula del tezontle no afectan la acidez titulable, contenido de sólidos solubles y pH de los frutos mientras que el color y la firmeza son afectados. Los valores de las variables del fruto se ordenaron de acuerdo a los resultados por tamaño de partícula: 4.86, 4.76 y 4.76 en el valor de pH, 0.608, 0.658 y 0.594 en el porcentaje de acidez titulable, 7.24, 7.08 y 7.08 °brix en el contenido de sólidos solubles totales, 1.52, 1.60 y 1.66 newtons en la firmeza mientras que los atributos de color, el porcentaje de luminosidad fue 31.40, 32.12 y 31.88 %, 32.02, 32.70 y 33.38 °hue y 28.64, 29.08 y 29.04 en croma. La acidez titulable, sólidos solubles, pH, firmeza y color pueden ser afectados por el suministro de agua sin pérdida de humedad y fertilizantes, la firmeza puede ser afectada por la salinidad debido a la mayor actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular y del aumento de pH causando el bloqueo de calcio disponible para las plantas. En los atributos de color, los factores que pueden influir en °hue y croma son la oscilación de temperatura (28,29 y 30° C.) durante la cosecha, lo cual incide en la síntesis de licopeno.

En un estudio hecho por Alarcón (2014) evaluando el peso por fruto, diámetro ecuatorial y polar y contenido de sólidos solubles de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) producido en invernadero utilizando a la composta, encontró que los frutos cultivados bajo este sustrato presentaron un diámetro ecuatorial de 4.35 cm, un diámetro polar de 5.71 cm, un valor de 3.7 °brix y peso por fruto de 6.26 kg. El autor menciona que estas variables pueden ser afectadas probablemente por los excesos de temperatura o la influencia de riego, lo cual afecta la nutrición de la planta y el fruto,

otro autor que utilizó el mismo sustrato obteniendo resultados similares en las variables evaluadas fue Aguilar (2017) quien evaluó el peso del racimo, diámetro ecuatorial y polar y sólidos solubles de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero cultivado en diferentes porcentajes de composta utilizando la solución nutritiva de Steiner. En los resultados, el fruto presentó un diámetro polar de 5.41 cm y un diámetro ecuatorial de 4.28 cm, un valor de 3.77 °brix y un peso general de 470.45 g en el peso por racimo. El autor menciona que la composta es un sustrato que presenta buena asimilación de nutrientes pero necesita de una adecuada disponibilidad de líquidos o fertilizantes.

Con base en las investigaciones anteriores se han evaluado las propiedades fisicoquímicas del Jitomate principalmente observando las diferencias que existen de acuerdo al sustrato en el cual fue cultivado.

III.MARCO TEORICO

3.1. El jitomate

El jitomate es de las principales hortalizas de alto volumen de consumo en fresco, siendo uno de los principales frutos de la canasta básica y encontrándose entre los cultivos hortícolas más demandados en el mundo (Aguilar & Casierra, 2008).

El jitomate cuenta con un valioso grado de calidad e inocuidad siendo una de las especies vegetales de alto rendimiento y del igual manera una de las hortalizas que constituye alto valor económico y una mayor difusión, esto se debe entre otras razones a su alto contenido nutritivo principalmente en (vitamina A, C y E, antioxidantes, calcio y fósforo) (Hernández, 2003).

3.2. Origen y domesticación

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es un fruto procedente de la región andina comenzando en el sur de Colombia hasta el norte de Chile siendo domesticado en México donde se desarrollaba como planta silvestre entre los huertos.(Lourdes, 1999).

El fruto proviene de una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas; desplegándose de forma rastrera, semierecta o erecta existiendo en variedades como: crecimiento determinado y crecimiento indeterminado. Al ser domesticado en México, el jitomate fue integrado en el área mesoamericana a varias culturas entre ellas la azteca, la cual por la lengua náhuatl de México nombró al fruto

“tomatl”. Al llegar a América, los españoles lograron apreciar sus propiedades sensoriales y en aquella época para ellos era mejor conocido como “tomate” o “xitomate” por sus diversas variedades, formas, colores y tamaños; dicho fruto era poco notorio fuera del territorio mesoamericano y al ser introducido en el territorio europeo tuvo un ambiente semejante, algunos países que lo adoptaron como base de su alimentación, tales como, España, Portugal e Italia y otros lo destinaron para fines decorativos debido a la tonalidad de sus flores y frutos. A partir del siglo XIX, las colonias y zonas de atribución inglesa tales como Estados Unidos y Australia fueron de los últimos países en adoptarlo como fruto esencial de su alimentación (Hernández, 2013).

3.3. Evolución y taxonomía

El jitomate pertenece a la familia de las *Solanáceas* al igual que otros frutos como la berenjena, la papa y el pimiento siendo de gran importancia económica, en las distintas variedades de jitomate (Figura 1) vistas en mundo se conocen más de 20,000 especies. Miller en 1754 clasificó al fruto como *Lycopersicon esculentum* y fue acreditado por Child en 1990 y por Peralta y Spooner en el 2006 como *Solanum lycopersicum*. El fruto es una especie diploide con $2n=24$ cromosomas (Magdaleno, 2017).



Figura 1. Distintas variedades de jitomate (Feiertag, 2016)

En la actualidad el tratamiento de los jitomates en el género *Solanum* han adquirido buena admisión debido a la evidencia de estudios filogenéticos de la familia *Solanácea*, por sus caracteres moleculares y morfológicos. Dichos resultados han manifestado denegadamente que los jitomates están encuadrados dentro del género *Solanum* (Pacheco, 2017).

3.4. Descripción botánica

3.4.1. Planta

La planta es de porte erecto o semierecto, arbustivo cultivada en cualquier época del año (Figura 2) presentada en variedades de crecimiento determinado (limitado) o indeterminado (ilimitado) Las variedades de crecimiento determinado tienen un tallo que produce lateralmente varios pisos de inflorescencias de una a dos hojas aproximadamente detenidas por la aparición de una inflorescencia terminal mientras que las variedades de crecimiento indeterminado tienen en el ápice del tallo un meristemo de crecimiento que produce un alargamiento prolongado del tallo principal formando solo inflorescencias en posición lateral (SAGARPA, 2010).



Figura 2. Planta de jitomate (Nanzi, 2010)

3.4.2. Tallo

El tallo principal constituye un eje superior que oscila entre 2-4 cm en su base desplegando: las hojas, los tallos secundarios e inflorescencias. Se compone de la epidermis, corteza o córtex en el cual sus células externas son fotosintéticas y las internas colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular (Figura 3). En la parte distal del tallo se localiza el meristemo apical donde inician los nuevos primordios foliares y florales (Labate et al., citado por (León, 2017)).



Figura 3. Tallo de una planta de jitomate (*Vásquez, 2015*)

3.4.3. Hoja

Las hojas son formadas e imparipinnadas con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado en número de 7 o 9 y recubiertos de pelos glandulares acomodadas sobre el tallo (Figura 4). El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior o inferior, ambas sin cloroplastos (Labate et al., citado por (León, 2017)).



Figura 4. Hoja de una planta de jitomate (FAO , 2003)

3.4.5. Raíz

El sistema radicular está formado por una raíz principal situándose ahí la epidermis donde se ubican los pelos absorbentes para la toma de agua y nutrientes, cortex y cilindro central donde se sitúa el xilema (Figura 5) (Labate et al., citado por León, 2017). La raíz principal crece 3 cm al día hasta alcanzar los 60 cm de profundidad produciendo raíces adventicias y ramificaciones formando así una masa densa y de cierto volumen. Las raíces laterales y adventicias crecen de igual manera que la principal (Sañudo, 2013).



Figura 5. Raíz principal de la planta de jitomate (Cervantes, 2015)

3.4.6. Flor

La flor es hermafrodita, hipógina y regular constituida por un pedúnculo corto, cáliz con sépalos soldados entre sí y corola gamopétala (Sañudo, 2013).

La flor tiene 5 o más sépalos semejante el número de pétalos helicoidales en intervalos de 135° identificadas en color amarillo, la primera flor se forma en la yema apical y las demás se encuentran por debajo de la inicial en torno al eje principal. (Figura 6) (Labate et al., citado por León, 2017).

El cáliz se compone de seis sépalos, la corola de seis pétalos amarillos y los estambres en un número de seis formando un tubo alrededor del gineceo (Sañudo, 2013).



Figura 6. Flor de una planta de jitomate (Gonzalez, 2018)

3.4.7. Fruto

El Fruto es una baya bi o plurilocular compuesta en mayor parte por agua e hidratos de carbono, se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg con un peso final en la madurez de 5-500 gr Según la variedad y condiciones de desarrollo. Se constituye por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Figura 7).

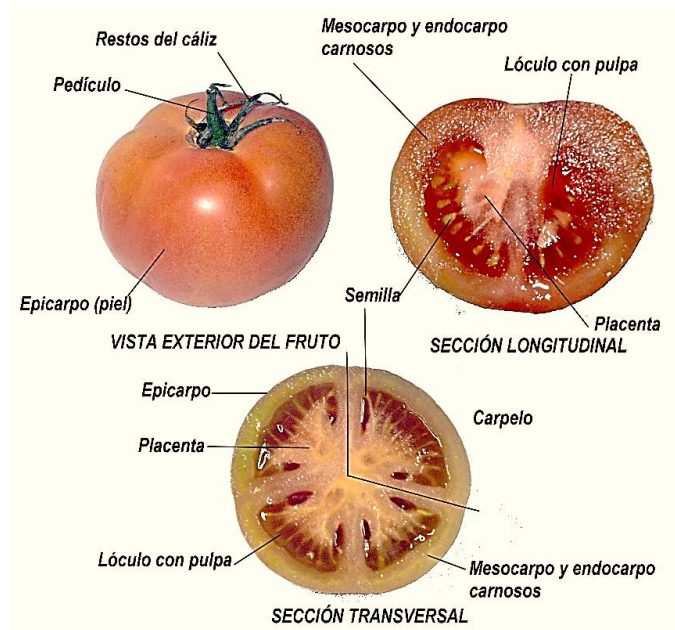


Figura 7. Anatomía del fruto de jitomate (Baldomero, 2007)

En el jitomate destacan la vitamina C, vitamina E, provitamina A (β -caroteno), vitaminas del grupo B (B1 y B3) y minerales como fósforo y potasio, tiene alto contenido en licopeno, pigmento que le aporta su color rojo característico y el más potente de los antioxidantes.

Los azúcares reductores tienen un 50 % de la materia seca donde la fructosa y glucosa son los mayoritarios y los ácidos orgánicos: cítrico y málico representan más del 10% de la materia seca, debido a esto los azúcares como los ácidos llevan un papel fundamental en el sabor del jitomate (Sañudo, 2013).

A continuación se muestra en el Cuadro 1 la composición nutricional de 100 g de la parte comestible del fruto de jitomate:

Cuadro 1. Composición nutricional de 100 g de la parte comestible del fruto de jitomate

Hechos nutricionales	Por porción (100 g)
KJ	84 kj
Calorías	20 kcal
Proteínas	0,99 g
Carbohidratos	4,31 g
Fibra	1,2 g
Azúcar	3,09 g
Grasa	0,2 g
Grasa Saturada	0,04 g
Grasa Poli insaturada	0,117 g
Grasa Mono insaturada	0,044 g
Colesterol	0 mg
Sodio	7 mg
Potasio	226 mg

Fuente: (fastsecret, 2016)

De acuerdo a la FAO (2003) el jitomate es un fruto climatérico al igual que el plátano, el durazno, la sandía, entre otros; al igual que otros frutos climatéricos, los cambios de color, aroma, sabor y textura están básicamente vinculados a la producción autocatalítica del etileno.

Marín (2001) menciona que el etileno acelera el mecanismo de maduración y generación de sabores, aromas y texturas; del mismo modo indica que los frutos climatéricos con alta producción de etileno que presentan cambios por efectos de gas, no requieren mayor estímulo al haber iniciado la maduración.

3.5. Importancia del fruto

El jitomate es la segunda hortaliza de mayor importancia después del chile (*Capsicum annum L.*) a nivel mundial En México el jitomate tiene alta excelencia tanto económica como socialmente debido al alto volumen de mercado, altos índices de producción y a su demanda como un fruto de la canasta básica (Ortega, 2010).

El fruto cuenta con las siguientes ventajas: genera mayor número de empleos, debido a la mano de obra desde la siembra hasta su venta en el mercado; creando oportunidades de negocios en aspectos como manufactura, venta de agroquímicos, maquinaria y equipo. Para ser cultivado necesita semilla de calidad; tiene alto índice de exportación ya que se puede consumir en fresco, cocinado, frito y procesado industrialmente en conservas, salsas, jugos y en polvo (Baldomero, 2007).

Su producción nacional crece 8.1% gracias al incremento en el rendimiento por unidad de superficie comparado con lo registrado en 2015, en el volumen de su producción nacional en 2007-2016 tuvo un promedio de 2,574 toneladas, en este punto Sinaloa encabeza la lista de entidades productoras de jitomate con el 27.6% de la producción nacional tomándolo alto bajo el concepto de agricultura protegida. La participación de producción de este fruto dentro de las hortalizas es de 21.8% y su consumo anual per cápita es de 14.3 kg.

Dentro del ranking mundial, China se encuentra en el primer lugar como productor teniendo 59, 514, 773 millones de toneladas; ya que este país asiático junto con la India generan un poco más del 40% del total y México como el noveno con una producción de 4, 243,058 millones de toneladas, dicho de esta forma el jitomate mexicano contribuye con 3.5 millones de toneladas, en si 2.1% del total. En el comercio exterior en el 2016 el crecimiento del jitomate genero un superávit comercial de mil 549 millones de dólares y su origen-destino-comercial fue en EU adquiriendo el 99.7% del volumen exportado. Reino Unido y Holanda en Europa y Rusia, Pakistán y Arabia Saudita son un destino son un destino potencial para esta hortaliza (SIAP, 2017)

3.6. Requerimientos climáticos

3.6.1. Temperatura

El jitomate bajo invernadero requiere de un rango óptimo de temperatura diurna de 21 a 28 °C y en temperaturas nocturnas requiere entre 17 y 18 °C, su alto rendimiento y calidad del fruto se desarrolla en temperatura diurna de 27 a 29 °C y en las noches de

17 a 22 °C. Durante la floración las temperaturas nocturnas deben mantenerse entre 16 y 18 °C y en las diurnas entre 18 y 30 °C). Un rango fuera de 14 °C suele presentar problemas de absorción de nutrientes como el fosforo al tornarse las hojas de un color purpura como señal de deficiencia. Deben evitarse temperaturas arriba de 32 °C ya que afectan el crecimiento de raíces y de 30 °C ya que interviene en el poco desarrollo en el licopeno (Zamora, 2016).

3.6.2. Humedad relativa

Para el cultivo de jitomate, la humedad relativa está en el rango de 65 a 75 % durante la noche y de 80 a 90% durante el día. Cuando la humedad relativa se eleva por arriba del 90% en periodos largos la incidencia de enfermedades en las plantas es muy alta repercutiendo en: el follaje, el agrietamiento del fruto, la fecundación debido a que el polen se compacta facilitando el aborto parte de las flores y dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en una desproporción de humedad del suelo o riego abundante tras un período de estrés hídrico (Allende, 2017).

3.6.3. Clima

El jitomate se presenta de mejor manera en climas secos con temperaturas moderadas. Su rusticidad asociada a nuevas variedades le permite el ser cultivado en condiciones adversas. El fruto es una especie de época cálida y su temperatura recomendable de desarrollo varía entre 18 y 30°C, de tal modo el cultivo al aire libre se realiza en climas templados. Temperaturas extremas pueden ocasionar diversos trastornos; entre los cuales se encuentran: la maduración, precocidad y el color del fruto. Temperaturas bajo 10°C afectan la formación de flores, las mayores a 35°C pueden afectar la fructificación y las inferiores a 10°C originan problemas en el desarrollo de la planta y frutos (Allende, 2017).

3.6.4. Suelo

La planta de jitomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica (Allende, 2017). No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. La planta se desarrolla bien en suelos con pH de 5.0 a 7.5 Pero son aceptados como pH óptimos de 6.0 a 6.5 en suelos minerales y de 5.0 a 5.5 en suelos orgánicos (Zamora, 2016).

3.6.5. pH

En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. El jitomate cultivado en invernadero tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego. Una buena disponibilidad de nutrientes se encuentra en el rango de 5.6 y 6.3 Pero el rango optimo del pH en la solución de nutrientes oscila entre 5.6 a 5.8 mientras que el intervalo de pH deseable para el cultivo de jitomate está entre 5 y 7. Si el pH es demasiado alto debido a la alcalinidad del agua se agregan pequeñas cantidades de ácido para bajar el nivel al rango adecuado. Para esta corrección de pH, pueden ser utilizados los ácidos sulfúrico H_2SO_4 , nítrico HNO_3 , ó fosfórico H_3PO_4 (Zamora, 2016).

3.7. Requerimientos nutricionales

Dentro del manejo nutricional del jitomate los nutrientes juegan un papel fundamental en el proceso vegetativo y en el fruto. De esta manera se hace mención de la nutrición vegetal, la cual es definida como: el proceso en el cual la planta absorbe del medio que la rodea las sustancias primordiales para llevar a cabo su metabolismo y de igual forma su ciclo vegetativo; de este modo entran aquí los elementos nutritivos los cuales se definen como los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta.

Entre los elementos nutritivos se distinguen: el cloro, el boro, el Hierro, el Manganeseo, el Zinc, el Cobre, el Molibdeno, el Nitrógeno, el Potasio, el Hierro, el Magnesio, el Fosforo, el Azufre, el Hidrogeno, el Carbono y el Oxígeno. De todos los elementos nutritivos; los últimos tres se hallan a disposición naturalmente.

Los elementos se clasifican de acuerdo a la cantidad requerida por la planta; dicho de esta manera se distinguen los siguientes grupos:

Macro elementos: Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio los cuales son absorbidos por la planta en grandes cantidades.

Micro elementos: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeseo, Molibdeno y Boro los cuales se absorben en cantidades pequeñas.

Todos estos elementos se absorben dependiendo el ciclo vegetativo de la planta, siendo de esta manera si son absorbidos de manera correcta el fruto tendrá las propiedades organolépticas y vida de anaquel correspondiente (Virgili, 1994).

3.7.1. Potasio

El rol del potasio se desarrolla con la calidad del fruto en la síntesis de proteína, los procesos fotosintéticos y el transporte de azúcares de hojas al fruto. Su correcto suministro se sustenta en la función de la hoja en el crecimiento del fruto contribuyendo así en el rendimiento y alto contenido de sólidos solubles en el mismo. Aproximadamente el 60-66% del potasio absorbido por la planta se encuentra en el fruto. El potasio es un catión involucrado en el mantenimiento osmótico de la planta (turgencia de la célula), el cual implica el movimiento de la estoma permitiendo a las hojas intercambiar gas y agua con la atmosfera. El potencial osmótico permite a las plantas mantener un buen estado de hidratación bajo condiciones de estrés como la salinidad o escases de agua. El potasio está involucrado en el proceso de maduración del fruto como la síntesis del licopeno, el cual es responsable del color rojo del jitomate.

El potasio promueve un alto contenido de ácido, primordial para el buen sabor del fruto (Tjalling, 2006).

3.7.2. Calcio

Es el elemento responsable de la firmeza del fruto de jitomate prorrogando la senescencia y favorece en las hojas para continuar con el proceso de la fotosíntesis. Es elemental en las paredes de la célula y aproximadamente el 90% se encuentra ahí; es un factor de cohesión que fortalece células juntas manteniendo la estructura en los tejidos de la planta. Es primordial para el correcto funcionamiento de los mecanismos de absorción previniendo la salida de elementos fuera de las células. Se encuentra en el centro de los mecanismos de defensa de la planta, detectando el ataque de patógenos y reaccionando contra el stress externo.

Casi siempre es transportado con el flujo de transpiración a lo largo del xilema distribuido desde la raíz de las hojas a los órganos principales de la transpiración (Tjalling, 2006).

3.7.3. Nitrógeno

Es el nutriente que afecta considerablemente el crecimiento y la producción del jitomate, es de fácil asimilación, elemental en la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases nitrogenadas ideales para obtener un rápido crecimiento. Este elemento ocasiona la formación de flores, mejora el color y tamaño de los frutos y normaliza la maduración y crecimiento de la planta. La deficiencia de este elemento se muestra en el alargamiento de las plantas, el adelgazamiento de los tallos, las hojas delgadas y presencia de un color verde pálido hasta el amarillo en las mismas. Cuando la deficiencia es severa, toda la planta presenta un color pálido, los folíolos se tornan pequeños, la nervadura principal de las hojas se vuelve de color púrpura antes de caerse, las flores se pueden caer prematuramente y el fruto que se forma se queda pequeño (Jaramillo et al.,2007).

3.7.4. Fósforo

Es un elemento móvil en la planta que interviene en la fotosíntesis, la respiración, la transferencia de energía y la división y el alargamiento celulares, vital para el desarrollo de estructuras reproductivas y del sistema radical; origina el crecimiento y el desarrollo de las raíces optimizando la calidad del cultivo; es vital para la formación de semilla y ayuda a aumentar la resistencia a enfermedades.

Su deficiencia reduce la floración, la producción y la calidad del fruto; provoca raquitismo en la planta, formación de tallos delgados y fibrosos con una coloración púrpura opaca; las hojas alcanzan una coloración verde oscuro o azulada acompañada de tintes bronceados o púrpuras; y la floración es poca, al igual que el cuajado de los frutos. Cuando la deficiencia es muy severa, se retarda la floración, se produce caída de hojas, flores y frutos, y la maduración es tardía (Jaramillo et al., 2007).

3.7.5. Azufre

Es fundamental en la formación de proteínas siendo parte de algunos aminoácidos, enzimas y vitaminas necesarias para la formación de clorofila ayudando a mantener el color verde y estimulando el crecimiento vigoroso y la producción de semilla, su deficiencia es similar a la del nitrógeno. Se encuentra en la planta en proporción de 1 parte por cada 10 o 12 partes de nitrógeno y si no es hallado en la planta no puede usar el nitrógeno. Aproximadamente el 90% del azufre de la planta deriva de la materia orgánica, de esta manera: entre más alto sea el contenido de materia orgánica del suelo menor será la posibilidad de una deficiencia de azufre; en consecuencia los suelos arenosos bajos en materia orgánica se mostraran más a las aplicaciones de azufre que los suelos orgánicos.

Su deficiencia en el jitomate se muestra en la baja calidad con una maduración incompleta presentándose en plantas pequeñas, tallos delgados, leñosos y alargados con hojas rígidas y curvadas hacia abajo desarrollando una clorosis intervenal verde amarilla a amarilla.

De igual forma los tallos, las venas y los pecíolos adquieren una coloración púrpura, las manchas necróticas aparecen en las márgenes y puntas de hojas más viejas y si se excede este elemento en la planta puede ocurrir una prematura senescencia de hojas (Jaramillo et al., 2007)

3.7.6. Magnesio

Es un elemento constituyente de la clorofila involucrado esencialmente en la fotosíntesis, en el metabolismo de los fosfatos, la respiración de la planta y la activación de numerosas enzimas. Es necesario para la formación de azúcares propiciando la formación de aceites y grasas y de igual forma Interviene en la translocación del almidón; por lo tanto, cumple un papel importante en el llenado de los frutos.

Su deficiencia es manifestada en las hojas más viejas de la planta, las cuales presentan clorosis marginales, que van progresando hacia el centro como una clorosis intervenal, las venas continúan verdes y aparece un moteado necrótico en las hojas cloróticas (amarillas), las cuales se curvan hacia el haz, se necrosan y caen prematuramente. La deficiencia también se observa en la parte media de la planta cuando el cultivo está en máxima producción (Jaramillo et al., 2007).

3.7.7. Hierro

Participa en el proceso respiratorio y en la fotosíntesis, interviene en la formación de la clorofila y es vital en la formación de alimentos en la planta junto con el cobre, el manganeso y el boro. Extiende el contenido de lignina y cumple funciones de sostén y protección de la planta contra el ataque de organismos causantes de enfermedades. Su exceso puede producir toxicidad en la planta cuando existen condiciones reductoras en el suelo, como en el caso de suelos inundados, su deficiencia es manifestada en las hojas terminales, en la disminución en el crecimiento de la planta y en la caída de flores.

El hierro es abundante en la mayoría de los suelos, pero no disponible para la planta, perjudicando su crecimiento. Las bajas temperaturas en el suelo pueden retardar la

velocidad de crecimiento del sistema radicular; restringiendo la toma de hierro del suelo (Jaramillo et al., 2007).

3.7.8. Manganese

Forma parte de las enzimas que intervienen en la respiración y síntesis de proteína, funciona como un activador para una diversidad de reacciones enzimáticas, tales como oxidación, reducción e hidrólisis.

Toma importancia en relación con la fotosíntesis teniendo influencia directa o indirecta sobre cloroplastos donde la energía lumínica del sol se convierte en energía química. Su deficiencia se presenta en suelos arenosos, turbosos, alcalinos y en calcáreos sobre encalados y en suelos con bajo contenido de materia orgánica. Su deficiencia aparece también en los brotes terminales de la planta señalada por la aparición de manchas cloróticas sobre la hoja las cuales se unen y forman una clorosis general conservando las venas verdes (Jaramillo et al., 2007).

3.7.9. Zinc

Este elemento es indispensable en la formación de clorofila y de varias enzimas como las que promueven el crecimiento, interviene en la retención del agua y otros nutrientes dando resistencia a plantas debido a las bajas temperaturas, fortalece la membrana celular de las raíces, actúa como impedimento ante la penetración de organismos patógenos y está asociado al magnesio, el boro y el calcio.

Si hay deficiencia de este elemento, la planta presenta entrenudos delgados y cortos, adquiere una apariencia de roseta, las hojas se vuelven pequeñas y gruesas con manchas cloróticas irregulares de color verde amarillo y áreas necróticas, se produce aborto de flores y los frutos desarrollados permanecen pequeños y maduran prematuramente. La desproporción de fósforo puede inducir deficiencias de zinc, ya sea que la interacción entre el zinc y el fósforo ocurra en el suelo o en el proceso metabólico en la planta. Las aplicaciones altas de fosfatos restringen la absorción del zinc, el cual se combinará con los fosfatos solubles para formar fosfatos de zinc que

no son rápidamente solubles. Los suelos calcáreos, orgánicos o inundados propician frecuentemente la deficiencia de zinc. El bajo contenido de materia orgánica en el suelo puede contribuir a su deficiencia y un síntoma de toxicidad por zinc es la reducción del crecimiento de la raíz (Jaramillo et al., 2007).

3.7.10. Boro

Interviene en la germinación y el crecimiento del tubo polínico y en el transporte de almidones y azúcares desde la hoja hacia los frutos en formación. Su cantidad para el metabolismo es mínima, pero su carencia es debido a su escasa movilidad dentro de la planta aún bajo condiciones de suficiente disponibilidad edáfica.

Su mayor concentración está en las hojas inferiores; de este modo: a medida que la planta crece la concentración disminuye en las hojas jóvenes y en el crecimiento de los frutos. Su deficiencia se presenta en las hojas jóvenes, las cuales permanecen pequeñas y se deforman enroscándose hacia adentro; presentando manchas cloróticas de color amarillo naranja y venas amarillas, hay proliferación de rebrotes en forma de rosetas afectando el punto de crecimiento mostrando tallos cortos, gruesos y rígidos, caída de flores y frutos con áreas corchosas alrededor del punto de abscisión y de tal modo el sistema radicular es muy pobre, grueso y poco ramificado, de color amarillento o café (Jaramillo et al., 2007).

3.7.11. Cobre

Se presenta en numerosas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción, estimula la formación del polen viable y por tanto su alta petición se presenta en la floración; actúa junto con el manganeso y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes, y ayuda al desarrollo de las raíces y a la formación de proteínas y enzimas. Algunas de sus principales funciones son aumentar el sabor en los frutos, el contenido de azúcares, la capacidad de almacenamiento y la resistencia al transporte. Cuando se presenta su deficiencia las márgenes de las hojas jóvenes de la planta son pequeñas, pálidas y distorsionadas, se enroscan hacia arriba y los

brotes son atrofiados, hay un desarrollo deficiente de la raíz produciendo lesiones necróticas oscuras sobre la vena principal, no hay producción de flores o es mínima y la planta puede presentar enanismo y clorosis (Jaramillo et al., 2007).

3.7.12. Molibdeno

El molibdeno es parte estructural de una oxidasa que convierte el aldehído del ácido abscísico en la hormona ABA, reguladora del crecimiento que protege las plantas contra factores de estrés fisiológico, induce efectos positivos en la formación del polen viable al momento de la floración y la fecundación. Es el único nutriente que muestra mayores problemas de deficiencia en suelos ácidos que en suelos alcalinos, en otras palabras, entre más ácido sea el suelo más necesario es el molibdeno. Su deficiencia se presenta en las hojas más viejas, que muestran una clorosis entre las nervaduras, los márgenes de las hojas se enroscan hacia arriba y sus venas también son cloróticas; si hay daños son presentados en necrosis de las hojas (Jaramillo et al., 2007)

3.7.13. Cloro

Dicho elemento está involucrado en la apertura de los estomas, de esta manera interviene en la turgencia de las células y ayuda al metabolismo del nitrógeno. Generalmente las aguas de riego son ricas en cloruros, por tanto casi nunca es necesario hacer aplicaciones de este elemento. A causa de los bajos requerimientos de cloro, es imposible que se produzca deficiencia en la planta en condiciones normales. Su exceso de contenido en la planta se produce por un nivel muy alto de salinidad en el suelo. Los síntomas son: quemadura de ápices y de borde de la hoja, bronceado, progresivo y caída de flores (Jaramillo et al., 2007).

3.8. Hidroponía

La hidroponía es una técnica para el desarrollo del cultivo en el que su sistema radical se desarrolla sin suelo, ya sea en agua o en sustratos inertes, con la particularidad que

se debe proporcionar al sistema radical, agua, minerales y oxígeno suficientes para el óptimo desarrollo de la planta. (Peña et al, 2014).

Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor, trabajo), que significa literalmente trabajo o cultivo en agua.

La hidroponía surge a raíz de los descubrimientos de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que al conjugarse con los invernaderos y plásticos permite un gran impulso, especialmente para el cultivo de flores y hortalizas (Baldomero, 2007).

Esta técnica es empleada básicamente en la plantación, donde las raíces de las plantas reciben una solución rica en nutrientes necesarios para crecer en concentraciones equilibradas disuelta en agua (Figura 8).



Figura 8. Aplicación de la Hidroponía en cultivo de lechuga (Marquez, 2014)

Esa solución dispone de todos los elementos químicos esenciales para un buen desarrollo de la planta, de tal forma que la planta puede crecer en una solución mineral únicamente o en un medio inerte, como puede ser grava, perlita o arena. Debido a que la planta es capaz de incorporar los nutrientes en una solución, no requiere de un sustrato para que la planta se desarrolle y crezca, casi cualquier planta puede crecer

mediante la técnica de hidroponía, aunque hay algunas que con mayor facilidad y mejores resultados que otras. (Portillo, 2017).

Los principales factores en la hidroponía son: el pH en sustrato/ solución nutritiva, la conductividad eléctrica y la solución nutritiva.

3.8.1 importancia de la hidroponía

La hidroponía es el método más intensivo de producción de hortalizas hoy en día, su principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas. Principalmente se ha optado por utilizar los sistemas hidropónicos, ya que obedecen a los altos rendimientos y a la calidad del producto. Por unidad de superficie se pueden obtener (1000% más que en el cultivo en suelo en el cual se obtienen de 20 30 t ha⁻¹ cosecha⁻¹) lo que significa mejor mercado y precio de venta, tal productividad se debe al balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; además de poder controlar la presencia de malas hierbas, mayor control sobre las plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de un rango óptimo lo que permite una mayor densidad de población (Baldomero, 2007).

La hidroponía es un sistema de producción es de alta tecnología, con una fuerte inversión de capital; entre los sistemas existentes que destacan en la hidroponía están los sistemas de recirculación NFT (Técnica de la Película de Nutriente) y NGS (Nuevo Sistema de Crecimiento) y los sistemas donde el medio de cultivo es un sustrato. (INAGRI, 2017).

3.8.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía

La hidroponía desarrollada en el mundo en las últimas décadas es muy usada para la investigación en el campo de la nutrición vegetal de las plantas y utilizada en la agricultura extensiva como el método de producción hortícola más intensivo.

De acuerdo a Tjalling (2006) cuenta con las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

Al no utilizar tierra, reduce el peso del conjunto siendo ideal para estructuras verticales.

Al no utilizar tierra, desprende menos partículas de arena, considerado así un sistema más limpio.

El agua con nutrientes en este sistema puede ser reutilizables, por lo cual es un ahorro en agua y nutrientes del 50% comparado con el riego convencional.

Al optimizar el agua, los nutrientes y el espacio. Se incrementa la producción del cultivo.

Debido a que las raíces reciben el alimento óptimo no necesitan crecer en busca de agua, por lo cual la planta necesita menos espacio para su cultivo.

Desventajas:

Necesita un control más estricto de riego ajustado a las necesidades de la planta y constante en el tiempo.

Requiere un uso de energía, por lo que varias veces necesita un control de riego automatizado.

Debido a que no es un sistema convencional sino un sistema de riego automático tiene un incremento en el costo de instalación.

3.8.3 Métodos hidropónicos

El cultivo en agua por definición es el auténtico cultivo hidropónico, aunque bajo el concepto descrito para hidroponía se contemplan otros sistemas. De acuerdo a INAGRI (2017) dependiendo del medio utilizado para el desarrollo de las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos.

1. Sistemas de producción en solución nutritiva

En este sistema se sumerge el sistema radical de las plantas en una solución nutritiva, la cual contiene los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento. Dentro de los cultivos en solución nutritiva, se tienen distintos sistemas como se describen a continuación:

- Sistema NFT: Cuenta con un sistema de tubería de PVS con tapas con pequeñas conexiones al final y al inicio para hacer recorrer el agua por todo el conjunto de tuberías que componen al sistema mediante una bomba encontrada en el deposito donde se almacena la solución nutritiva. Los tubos tienen orificios en la parte superior donde se colocan las plantas para que las raíces estén en contacto con la película re-circulante de la solución nutritiva.
- Raíz flotante. Utiliza un medio líquido para el crecimiento de los cultivos en donde las raíces flotan dentro de una solución nutritiva y las plantas se sostienen sobre una lámina ligera generalmente de unicel sobre la superficie del medio líquido.
- Sistema NGS: las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante que distribuye agua, nutrientes y oxígeno, cuenta con varias capas de polietileno que distribuye la solución en forma de cascada.

2. Sistemas de producción expuestos al aire

Cultivo aeropónico: presenta un cilindro de PVS u otros materiales en posición vertical perforado en las paredes laterales donde se introducen las plantas al realizar el trasplante. Las raíces crecen en la oscuridad estando todo el tiempo expuestas al aire. En el cilindro se distribuye la solución nutritiva a las raíces por pulverización mediana o a baja presión.

La aeroponia tiene efectos positivos debido a la excelente aireación de las raíces, ya que la concentración de oxígeno en el aire es 20 veces más elevada en relación a la concentración en el agua.

3. Sistemas de producción en sustrato

Emplea básicamente sustratos de origen natural, residual u orgánico los cuales se colocan en forma pura o mezcla en un contenedor o bolsa que permite el desarrollo el sistema radical, el crecimiento del cultivo interviniendo en la nutrición de la planta. El sustrato brinda sostén y anclaje a la planta manteniendo la humedad, drenaje, aireación y fácil absorción de nutrientes para que la planta no presente problemas en su desarrollo. Los sustratos más utilizados son la: arena, perlita, lana de roca, turbas, fibra de coco y tezontle.

3.9. Sustrato

Baldomero (2007) define al sustrato como todo material natural, sólido, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ, el cual colocado en un contenedor, puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular teniendo un papel de soporte en la planta. Interviene negativa o positivamente en el proceso de nutrición vegetal de la planta; de tal manera, puede clasificarse como químicamente activos (turbas, fibra de coco, etc.) o químicamente inertes (perlita, vermiculita, etc.) (Figura 9).

Es un sistema con tres fracciones cada uno con una función propia: la fracción sólida testifica el mantenimiento mecánico del sistema radicular y de la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta agua a la planta y junto con la fracción sólida los nutrientes necesarios y la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular.



Figura 9. Diferentes sustratos hidropónicos (Intagri, 2009)

El sustrato se compone por un material poroso donde se desarrolla el sistema radicular de la planta tomando el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular por lo que cumple cuatro funciones:

- Asegurar el anclaje mecánico de la planta.
- Constituir la reserva hídrica de las raíces para cubrir las necesidades de la planta.
- Proporcionar el oxígeno para su correcto funcionamiento.
- Asegurar la nutrición mineral de la planta.

Baldomero (2007) menciona que la finalidad de los sustratos en cualquier cultivo es producir una planta/cosecha de calidad en un periodo corto de tiempo, con costos bajos de producción sin provocar un grave impacto ambiental, posteriormente Trejo (2014) indica que una ventaja importante de los sustratos respecto al cultivo en suelo, es que tienen una alta porosidad (>85%), de la cual una buena porción está en forma de macroporos y que en el suelo la porosidad total en algunas ocasiones puede alcanzar un 50% en suelos bien drenados (mesoporos y microporos).

3.9.1. Importancia de caracterizar sustrato

El empleo de los sustratos en la agricultura protegida facilita el uso de terrenos pedregosos o infértiles reduciendo el contacto de las raíces con los patógenos del suelo. Es de vital importancia conocer sus características ya que permiten extender la disponibilidad de sustratos y de reducir el costo de los mismos.

En la horticultura protegida es necesario caracterizarlos ya que su calidad es clave para el manejo agronómico del cultivo y de dicha manera sus propiedades físicas y químicas influyen en el manejo del riego y en la nutrición de las plantas y sus propiedades biológicas afectan la estabilidad y liberación de elementos o sustancias que pueden beneficiar o afectar el cultivo (Intagri, 2009).

3.9.2. Características de los sustratos

Las características de los sustratos dependen de varios factores, generalmente para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas sin importar su origen, deben contar con lo siguiente:

- Ser estéril, económico y de fácil disponibilidad.
- Aceptable pH, CE, CIC y una moderada capacidad tampón.
- Baja salinidad.
- Baja densidad aparente.
- Buena retención de humedad.
- Adecuada permeabilidad, capilaridad, estable y durable.
- Buena aireación y drenaje.

Debido a que en el mercado no existe un sustrato que cumpla los requerimientos descritos anteriormente, su composición o mezcla se debe adecuar en función de las necesidades propias de explotación, para ser seleccionado se debe considerar su relación beneficio/costo, disponibilidad en el la zona, facilidad de manejo, compatibilidad para la relación de mezclas, el cultivo a establecer, clima, dimensiones de los alrededores, programa de fertiriego, etc.

3.9.3. Clasificación de los sustratos

Los sustratos se clasifican por su naturaleza en orgánicos e inorgánicos.

Naturaleza orgánica: Son los sustratos naturales o procesados siendo las turbas, composta, vermicomposta y algunos subproductos de la agroindustria como fibra de coco, cascarilla de arroz, aserrín y bagazo de caña; estos productos son químicamente reactivos ya que poseen una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). Estos sustratos tienen una mayor capacidad amortiguadora ante posibles errores o cambios imprevistos en la solución nutritiva aportada

Naturaleza inorgánica: La arena, grava, roca volcánica (tezontle), perlita, vermiculita y lana de roca; estos materiales son químicamente inertes, permiten un mejor control de nutrición y su función principal es proporcionar soporte físico a la planta.

3.9.4. Propiedades de los sustratos

Propiedades físicas: La densidad debe ser relativa para facilitar la penetración de las raíces a través del sustrato; los sustratos minerales tienen una elevada densidad real y una densidad aparente muy baja, debido a ello los materiales son muy porosos. Generalmente un sustrato artificial tiene una granulometría más gruesa que un suelo para facilitar la aireación y la retención de agua. Al tener una mezcla de sustratos orgánicos y minerales se busca el equilibrio entre retención de agua y aireación.

Propiedades químicas: Son de vital importancia en el sustrato ya que de ellas depende la disponibilidad de nutrientes. El pH depende de la disponibilidad en mayor o menor medida los iones de nutrientes. Un pH bajo puede ocasionar deficiencias de K, Ca, Mg y B y los que están por arriba de 6.5 pueden disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y Cu (Intagri, 2009).

3.10. Composta

Se define a la composta como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas empleado para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román, 2013). Es obtenida como producto de la acción controlada de microorganismos sobre residuos orgánicos: hojas; rastrojos, basuras orgánicas caseras, subproductos maderables (aserrín y virutas), ramas, estiércoles y residuos industriales de origen orgánico, de esta manera es obtenida del compostaje, conocido también como compost, compuesto o abono orgánico constituyendo un gran medio en la descomposición de la materia orgánica por medio por medio de la acción de materias aerobias termófilas presentes en cualquier lugar (Gómez et al.,2013). La composta descompone y estabiliza los sustratos orgánicos permitiendo el desarrollo de temperaturas termofílicas resultantes de procesos biológicos los cuales aportan como resultado un producto estable para ser aplicado al suelo sin efectos adversos al medio ambiente (Figura 10). Dicho producto requiere de condiciones de humedad y aireación específicas para crear temperaturas termofílicas; la composta es un sustrato húmico y cálcico considerado como un fertilizante químico por aportar micro elementos al suelo (Hernández, 2003).



Figura 10. Composta como sustrato hidropónico (*Chen, 2017*)

3.10.1. Beneficios de una composta

Los beneficios al aplicar una composta en suelo de acuerdo a Gómez et al.,(2013) son principalmente:

- a) Aumento de la capacidad de retención de agua en suelos arenosos.
- b) Mejora de permeabilidad en suelos arcillosos.
- c) Desarrollo de estructura y estabilidad de los agregados del suelo.
- d) Aumento de la resistencia del suelo en la compactación.
- e) Aumento de la fertilidad del suelo y de la capacidad de intercambio catiónico.
- f) Aportación de nutrientes esenciales y disminución del requerimiento de fertilizantes.
- g) Estimulación de la actividad microbiana disminuyendo la acción de organismos fitopatógenos del suelo.
- h) Aumento de la capacidad del suelo para capturar carbono del ambiente.

3.10.2. Tipos de descomposición

- **Descomposición aeróbica**

Es el proceso llevado en una composta donde los microorganismos presentes en la misma dependen de la presencia de oxígeno, temperatura, humedad, pH, tipo de materia orgánica y nutrientes disponibles.

- **Descomposición anaerobia**

En dicha descomposición los microorganismos utilizan para la respiración o fermentación elementos excepto el oxígeno siendo acompañada de olores desagradables para la formación de clases, siendo utilizados como combustibles (Hernández, 2003).

3.10.3. Fases del proceso de la composta

Canovas et al., citado por Hernández (2003) mencionan que el proceso de la composta se divide en cuatro periodos de acuerdo a la evolución de la temperatura:

1. **Mesofílico:** En dicha etapa aparecen las bacterias y hongos mesófilos. La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos son multiplicados rápidamente; de esta manera la temperatura se eleva produciendo ácidos orgánicos que disminuyen el pH a consecuencia de la actividad microbiana.
2. **Termofílico:** En esta etapa se descompone rápidamente la materia orgánica alcanzando una temperatura de 40 °C continuando los organismos mesófilos. Si hay presencia excedida de Nitrógeno este es liberado en forma de Amoníaco y el pH es alcalino; a una temperatura de 60°C los hongos termófilos mueren continuando con bacterias esporígenas y actinomicetos. A temperaturas mayores de los 66°C la celulosa y lignina no son modificadas pero las ceras, proteínas y hemicelulosas son atacadas; conforme el material degradable sea utilizado la velocidad de reacción disminuye y la velocidad de generación de calor es menor que la velocidad de pérdida; siendo de esta manera la superficie de la masa comenzará a enfriarse.
3. **De enfriamiento:** Es la etapa donde la temperatura es menor a 60°C presentándose hongos termófilos invadiendo el centro y atacando la celulosa; al bajar los 40°C los organismos termófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
4. **De maduración:** es la etapa que requiere meses a temperatura ambiente produciendo reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

3.10.4. Factores condicionantes de la composta

De acuerdo a Noriega et al., citado por Hernández, (2003) la composta es presentada de acuerdo a los factores presentados a continuación:

Volumen: Una mayor porción de composta retiene el calor de su actividad microbiológica siendo su centro el más cálido; al tener menos de 50 cm hay problemas para mantener el calor y al ser mayor de 100 cm no se permite el paso abundante de aire, de esta manera se reduce la vida de los microbios.

Grado de trituración: La descomposición de materia orgánica por microorganismos tiene lugar en la superficie de contacto con el aire; al ser mayor la superficie de residuos donde trabajan los microorganismos será más rápida la descomposición de materiales.

pH: Dicho factor influye en el proceso de acción de los microorganismos; los hongos tienden a tolerar un pH entre 5-8 y las bacterias un pH de 6-7.5. El pH puede variar a lo largo del proceso; en la fase mesófila tiende a disminuir por la formación de ácidos para aumentar posteriormente.

Los mayores aumentos de pH facilitan la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal; por consiguiente si se produce acidificación, la misma es corregida con la adición de cal apagada y si es alcalinizada la masa son añadidas sales ácidas o azufre en polvo para su corrección.

Relación Carbono-Nitrógeno: El carbono y el nitrógeno son los constituyentes elementales de la materia orgánica; al tener una composta de calidad debe haber una relación equilibrada entre dichos elementos: la relación adecuada de C/N de 25-35 a uno es la adecuada. Si la relación C/N es elevada la actividad biológica disminuye; una relación muy baja de C/N no afecta el proceso de compostaje pero si hay pérdida en exceso de nitrógeno en forma de amoníaco.

Si hay una relación de C/N mayor a 33 en los residuos vegetales el proceso es más largo y si está a 17-23 a uno existe un equilibrio en producción de humus; si hay una

relación menor a 17 hay una relación muy rápida que contiene suficiente nitrógeno para las plantas.

Oxígeno: Al tener la composta un proceso aeróbico la presencia de oxígeno es esencial; su concentración dependerá del tipo de material, textura, humedad y de la presencia o ausencia de aireación. Debe haber suficiente oxígeno para mantener la actividad microbiana sin que aparezcan condiciones anaerobias. El consumo de oxígeno es directamente proporcional a la actividad microbiana; debido a ello hay una relación directamente proporcional entre el oxígeno consumido y la temperatura. La mayor cantidad de oxígeno es requerida durante la fase inicial de descomposición, debido al crecimiento de la población microbiana y a la actividad bioquímica.

Temperatura: De dicho factor depende la velocidad de proceso, la presencia o ausencia de microorganismos biodegradadores clasificados en mesófilos y termófilos. La temperatura máxima en un sistema de composteo oscila entre los 75-80°C.

En el proceso de degradación de la composta es fundamental el comportamiento de la temperatura, los microorganismos y el pH: cuando la temperatura de la composta está en 15°C (fase mesofílica) el pH es de 6.5, al incrementar la temperatura el pH tiende a acidificarse y si alcanza los 38°C en la misma fase el pH es incrementado.

Al alcanzar la temperatura los 68°C en su fase termofílica el pH es incrementado a 8.2, el pH tiende a disminuir cuando se presenta la fase de enfriamiento alcanzando un pH de 7.5 manteniéndose hasta la mitad de la fase de enfriamiento y la de maduración. Si la temperatura disminuye se inicia la fase de enfriamiento terminando a los 18°C y por consiguiente entra la fase de maduración manteniendo la temperatura en los 13°C por un periodo de 60 a 90 días.

Humedad: Los valores de humedad para que exista fermentación aeróbica están entre el 30 y 70% asegurando una buena aireación; la humedad de la composta debe ser de un 70% en verano y un 55% en invierno sin llegar a la saturación, ya que el proceso es detenido y aparecen solo bacterias anaerobias que hacen más lenta la descomposición (fermentación) de los materiales.

La actividad biológica disminuye cuando el contenido de humedad es menor al 12%; si se muestra exceso de humedad la temperatura tiende a descender presentando un olor desagradable en el material y si el nivel de humedad es cercano a 60% debido a que la circulación de aire es limitada, la actividad microbiana tiende a disminuir.

3.10.5. Contenido de nutrientes en la composta

Además del Nitrógeno, el Fósforo y el Azufre son elementos contenidos en la composta de forma regulada debido en la concentración de Carbono y de elementos en el material orgánico. Si la relación C/P es menor o igual de 200 se presentará una mineralización de Fósforo orgánico durante la descomposición de materia orgánica y si la relación es igual o mayor de 300 el Fósforo quedará inmovilizado en el mismo proceso.

De acuerdo a Núñez citado por Hernández (2003) el aporte directo de nutrimentos es reflejado en la planta y en el rendimiento del fruto Entre algunas de las características de la composta se menciona que tiene un lento y sostenido flujo de sustancias nutritivas; las cuales al ser aplicadas son capaces de hacer a las plantas más resistentes y tolerantes al ataque de plagas y enfermedades.

A continuación en el cuadro 2 se describe el contenido nutrimental de la composta:

Cuadro 2. Contenido nutrimental de la composta

Elemento	Contenido Nutrimental (%)
Nitrógeno	0.5
Fósforo	0.5
Potasio	0.5
Magnesio	0.3
Calcio	2.3
Sustancias Orgánicas	10,20
Microelementos	Rico

Fuente: (Noriega. 2002

3.11. Lombricomposta

La lombricomposta es un abono orgánico con alto valor fertilizante con características y composición química similares a la composta, es denominado también Humus, el cual es un material parecido a la tierra, suave, ligero, de color oscuro y un olor a mantillo de bosque; contiene altas cantidades de minerales aprovechable para las plantas para su crecimiento y para bacterias benéficas para el suelo que resguardan las raíces de las plantas y otros componentes orgánicos que estimulan el desarrollo de los vegetales (Gómez et al, 2013).

De acuerdo a lo que menciona Reséndiz (2009) la lombricomposta es la consecuencia de la transformación digestiva de materia orgánica por la crianza de lombrices de tierra llamada lombricultura (Figura 11). La producción de lombrices brinda una alternativa para el manejo de desechos contaminantes de origen orgánico; las lombrices traen consigo efectos benéficos físicos y químicos sobre el suelo, su cultivo incrementa el rendimiento y desarrollo de los cultivos mejorando las propiedades y estructura del suelo con una mayor disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas.



Figura 11. Lombricomposta como sustrato hidropónico (Juárez, 2005)

3.11.1. Características de la lombricomposta

Entre las principales características de este sustrato Gómez et al (2013) mencionan las siguientes:

- Tiene una humedad del 17 al 30% para mantener vivos a los microorganismos presentes en ella.
- Proporciona Nitrógeno a las plantas directa o indirectamente modificando la población microbiana del suelo y posibilitando la fijación de Nitrógeno atmosférico por acción de microorganismos.
- Presenta alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos; permitiendo una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de nutrición cuyo efecto residual en el suelo llega hasta 5 años.
- Mejora la distribución del suelo formando agregados que lo hacen más permeable al agua y al aire, aumentando la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes para que la planta esté en forma sana y equilibrada.
- Es rica en hormonas (sustancias producidas por el metabolismo secundario de bacterias que estimulan los procesos biológicos de la planta) que favorecen el crecimiento, la floración y fijación de flores y frutos.
- Su pH es neutro, entre 6 y 7.3.
- ayuda a la retención de energía calorífica debido al color oscuro que le da el suelo.

3.11.2. Atributos de calidad de la lombricomposta

De acuerdo a NMX-FF-109-SCFI-2008."Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba", la lombricomposta cuenta con ciertos atributos entre los cuales se encuentran:

Granulometría

Se refiere principalmente a la clasificación por tamaños de las partículas y agregados que conforman el humus confiriéndole propiedades de textura, porosidad y textura uniforme siendo polvos finos hasta grumos gruesos con diferentes variantes y rangos de tamaño, el tamaño del grano del producto debe estar en función de la capacidad de las plantas para asimilar el producto.

Los tipos de granos son clasificados en tres tamaños los cuales son:

- **Grano fino:** cuenta con rápida absorción y es empleado con plantas con falta de nutrimentos.
- **Grano medio:** es utilizado en floricultura y horticultura y es aplicado en mezcla con otros sustratos como tezontle, arcilla, arena entre otros.
- **Grano grueso:** es aplicado principalmente en cultivos arbóreos (frutales y forestales) los cuales absorben los nutrimentos de forma lenta.

Madurez

La madurez del humus de lombriz es el grado de estabilización orgánica resultante del periodo terminado el cual es verificado con los siguientes parámetros:

- a) Taza de respiración microbiana
- b) Temperatura
- c) Relación C/N
- d) Capacidad de intercambio catiónico

En varias ocasiones aunque el proceso de compostaje transforme y establezca la materia orgánica es necesario la presencia de oxígeno del aire para terminar de madurar y completar su estabilización a un nivel aceptable

Pureza

Para ser presentado como un humus de lombriz (lombricomposta) comercial, dicho

sustrato debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Si se añade algún componente ajeno a la materia orgánica el fabricante es obligado a señalar la naturaleza, origen o contenido del material incorporado utilizando el término “adicionado con” y especificando la cantidad proporcional total en gramos por Kg de humus de lombriz.
- Contener no más del 10% de material orgánico ingerido por las lombrices, sólo cuando forme parte de la materia orgánica prima presentada en forma de ramas o fibras o fibras ligno-celulósicas, materia orgánica cruda o seca no ingerida por las lombrices.
- Contener no más de 1.5% de impurezas inorgánicas no contaminantes, tales como vidrios, plásticos, metales, etc.

Humedad

El agua es uno de los componentes principales contenidos en el humus de lombriz y en muchos casos, su presencia puede llegar a desestimarse, dando lugar a productos excesivamente mojados o bien secos. En todos sus grados de calidad el humus de lombriz debe especificar el contenido de agua y rango porcentual en peso, tomando como 100% el peso fresco del humus de lombriz.

Especificaciones

Entre las especificaciones del humus de lombriz (lombricomposta) se consideran:

Especificaciones sensoriales

- En todos los grados de calidad del humus de lombriz debe presentar olor característico
- En todos los grados de calidad el humus de lombriz debe estar libre de olores desagradables.

Especificaciones de calidad

El humus objeto de esta norma debe cumplir con las especificaciones detalladas en el cuadro 3, por grado de calidad:

Cuadro 3. Grados de calidad para el humus de lombriz

Atributos	Extra	Primera	Segunda
Material mineral extraño (% de materia seca p/p)	De 0,0 a 1,5 %	De 1,51 a 3,0 %	3,1 a 0,5%
Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)	De 0 a 3,0 %	De 3,1 a 6,0 %	De 6,1 a 10,0 %
Material inerte (% Vidrio, metales, plásticos, etc.)	< 0,5%	De 0,51 a 1,0 %	De 1,01 a 1,5 %
Semillas viables (semillas L ⁻¹)	≤1	>1 - ≤1, 5	>1,5- ≤ 2
Lombrices vivas (lombrices L ⁻¹)	<0,2 (una por cada 5 L)	0,2 (una por cada 5 L)	0,4 (dos por cada 5%)

Nota: (p/p) es peso sobre peso

Especificaciones fisicoquímicas

En calidad, el humus de lombriz debe cumplir con las especificaciones fisicoquímicas como se detalla en el cuadro 4.

Especificaciones microbiológicas

En todos los grados de calidad, el producto debe cumplir con las especificaciones microbiológicas establecidas en las correspondientes Normas Oficiales Mexicanas emanadas de la secretaria de salud vigentes para *Salmonella* y *Escherichia coli*. tal y como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 4 Especificaciones fisicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta)

Característica	Valor
Nitrógeno total	de 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	de 20% a 50% (base seca)
Relación C/N	≤ 20
Humedad	de 20 a 40% (sobre materia húmeda) ²
pH	de 5,5 a 8,5 ³
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	40 cmol kg ⁻¹
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL ⁻¹
Materiales adicionados	Ausente

Cuadro 5. Límites máximos Permisibles para Especificaciones Microbiológicas

Microorganismo	Tolerancia
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<i>Salmonella spp</i>	3 NMP por 4 g, en base seca
Huevos de helmintos viables **	1 en 4 g, en base seca
Hongos Fito	Ausente

En donde NMP=Numero más probable

**solo será exigible a solicitud expresa a la autoridad competente

3.11.3. Composición nutrimental de la Lombricomposta

Gómez et al (2013) mencionan que la lombricomposta tiene un alto contenido de elementos minerales tales como: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Zinc, etc. Su contenido de elementos varía de acuerdo a la composición del estiércol; el cual depende de acuerdo a la alimentación de las lombrices. Debido a ello presentan una mayor variación. De acuerdo a Bansal y Kapoor citado por Gómez et al (2013) la lombricomposta posee reguladores de crecimiento vegetal entre los que se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos, las hormonas como el ácido indol acético

y giberélico que estimulan las funciones vitales de las plantas; la elevada cantidad de bacterias y levaduras contribuyen a la protección de raíces contra nematodos indeseables.

3.12. Tezontle

Es una roca volcánica empleada como sustrato hidropónico en la producción agrícola y ornamental, su densidad aparente y su densidad real aumentan conforme disminuye el tamaño de la partícula, sus poros retienen entre 55 y 70% de humedad y son de empaquetamiento simple y vesículas; al ser ocluidos no tienen intercambio de fluidos (Figura 12) (Rodríguez, 2013).



Figura 12. Tezontle como sustrato Hidropónico (*Gutiérrez, 2010*)

El tezontle presenta una proporción variable de porosidad interna que incluye al volumen de poros cerrados que no están conectados con los poros externos volviéndose los espacios que no pueden ser ocupados por el agua y no intervienen en la relación agua-aire del sustrato (Rodríguez, 2013).

Rodríguez et al (2013) mencionan que los poros son de empaquetamiento simple y vesículas, siendo obstruidos no tienen intercambio de fluidos; sus poros de vesícula

retienen el 55 y 70% de la humedad relativa gravimétrica de tal manera que tienen interconexión; del mismo modo indica que su partícula de tezontle afecta algunas propiedades de la calidad del fruto como son: pH, proporción de jugo y firmeza

3.12.1. Características del tezontle

De acuerdo a Trejo et al (2013) el tezontle cuenta con las siguientes características:

- Es un sustrato considerado inerte con valores de pH cercanos a la neutralidad o ácido., es libre de sustancias tóxicas
- Tiene una buena aireación y buena retención de humedad dependiente del diámetro de la partícula.
- No contiene sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física.
- Su densidad aparente aumenta al disminuir el tamaño de la partícula y su espacio poroso total incrementa en cuanto aumenta el tamaño de la misma.

3.12.2. Contenido de nutrientes en el tezontle

De acuerdo a Pacheco (2010) el tezontle presenta escaso aporte de nutrientes, baja capacidad amortiguadora, contenido de sales variable, baja capacidad de intercambio catiónico, porosidad del 65-70% con alta porosidad interna, buena estabilidad física y densidad de media a alta, presenta variación considerable en temperatura y puede ser mezclado con otros materiales en diferentes proporciones.

El tezontle está constituido por silicatos de aluminio y bióxido de hierro, presenta colores de rojo a naranja y gris y negro, entre el contenido de elementos que contiene se encuentran el Fe, Mg, Ca y Mn (Júarez, 2014).

En un estudio realizado por Trejo et al (2013) evaluando las propiedades físicas y químicas del tezontle en una producción de tulipán (*Tulipa gesneriana L.*) tomando como referencia un sustrato comercial ProMix ® se mostraron resultados de la evaluación de dichos sustratos; de tal manera se encontró que el pH del tezontle fue alcalino y ácido en ProMix ® siendo la conductividad eléctrica en el sustrato anterior

superior a 1.46 dS m⁻¹), estando aún en el límite establecido para sustratos. Cabe destacar que la conductividad eléctrica (CE), es el indicador de sales totales en un sustrato y que Ansorena 1994 citado por (Trejo & et al, 2013) indica que la conductividad no debe exceder los 3.5 dS m⁻¹. En el contenido de nutrientes de ambos sustratos se mostró que el contenido de N fue bajo en ambos (en tezontle 0.61% y 0.82% en ProMix®); el Ca y Mg fueron mayores en el tezontle en 60 y 24.7%, respectivamente; por el contrario, en ProMix®, el K fue cerca de tres veces superior que en tezontle sin embargo no se encontró presencia de Na en los tezontle.

A continuación en el cuadro 6 se muestran los resultados de la determinación de las propiedades químicas de los sustratos mencionados anteriormente:

Cuadro 6 Propiedades químicas de 2 sustratos utilizados en el cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.)

Parámetro	Tezontle	ProMix®
pH	7.35	4.71
CE(dS m ⁻¹)	0.15	1.46
N (%)	0.61	0.82
P (mg kg ⁻¹)	0.31	5.36
K (mg kg ⁻¹)	2.74	8.2
Ca (mol m ⁻³)	22	13.47
Mg(mol m ⁻³)	10.09	8.09
Na (mg L ⁻¹)	Nd	14.82

Fuente: (Trejo & et al, 2013)

CE= conductividad eléctrica; N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio y Na= sodio, nd= no detectado. Los resultados son el promedio de tres repeticiones.

3.13. Bagazo de caña de azúcar

Es un material lignocelulósico constituido especialmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, derivado como subproducto o residuo en los centrales azucareros después de la extracción del jugo de caña de azúcar representando entre el 25 y 40 % del total de materia procesada, dependiendo del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo (Figura 13). Está formado por un conjunto de partículas de otros tamaños cuyo promedio oscila alrededor de 2 a 2.5mm, el resto consta de Sólidos solubles e insolubles (Rodríguez, 2013).



Figura 13. Bagazo de caña de azúcar como sustrato hidropónico (*Patrón, 2010*)

Es utilizado como combustible en las calderas dando energía a los ingenios; su composición varía con las características agroecológicas de la zona, cosecha, eficiencia de fábrica, método de clarificación empleado, etc. La cachaza constituye un problema en los ingenios por las grandes áreas que se requieren para su

almacenamiento, generando mal olor siendo un foco de infección y un riesgo para la conservación del ambiente.

Este residuo orgánico agroindustrial consiste en dos fracciones principales:

- una fracción de fácil descomposición pero pobre en nitrógeno y carbono
- una segunda fracción concentrada en nitrógeno pero mezclada con material orgánico recalcitrante.

3.13.1. Características principales del Bagazo de Caña de Azúcar

De acuerdo a Rodriguez (2013) el bagazo presenta un alto contenido de humedad, un pH variable (de 7 a 8) dependiendo del origen del material y de su proceso de obtención, una conductividad eléctrica baja (0.8 dS m^{-1}), el contenido de materia orgánica que muestra es de (30-70%); la relación C:N oscila de 12 a 30; es un material rico en proteínas y nitrógeno y presenta un contenido de sales solubles variable. Roca (2006) menciona el bagazo presenta entre un 26 % a un 29 % del peso de la caña molida, está constituido por agua, sólidos particulados y cantidades más pequeñas de sólidos solubles.

3.13.2. Contenido de nutrientes en el bagazo de caña de azúcar

Es rico en fósforo, calcio, nitrógeno, magnesio, zinc y pobre en potasio debido a su solubilidad, se pierde en los jugos siendo separado de la melaza. su alto contenido de nitrógeno se debe a la alta cantidad de materia orgánica y su contenido de micronutrientes se deriva de las partículas adheridas a la caña y presenta un contenido de sales solubles variable (Rodriguez, 2013).

A continuación se muestra en el cuadro 7 las propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña de un estudio evaluando los diferentes tamaños de dicho sustrato.

Cuadro 7.Propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña

Humedad (%)	4
Tamaño de partículas (mm)	0,5-1.0
Densidad (g/cc)	0-12
Vólatil (%)	68-70
Cenizas (%)	1,26
Carbón fijo (%)	28.7-30.7
C (%)	48,58
H (%)	5,97
O (%)	38,94
N (%)	0,20

Fuente: (Manals & et al., 2015)

3.14. Cascarilla de café

La cascarilla de café o pergamino es el peristemo extraído durante el proceso de beneficiado del fruto de café donde el 19% termina siendo grano oro y el resto residuos.(Figura 14). En una tonelada de café cereza se obtienen de 40 a 45 kilogramos de cascarilla o pajilla, la cual envuelve el grano después de la pulpa mucilaginosa y representa alrededor del 12% del grano en base seca (García, 2008).



Figura 14. Cascarilla de café como sustrato hidropónico (Herrera, 2013)

De acuerdo a Cárdenas (2015) el pergamino deshidratado del café presenta en promedio 3.7% de cenizas, 5.9% de proteína y 68.5% de fibra; presentando además el 7% del fruto del café.

La cascarilla de café está constituida por un alto contenido de azúcares; presentando un poder calorífico aproximado de 4180 cal/g o 7458 kcal/g, cuya composición en material volátil es de 87.7% presentando la cascarilla con tamaño de 0.425 y 2.36 mm de diámetro (Arias, 2016) .

3.14.1. Características de la cascarilla de café

De acuerdo a Bressani (1978) la cascarilla de café se caracteriza por:

- Alto contenido de fibra cruda.
- Su alto contenido celular es de 12% y los componentes de sus paredes celulares siendo la fibra neutro detergente y ácido detergente encontrada en cantidades de 88 a 67% aproximadamente.
- Tiene un límite por la lignina, sílice y otros compuestos; siendo el contenido de lignina de 18% y sus cenizas insolubles con niveles de 5%.
- Para aumentar su utilización metabólica se necesita hidrolizar la celulosa y otros compuestos similares, el tratamiento con álcali aumenta los carbohidratos solubles.

3.14.2. Contenido de nutrientes en la cascarilla de café

De acuerdo Maza (2014) la cascarilla de café tiene la siguiente composición química: contenido de humedad de 7.6%, materia seca 92.8 %, extracto etéreo 0.6%, nitrógeno 0.39% cenizas 0,5%, extracto libre de nitrógeno 18,9%, calcio y Magnesio 150 mg y fósforo 28 mg. Al ser acondicionado en suelo mejora el contenido del humus, la estructura y vida microbiológica; liberando los nutrientes paulatinamente, los cuales son contenidos solo en la quinta parte solida del sustrato sin embargo son una buena fuente de carbono orgánico en el suelo

3.15. Tepezil

El tepezil también llamado tepojal es un componente inorgánico utilizado en mezclas de sustratos; está ligado al igual que el tezontle a las erupciones volcánicas pero su disponibilidad es más limitado, es más ligero, mezclado con partículas de suelo y más inestable que el tezontle (Osuna, 2011).

Es un material de origen volcánico siendo de origen natural (Figura 15) el cual al ser utilizado no se somete a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación; su tamaño comprendido esta entre los 2 y 20 mm de diámetro; su composición depende del origen de las rocas; siendo distinguidos en dos grupos: los de composición silícea y los de composición calcárea (Maza, 2014).



Figura 15. Tepezil como sustrato hidropónico (Gutiérrez, 2010)

3.15.1. Características del tepezil

De acuerdo a Calderón (2002) el tepezil cuenta con las siguientes características:

- .Posee una baja estabilidad estructural.
- Es un material de baja porosidad debido a que su porcentaje en agua/aire no

es muy elevado,).

- Debe ser empleado en volúmenes altos para un correcto desarrollo de la raíz de la planta y por consiguiente al fruto.
- La superficie exterior de las partículas que contiene son las únicas en la retención de agua.
- Requiere una alta frecuencia de riego debido a la baja porosidad y a la baja estabilidad física que contiene.
- Presenta problemas de reacción con la solución nutritiva ya es considerado como un material químicamente activo con la capacidad de suministrar elementos nutritivos.

3.15.2. Composición química

Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables al igual que sus propiedades físicas. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La C.I.C. es tan baja que debe considerarse como nulo. Destaca su buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Tiene una baja capacidad de retención de agua, el material es poco homogéneo y de difícil manejo

3.16. Parámetros de calidad poscosecha

La calidad es definida como el grado de excelencia o superioridad de un producto y dentro de las hortalizas, frutas y vegetales se encuentra asociada a sus parámetros físicos, químicos y fisiológicos los cuales varían de acuerdo a las preferencias de los consumidores y de acuerdo a las características del producto. Los principales componentes que determinan la calidad de las hortalizas se basa en: la apariencia, textura, sabor, acidez, aroma, tamaño, dulzor, forma, color, brillo, firmeza, dureza, astringencia, defectos externos, internos, patológicos, entomológicos, físicos y mecánicos), valor nutritivo (contenido de carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y

minerales), seguridad alimentaria (contenido de toxinas naturales, residuos de agroquímicos, metales pesados, micotoxinas y contaminación microbiana) (Alarcón, 2013). La calidad depende del conocimiento de la estructura del fruto, la fisiología y las transformaciones metabólicas (Martínez et al, 2017) En el caso del jitomate siendo un fruto de origen climatérico, su calidad óptima para su consumo en fresco es lograda cuando se permite que los frutos maduren en la planta alcanzando de este modo el máximo sabor y el estado de color rojo pero antes de estar demasiado suave; su coloración roja resulta de la degradación de la clorofila y de la síntesis de licopeno y otros carotenoides. Para clasificar los frutos según su calidad se toma los siguientes parámetros: alto contenido de sólidos (mínimo 4.5 °Brix); bajo pH (cerca de 4.4); firmeza de los frutos: consistente, esponjosa o flácida; limpieza: los frutos deben estar libres de polvo, o residuos de pesticidas; forma de frutos: redonda, cuadrada, alargada y ovalada; sanidad: libre de daños de plagas y enfermedades; tamaño de fruto: este indicador lo determina el volumen del fruto, es decir, la longitud y el diámetro del fruto (Baldomero, 2007). El jitomate es un fruto moderadamente sensible a la salinidad con un umbral de 2.5 dS m⁻¹ en la rizósfera de la planta, por lo cual valores superiores pueden causar efectos negativos en variables de calidad del fruto como reducción en el tamaño del fruto y un aumento en el pH del jugo (San Martín et al, 2012). El jitomate debe ser cosechado con un grado de coloración 3 (escala USDA, 1995) el cual le confiere una vida postcosecha relativamente larga proporcionando frutos de mejor sabor y ningún inconveniente en su coloración final (Gómez, 2002).

3.16.1. Parámetros Físicos

3.16.1.1. Color

El color es una percepción humana de la luz reflejada en un objeto, una apreciación de como nuestros ojos detectan esta luz y de cómo nuestro cerebro lo procesa (Bautista et al, 2016). En el caso de los frutos es el primer factor de calidad observado por el consumidor; el cual si para él no es atractivo, el sabor y la textura no serán

atractivas con placer; el color es uno de los parámetros asociados con otros atributos tales como la firmeza y la respiración (Aular, 2002).

El color es uno de los parámetros más usados como índice de madurez no destructivo el cual determina el momento óptimo cuando el fruto es apto para la cosecha, el cual es caracterizado por un color de fondo de la piel, de verde a rojizo y por la firmeza de la pulpa, los cuales varían de acuerdo a las diferentes variedades lo que hace difícil generalizar el punto óptimo de la cosecha (Africano et al, 2015).

Bautista (2016) Indica que en frutos y vegetales el cambio de color es causado por la degradación de la clorofila y el descubrimiento o síntesis de pigmentos carotenoides en los cloroplastos y cromoplastos, y los pigmentos fenólicos: antocianinas, flavonoles y pro antocianidinas; su cambio está vinculado con la evolución de la textura, aroma y sabor que espera el consumidor en el momento de su consumo siendo relacionado con la resistencia a la penetración, atributo de calidad que denota calidad en el fruto siendo utilizado como un indicador de madurez en frutos

Para la medición de los frutos, León (2017) menciona que existen dos métodos básicos para la medición de color: el sensorial y el instrumental; el primer método utiliza un panel de consumidores o panel sensorial entrenado para evaluar visualmente el color mientras que el segundo consiste en una serie de técnicas que miden la reflectancia o transmitancia de muestras apoyados en equipos especializados como espectrofotómetros o colorímetros triestímulos; estos equipos describen matemáticamente la representación de los colores.

El espacio de color CIE- $L^*a^*b^*$ de la comisión internacional en iluminación (CIE) aceptado para evaluar el color en los alimentos y otros productos industrializados describe todos los colores percibidos por el ojo humano a partir de tres coordenadas $L^*a^*b^*$ en la cual L^* representa el brillo de la superficie y es exhibido en resultados como el cálculo de la intensidad de luz ($L = \% \text{ de luz reflejada}$; donde 100% es completamente blanco y 0% es completamente negro) el a^* representa la intensidad del color verde o rojo y el b^* la intensidad del color azul o amarillos (figura 16). Los valores de a^* y b^* son usados para calcular el ángulo de tono o matiz [representado

en términos de $^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$] y la saturación o intensidad de color [representada como el valor de $\text{Croma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$] (Aular, 2002).

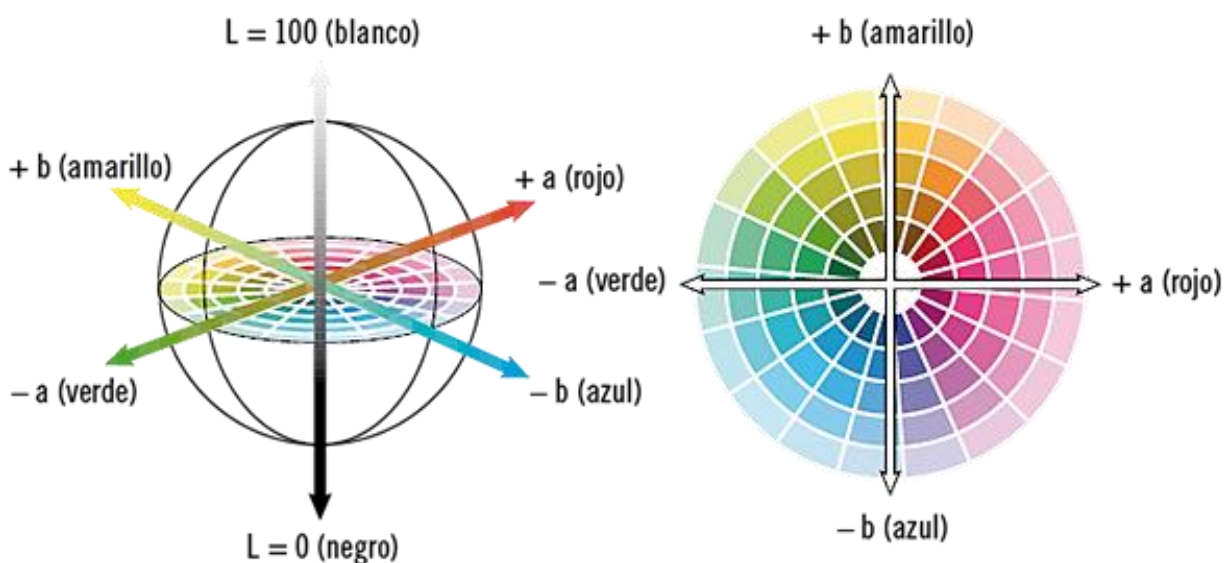


Figura 16. Representación del sistema CIE L*a*b* o CIELAB (Rettig & Hen, 2014)

En el jitomate, los pigmentos más importantes son los carotenoides y las antocianinas los cuales tienen un papel en la pigmentación. Los carotenoides comprenden a los carotenos como el licopeno, β -caroteno y las xantofilas que incluyen a la luteína. Las antocianinas pertenecen a la subclase flavonoide de los compuestos fenólicos, en lo que confiere a las antocianinas los cambios de temperatura juegan un factor importante: ambientes con temperaturas bajas favorecen la acumulación de antocianinas mientras que climas cálidos disminuyen la síntesis de estos compuestos (Martínez et al, 2017).

A medida que avanza el proceso de maduración los contenidos de clorofila disminuyen de manera significativa mientras que el contenido de carotenoides y antocianinas aumenta (Africano et al, 2015) El principal responsable del color rojo intenso es el nivel de concentración de licopeno, el caroteno, amarillo, xantofila, naranja y clorofila, verde; en el cual el licopeno en la mayoría de los casos alcanza

valores del 90% de los pigmentos totales convirtiéndose en la fuente principal de la dieta humana (Vasquez, 2015)

En el caso del jitomate para medir sus estados de maduración se ha optado por utilizar la carta de color de tomate recomendada por el departamento de agricultura de estados unidos (Figura 17).

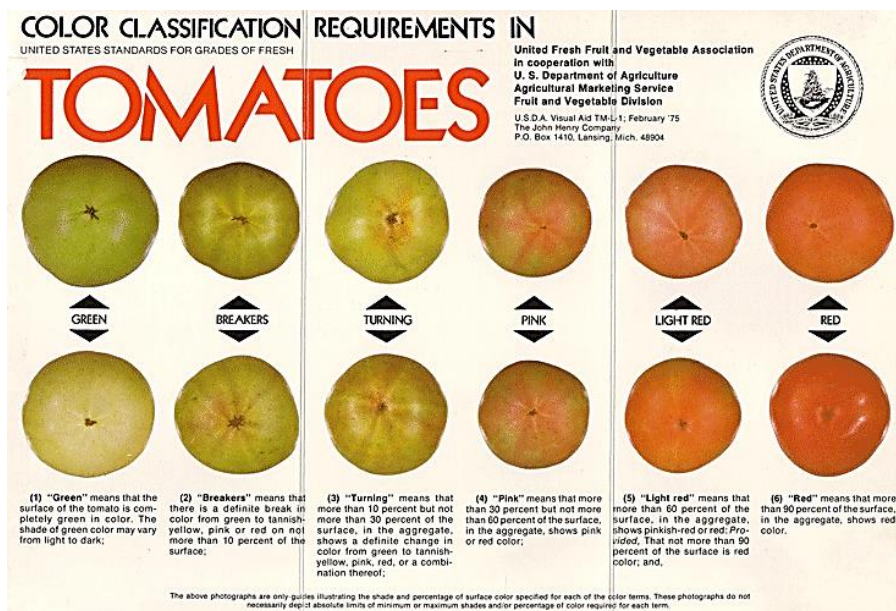


Figura 17. Carta de clasificación del color en Tomate del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. (Roach, 2008)

En el estado *Breaker* se aprecia un rompimiento del color verde a amarillo, rosado o rojo en no más del 10 % de la superficie del fruto. En el estado *Turning* existe entre el 10 y el 30 % el cambio definido de color verde al amarillo, rosa o rojo. El estado *Pink* muestra entre un 30 y un 60 % de la superficie del fruto de color rosa o rojo. En el estado *Light Red* más del 60 % de la superficie del fruto muestra un color rosado-rojo o rojo, pero no más del 90 %. En el estado *Red*, más del 90 % de la superficie es de color rojo (Cornejo et al., citado por León, 2017).

En el jitomate y sus derivados el color es el atributo más relevante que determina el nivel de aceptación tanto para los consumidores y para la industria. Las condiciones

ambientales y el manejo de la huerta, donde se incluyen el riego, la poda y la fertilización impactan fuertemente en la coloración de los frutos (Martínez et al, 2017).

3.16.1.2. Resistencia del índice de la cascara a la penetración

Después de la apariencia visual, el factor más importante de la calidad es la firmeza la cual está ligada con el estado de madurez y la variedad (García et al, 2009). La resistencia o firmeza de la pulpa es el parámetro más usado para establecer el grado de madurez de un fruto y es un indicativo sobre su vida útil potencial, el cual permite determinar los estándares de recolección, calidad y consumo los cuales a su vez están influenciados por cambios a nivel organoléptico como el desarrollo del sabor y aroma; en este parámetro el etileno tiene el papel de acelerar la senescencia, por lo que su concentración en el fruto afecta directamente la calidad, cantidades elevadas de etileno en el fruto originan una disminución considerable de firmeza en los tejidos durante el proceso normal de maduración (Africano et al, 2015).

La firmeza siendo el atributo más utilizado para describir la textura de los frutos se define como la resistencia a la deformación por la aplicación de la fuerza. Un indicador de la firmeza es la fuerza necesaria para causar una penetración con una sonda patrón dentro del fruto. Al mencionar la firmeza se hace mención de la dureza, la cual es la firmeza determinada de acuerdo con otros parámetros indicativos al igual que la consistencia en los frutos. Para determinar la firmeza se considera la resistencia del epicarpio y del exocarpio en los frutos la cual es determinada por ensayos de punción por medio de una aguja cilíndrica de acero con la base plana y un diámetro variable de 0.05 y 0.075 cm, siendo el valor referido para fuerzas de punción, la resistencia de la piel a la penetración de la sonda. La dureza del fruto puede determinarse de forma indirecta midiendo la relación fuerza de punción/ deformación en el punto de punción (en N o Kg/mm) (Teles, 2006). La firmeza de los frutos es un parámetro que tiende a disminuir a medida que avanza la maduración (Africano et al, 2015). La pérdida de firmeza resulta de la acción de tres enzimas principales: celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa siendo la ultima la que mejor se relaciona con el ablandamiento ya que su concentración se incrementa con la maduración. Esta enzima se sintetiza de

nuevo, por medio de un proceso que requiere de la presencia de oxígeno siendo estimulado por el etileno (Gómez y Camelo, 2002).

Una de las características más importantes de la madurez de los frutos es la textura. Siendo el mayor factor que determina la calidad y vida postcosecha de las frutas, (Meza, 2013). La textura es el resultado de la estructura interna del alimento, la cual es la expresión de las ligazones e interacciones que se establecen entre los diversos componentes que dependen de la naturaleza química de las moléculas que lo constituyen, en la calidad es un factor que describe la percepción en la boca, las características que tienen que ver con el sentido del tacto, propiedades cinestéticas o manifestación de las propiedades reológicas. En los alimentos es una propiedad sensorial que puede ser cuantificada si es reducida a sus componentes mecánicos. Para medir la resistencia a la deformación que ofrece un alimento provocada por acción de una fuerza se utilizan metodologías simples (Teles, 2006). El autor menciona que la textura puede ser afectada por constituyentes bioquímicos, orgánulos celulares, turgencia o contenido de agua y composición de la pared celular, del mismo modo indica que los cambios que ocurren en la textura ocurren durante el crecimiento y desarrollo involucrados en cambios en la estructura de la pared celular genéticamente programados y otros factores fisiológicos. La textura de los frutos se vincula con la composición química y estructural de la pared celular. Cuando un fruto se encuentra en etapa de inmadurez-madurez, el tejido es firme y presenta en sus paredes celulares aproximadamente 30% de celulosa, 30% de hemicelulosa, 35% de pectina y 5% de proteína; al madurar el fruto desarrolla cambios en su textura a consecuencia de la alteración en la composición de la pared celular. Las modificaciones de los polímeros que conforman la pared celular de las células del fruto durante la maduración involucran la acción coordinada de varias enzimas y proteínas modificadoras de la pared celular. Entre las enzimas se encuentran la pectinmetilesterasa y las pectinasas, las cuales solubilizan y despolimerizan estos compuestos cambiando la conformación de la pared celular y solubilizando sus componentes principales (Meza, 2013).

Uno de los principales factores asociado con el deterioro postcosecha de los frutos es la velocidad de ablandamiento, la cual provoca una vida de anaquel más corta

reduciendo los tiempos de transporte y distribución aumentando las pérdidas postcosecha. (Martínez et al, 2017). El ablandamiento de los frutos es una serie de eventos genéticamente programados caracterizados por procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran su firmeza, color, sabor y textura, dichos atributos de calidad son el resultado del proceso de maduración. El ablandamiento en los tejidos del fruto varía de acuerdo al especie y a la variedad y se debe a la degradación de pectinas y hemicelulosas de la pared celular de diferentes enzimas hidrolíticas (Bautista, et al, 2016). Dicho ablandamiento es causado por el efecto acumulativo de una serie de modificaciones que ocurren en las redes de polímeros que constituyen la pared celular primaria, el ablandamiento involucra tres pasos subsecuentes: 1) Relajación de la pared celular medida por expansinas; 2) despolimerización de hemicelulosas y 3) despolimerización de poliuronidos por la poligalacturonasa u otras enzimas hidrolíticas, lo cual contribuye a una pérdida de firmeza y cambios en calidad de la textura (Martínez et al, 2017). En las primeras etapas de maduración del fruto su textura y consistencia son óptimas, durante su maduración la sustancia adherente de las células, la pectina va degradándose junto con las sustancias pépticas, lo cual altera la textura o consistencia del fruto. En la maduración se expresan muchas enzimas relacionadas con la pared celular que modifican la plasticidad de la pared celular (del Pilar et al, 2007).

Los frutos de jitomate poco firmes son más susceptibles al daño físico lo cual reduce su resistencia al transporte. La calidad de los tomates es influenciada por la dureza de la epidermis, la firmeza de la pulpa y la estructura interna del fruto (relación material pericarpio/ material lóculos) (García et al, 2009). En mayoría de los frutos climatéricos como en el jitomate la máxima actividad de enzimas poligalacturonasa y celulasa corresponden a la pérdida máxima de firmeza de los tejidos, la cual se presenta en la madurez coincidiendo con la síntesis autocatalítica de etileno. En este punto entran el calcio y magnesio los cuales confieren alguna integridad y rigidez por lo cual si estos se presentan de manera limitada pueden ocasionar daños morfológicos, el calcio es el elemento asociado a alteraciones fisiológicas; dicho elemento se fija a las sustancias pépticas de la lámina media y a las membranas de la pared celular (Teles, 2006).

Batu citado por San Martin et al, (2012) menciona que los frutos 100 % comercializables deben presentar una firmeza de 1.45 N y en la etapa de uso doméstico mayor de 1.28 N. Dicho autor menciona que la firmeza es afectada tanto por la salinidad debido a una mayor actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular como por el aumento de pH (>8) causando el bloqueo del calcio disponible para las plantas.

3.16.2. Parámetros químicos

3.16.2.1. Sólidos solubles totales

La madurez fisiológica de los frutos está asociada básicamente a muchos cambios en su composición química los cuales pueden ser empleados como indicadores de madurez satisfactorios. Uno de los principalmente utilizados son los Grados Brix, los cuales representan el porcentaje de sacarosa presente en el jugo del fruto y son considerados como equivalente de sólidos solubles totales (SST) ya que el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares (Carlos y Sánchez, 2016). Los grados Brix son conocidos como las sustancias solubles en agua que reflejan un alto por ciento de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos en porcentaje, a valor mayor es más deseable. c en los sólidos solubles hay una correlación directa con la firmeza, a mayor concentración de estos es mayor la firmeza (Josafad et al., 2001).

Los SST o grados Brix constituyen el 80-95% de azúcares que contiene el fruto los cuales dependen de la variedad, del rendimiento asimilatorio de las hojas, de la relación hoja/fruto, de las condiciones climáticas durante el desarrollo y de la madurez. Los azúcares pueden ser transportados al fruto por la savia y aportados por el desdoblamiento de reservas de almidón de los frutos; cuando el fruto presenta su proceso de maduración en la planta los azúcares incrementan su concentración por la translocación de sacarosa en las hojas (del Pilar et al, 2007).

El contenido de los sólidos disueltos presente en el jugo varía de acuerdo a la calidad, el grado de madurez y las técnicas de cultivo, los componentes más abundantes en el

jugo son los azúcares y el ácido cítrico, además de otros ácidos que completan casi el total de los sólidos solubles. Los sólidos solubles del fruto están formados principalmente por los azúcares reductores, no reductores y por los ácidos. Los azúcares encontrados regularmente en los productos agrícolas son fructosa, especialmente en frutas; glucosa como componente de sabia de vegetales y sacarosa conocida como azúcar común siendo la más distribuida en el reino vegetal. En el proceso de maduración el contenido de azúcares aumenta y el de ácidos disminuye (Primo citado por Vargas, 2008).

El sabor de jitomate es un atributo subjetivo el cual está en función de la percepción del degustador. Los azúcares, ácidos y sus relaciones son importantes para la dulzura sobre todo en la intensidad de sabor de tomate, el cual puede verse afectado por los aromas de muchos constituyentes químicos y por los componentes volátiles abundantes en el fruto. La porción del pericarpio abundante en el fruto contiene más azúcares reductores y menos ácidos orgánicos que la porción locular, por consiguiente cultivares con gran porción locular y altas concentraciones de ácidos y azúcares tienen mayor sabor que aquellos con una porción locular (García et al, 2009). Gómez y Camelo (2002) mencionan que los azúcares en lo que respecta al sabor del jitomate constituyen el 60% de los sólidos solubles en donde predominan la Glucosa y fructosa y los ácidos orgánicos (en menor medida cítrico y en menor medida málico), aminoácidos, lípidos y minerales.

El contenido de sólidos solubles totales que contiene (expresado en °Brix), en la mayor parte de sus variedades se sitúa entre 4.5 y 7.5 °Brix, afectado por factores como el clima, el riego y el estado de madurez de los frutos y para el caso del puré, las pastas y concentrados de jitomate se sitúa entre 5 y 18 °Brix (Alarcón, 2014).

3.16.2.2. El índice de acidez (pH)

Se considera como la medida potenciométrica más importante utilizada en la industria agroalimentaria la cual cuantifica la concentración de H_3O^+ , existente en el jugo obtenido del licuado del fruto considerándose como la acidez activa. Se relaciona con el contenido de ácidos presentes, la capacidad de proliferación microbiana en conservación (valores bajos permitirán una vida de anaquel más amplia) ya que actúa

a nivel fisiológico en el fruto como barrera fisiológica natural frente a la acción microbiana. (Domene, 2014). El pH informa sobre la acidez del jitomate, el jugo del fruto en esta variable se sitúa generalmente entre 4.2 y 4.4 en donde es muy raro que sean superados dichos valores lo cual asegura su estabilidad microbiológica durante el procesado de elaboración de conservas. Dichos valores hacen que el jitomate sea un producto fácil de manejar a nivel industrial, lo cual influye sobre el contenido de solidos solubles en factores agrológicos, especialmente en la climatología durante el periodo de maduración y riego (García et al, 2009).

Peña et al (2014) mencionan que los valores para el jitomate entre 4,0 y 5,0 son los correctos para considerarlos en valores óptimos de calidad. El pH y la acidez titulable son dos parámetros que no están directamente relacionados ya que el pH depende de la concentración de hidrogeniones libres y de la capacidad tampón del jugo extraído, el comportamiento de pH a lo largo de la maduración del fruto es inversamente proporcional al contenido de acidez total titulable (Teles, 2006). Existe una asociación lineal negativa entre el pH y el contenido de ácidos en el fruto de jitomate; ésta puede observarse al analizar los ácidos constituyentes de varios tipos de jitomate y tejido del fruto, lo cual significa que cuando los ácidos orgánicos decrecen entre 25 y 35 %, el valor de pH aumenta, lo que pone de manifiesto esta correlación inversa con la acidez titulable. Por otra parte, el incremento en la salinidad y el amonio disminuye el pH en el jugo de jitomate. El pH normalmente aumenta a medida que el fruto crece, es más bajo en los estados iniciales de desarrollo (Baldomero, 2007).

El pH condiciona la actividad de un gran número de enzimas responsables de los sucesos claves tales como ablandamiento, color, etc. asociados a la maduración. (Valderrama, 2005). Casierra et al (2010) mencionan que asisten varios factores que pueden afectar el pH de los frutos, entre los cuales se encuentran los niveles óptimos de fertilización de potasio, tomando el valor del pH del jugo de los frutos al momento de observar la tendencia en el jugo del fruto asumen que al ser más básico hay mayor translocación de bases de calcio y potasio en la fertilización lo cual asociándolo al riego y la luminosidad tomando como referencia el efecto sombrío de las primeras horas

de la mañana y ultimas de la tarde incrementan de temperatura para la translocación de los nutrientes en el momento del riego.

3.16.2.3. Acidez titulable y azúcares reductores

La medición de la acidez es uno de los análisis más relevantes dentro de la calidad comercial en frutos, dicho análisis es expresado principalmente como ácido málico, cítrico o tartárico dependiendo del predominante en la fruta. La acidez es determinada por la concentración de ácidos que presenta el jugo de una fruta establecido en niveles mínimos posee la pulpa y expresados en masa/masa (Duran y Díaz., citado por Vargas, 2008). La acidez de los frutos se debe a la presencia de ácidos orgánicos que se encuentran almacenados en la vacuola, la acumulación de ácidos puede deberse a la desaminación de aminoácidos a los ácidos tricarboxílicos del ciclo de Krebs y a la translocación desde otras partes de la planta, hojas y frutos. Los ácidos ampliamente distribuidos y abundantes en los frutos son el cítrico y málico que pueden representar cada uno hasta el 3% del tejido sobre peso fresco; los ácidos quínico y siquímico (alicíclicos) son los ácidos hallados frecuentemente como metabolitos intermediarios. Los ácidos fenólicos (caféico, cumárico, etc.) que aparecen en los tejidos vegetales se originan en la ruta del ácido siquímico. Estos compuestos suelen encontrarse esterificados con azúcares, otros fenoles o formando parte de los taninos (Teles, 2006).

Del Pilar (2007) menciona que dentro de la importancia bioquímica, los ácidos orgánicos contribuyen en gran parte al sabor, en una relación típica entre azúcares y ácidos en las diferentes especies frutales; mencionando además que los precursores de los ácidos orgánicos en su mayoría son otros ácidos orgánicos o azúcares. Dicho autor señala que cuando un fruto tiene un contenido de azúcares alto, el nivel de los ácidos debe ser suficientemente elevado para satisfacer el gusto del consumidor. Al avanzar la maduración los ácidos orgánicos son respirados y se convierten en azúcares, disminuyendo su contenido, ácidos como el málico, succínico y cítrico se encuentran frecuentemente en la mayoría de los frutos. En algunos ácidos orgánicos su concentración no siempre decrece con la maduración, por ejemplo en el banano

donde hay significativo incremento en la concentración de ácido málico y un descenso de pH (Valderrama, 2005).

El sabor del jitomate es el resultado de diversos componentes aromáticos, volátiles y no volátiles y de una compleja interacción de los mismos. Para un mejor sabor se requiere un contenido alto de azúcares y ácidos, un contenido alto de ácidos y bajo de azúcares produce un sabor ácido mientras que uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave y ambos bajos dan un sabor insípido. Los frutos de jitomate contienen azúcares reductores como fructosa y glucosa y trazas de sacarosa que constituyen 53 a 65% de los sólidos solubles, ácido cítrico (9%) y málico (4%) principalmente la vitamina C (ácido ascórbico) aminoácidos (2-2.5%), carotenoides, compuestos volátiles responsables del aroma, sales minerales (8%) y sustancias pépticas de la pared celular (San Martín et al, 2012). La acidez total y los azúcares reductores influyen sobre el sabor del fruto, la acidez total se debe a la presencia de diversos ácidos orgánicos en el tomate, los cuales son el ácido tartárico, málico, cítrico, succínico y glutámico pero en su mayoría el ácido cítrico el cual suele oscilar entre 0,35 y 0,40 g/100 ml de zumo (Alarcón, 2013). Dentro de los parámetros que muestran la calidad interna de tomate para la industria siendo la acidez titulable y los azúcares reductores, dicho autor indica que la acidez total se presentada en el zumo debe ser de 3,5 y 4,0 g L⁻¹ y los azúcares reductores entre 25 y 30 g L⁻¹. La porción del pericarpio contiene los azúcares reductores y menos ácidos orgánicos en la porción locular, por lo cual cultivares con una gran porción locular y altas concentraciones de ácidos y azúcares tienen mayor sabor que aquellos con una pequeña porción locular (García et al, 2009). En lo que refiere a la relación °Brix/acidez, los autores anteriores mencionan que el índice de madurez indica el incremento en sólidos solubles o el crecimiento de acidez titulable los cuales provocan un aumento en el índice de madurez, siendo un acercamiento a la madurez de consumo.

3.16.3. Fisiología poscosecha

3.16.3.1. Madurez

La madurez es el factor más importante que determina la vida de almacenamiento y la calidad final de la fruta. (Meza, 2013). Es un proceso reversible que ocurre en los frutos o verduras identificadas y asociadas al proceso de recolección, para identificarlo se establecen índices de recolección, los cuales son utilizados para mitigar o retrasar la senescencia del fruto. La madurez es un proceso fisiológico y bioquímico que está bajo control genético y hormonal identificado por múltiples cambios a nivel celular más que por un aumento de tamaño (Hernández et al, 1998). La definición de maduración tiene varios significados: para el consumidor se refiere a los cambios de color, textura, sabor, aroma que convierten al producto apto para el consumo, para el comerciante o el productor la maduración tiene aspectos adicionales como los cambios físicos y químicos que ocurren con el tiempo y afectan la calidad, susceptibilidad a bajas temperaturas, resistencia a infecciones etc.

En la fisiología poscosecha la maduración es definida como el estadio en el que los productos alcanzaron un estado de desarrollo suficiente para que en su cosecha y durante la poscosecha mantengan una calidad aceptable para el consumidor. La maduración es un proceso fisiológico importante para determinar los parámetros de calidad interna y externa en el cual se establece el momento de la cosecha de los frutos de las hortalizas. Durante este proceso se producen cambios o alteraciones en la composición química de los frutos que determinan sus propiedades organolépticas como textura, aroma, sabor y olor. (Alarcón, 2013).

La maduración corresponde a una serie de acontecimientos fisiológicos, bioquímicos y estructurales programados para cumplir la expresión de genes específicos. El desarrollo del proceso de maduración depende de un complejo equilibrio de hormonas inductoras (etileno y ácido abscísico) e inhibidoras (auxinas, citoquininas y giberelinas) que regulan los mecanismos químicos (Teles, 2006).

En la maduración, las frutas inmaduras son más propensas a la marchitez por pérdida de agua y al daño mecánico siendo de calidad inferior cuando maduran; las frutas sobre maduras se vuelven blandas, harinosas e insípidas casi inmediatamente después de la cosecha, por tanto cualquier fruta cosechada, prematura o tardía es más susceptible a la incidencia de desórdenes fisiológicos teniendo una vida de almacenamiento más corta que la cosecha de madurez optima (Meza, 2013).

del Pilar et al (2007) Indica que en la madurez de los frutos se manejan tres estados:

- Madurez fisiológica: momento en el que la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, en el cual todas sus partes especialmente la semilla están formadas, maduras y aptas para la reproducción.
- Madurez de cosecha o comercial: etapa fisiológica de desarrollo de la fruta en el cual es desprendida del árbol llegando a desarrollar su madurez de consumo.
- Madurez de consumo: momento del desarrollo fisiológico del fruto en el que todas sus características sensoriales (color, aroma, textura, consistencia) son completas y armónicas.
- Senescencia: proceso que sigue de la madurez fisiológica o comercial de los frutos que lleva a la muerte de los tejidos vegetales.

Meza (2013) menciona que la senescencia es el envejecimiento natural de los tejidos vegetales y es estimulado por la presencia de etileno y tasas aceleradas de respiración, la cual afecta todos los aspectos de calidad, terminado con la muerte del producto. Algunos cambios de la senescencia pueden afectar específicamente tipos de productos procesados, cambios físicos y químicos de celular.

En el proceso de maduración ocurren alteraciones en los compuestos formados durante el crecimiento y desarrollo de los frutos permitiendo a los frutos climatéricos madurar después de la cosecha aunque hayan sido cosechados en un estado poco maduro siempre que la maduración fisiológica haya sido alcanzada. En el cuadro 8 se

presenta esquemáticamente e la evolución de los constituyentes químicos que más coinciden con la calidad del fruto durante el desarrollo y maduración.

Cuadro 8. Cambios de los constituyentes químicos durante la maduración

Criterio de calidad	Constituyente químico implicado		Modificaciones del criterio
COLOR	Clorofila	Carotenos	Cambios de color de piel y pulpa
		Xantofilas	Coloraciones amarillo-rojizas
		Favonoides	
		Antocianinos	
SABOR	Almidón	Carbohidratos	Aumento del dulzor
	Ácidos orgánicos	Proteínas	Disminución de la acidez
	Taninos		Aumento de la calidad nutritiva
			Disminución de la astringencia
AROMA	Compuestos aromáticos		Desarrollo del aroma y perfume
TEXTURA			Disminución de la dureza
	Protopectinas	Pectinas Solubles	Ablandamiento del fruto

Fuente:(Teles, 2006)

La maduración del jitomate comprende los cambios físicos y químicos que ocurren en el fruto fisiológicamente maduro, dando lugar a un producto atractivo por su apariencia externa, aroma y sabor. Dichos cambios se deben a importantes transformaciones en la actividad enzimática y composición que determinan el sabor característico; en el cual entra el color siendo uno de los aspectos más notable durante la maduración de los frutos de tomate. Dentro del proceso madurativo se destaca la degradación del almidón y el aumento de azúcares reductores mientras que los ácidos orgánicos disminuyen como típico fruto climatérico). El signo más visible de la maduración organoléptica del jitomate es el cambio de la coloración verde a roja, el cual se debe a

la descomposición de clorofila y a la síntesis de licopeno y otros carotenoides; el segundo signo característico es el ablandamiento que acompaña al cambio de color. Este cambio ocurre debido a la síntesis de la enzima poligalacturonasa, la cual es activa en la degradación de la pared celular y por lo mismo en el ablandamiento (García et al, 2009).

En el caso del jitomate la maduración se caracteriza por una fase inicial donde el crecimiento es lento, con una alta división celular, seguida de un periodo de marcado incremento en tamaño y peso, mayor expansión celular y un ritmo de crecimiento que decrece, en esta etapa es donde se inicia la maduración organoléptica del fruto (Alarcón, 2013).

3.16.3.2. Respiración

Las frutas y hortalizas son organismos vivos y su tasa de respiración es de suma importancia en cuestiones de calidad. Una tasa de respiración elevada reduce la vida útil del producto. La respiración es un proceso donde los carbohidratos, proteínas y lípidos se transforman en moléculas más simples para proveer las demandas energéticas que requiere el fruto para su actividad funcional vital y para la síntesis otros metabolitos. En la respiración suceden tres procesos simultáneos que ocurren en la mitocondria de las células: la glucólisis, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos y el sistema de transporte electrónico (León, 2017). Dicho proceso se describe como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células. Como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas en las reacciones sintéticas que tienen lugar en las celular (Teles, 2006).

La respiración tiene tres fases las cuales son: la descomposición de polisacáridos en azúcares simples, la oxidación de azúcares simples y la transformación aeróbica del piruvato y de otros ácidos orgánicos en CO₂, agua y energía y es afectada por dos factores internos: tales como estado de desarrollo, composición química del tejido, tamaño del producto, cubiertas naturales y tipo de tejido. Y factores externos: tales

como temperatura, etileno, oxígeno disponible, dióxido de carbono, reguladores del crecimiento, lesiones de fruto. García et al (2009). En la respiración, los frutos son definidos fisiológicamente con base en la presencia (climatéricos) o ausencia (no climatéricos) de un aumento en la respiración y en la síntesis del etileno al comienzo de la madurez de consumo:

frutos climatéricos: son aquellos que pueden madurar no solo adheridos de la planta sino también después de la cosecha cuando son cortados en la etapa pre climatérica como en el caso del jitomate (*Solanum lycopersicum*), la manzana (*Malus domestica*) y el plátano (*Musa spp*), este tipo de frutos alcanza más pronto la senescencia en vista de que presentan un aumento repentino (pico climatérico) de su actividad respiratoria durante la maduración mientras que los no climatéricos exhiben un descenso gradual de su respiración durante su maduración

Frutos no climatéricos: solo alcanzan la maduración cuando aún están unidos a la planta, ya que no presentan un aumento en la respiración y en la producción de etileno después de la cosecha como son la fresa (*Fragaria spp*), la uva (*Vitis vinifera L*) y los cítricos. Dichos frutos no desarrollan los patrones climatéricos que incluyen el aumento en la respiración, biosíntesis de etileno y respuesta autocatalítica al etileno, pero muestran algunas variaciones típicas de etileno como desverdecido (cambios en la coloración de verde a amarillo o anaranjado y ablandamiento (síntesis de enzimas que degradan la pared celular) llevando los mismos cambios bioquímicos en el color, textura, sabor y olor del fruto (Martínez et al, 2017).

En los frutos climatéricos es un incremento en la producción el climaterio es un dramático incremento en la producción de etileno (Figura 18), este incremento es autocatalítico. El periodo climatérico consiste en el preclimatérico, mínimo preclimatérico, incremento climatérico, pico climatérico y fase postclimatérico (Vendrell., citado por Vargas, 2008).

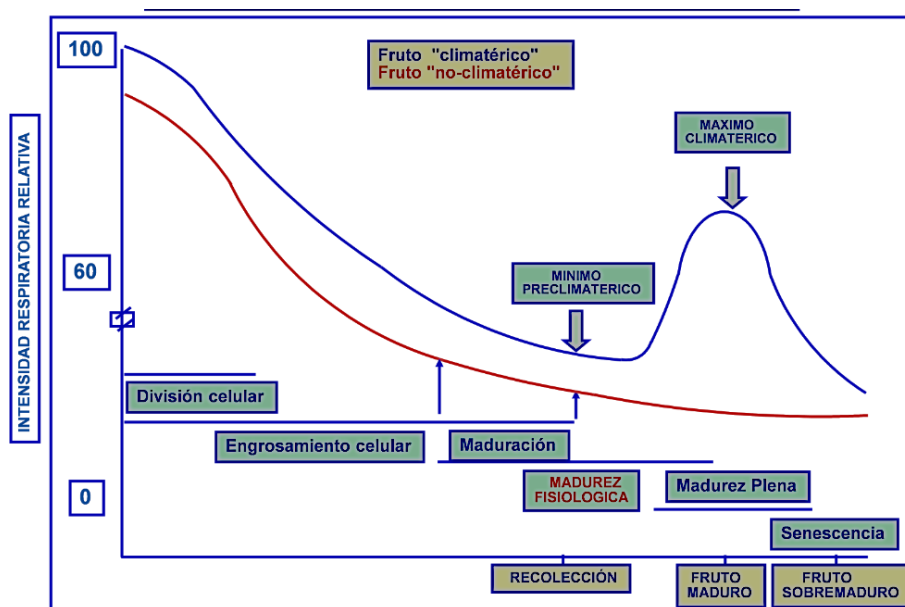


Figura 18. Patrones respiratorios de frutos climatéricos y no climatéricos (Alique, 2013).

El término climatérico está asociado a una fase crítica de la vida del fruto inducido por el etileno (hormona de la maduración) en la que sufre cambios intensos fisiológicos y metabólicos. En el climaterio se desarrollan una serie de transformaciones internas irreversibles que conducen a una degradación de los compuestos acumulados (hidrólisis, destrucción de las paredes pectocelulósicas, degradación de los ácidos orgánicos, activación de los metabolitos secundarios involucrados en la pigmentación de los frutos, etc.) permitiendo el paso de un fruto no comestible a un fruto tierno, agradable a la vista y la paladar. Estas transformaciones son acompañadas por una intensificación de la actividad respiratoria y se caracterizan por una liberación de etileno siendo el activador de maduración (Teles, 2006).

Según Alviar y Torres., citado por Vargas (2008) la respiración es afectada por:

- ❖ Factores propios del producto: Variedad, el grado de madurez en recolección, variables de prerrecolección, factores ecológicos y agrotécnicos del cultivo.

- ❖ Factores externos o ambientales: Temperatura, composición de la atmosfera, nivel del etileno circulante, daños mecánicos además de podredumbres.

La temperatura es un factor determinante en el deterioro de los productos frescos y de la potencial vida útil y comercialización de los mismos. Las bajas temperaturas disminuyen los valores de la intensidad respiratoria y en frutos climatéricos retrasan el máximo climatérico. El fenómeno de la respiración está ligado con la temperatura, ya que a bajas temperaturas los niveles respiratorios son bajos como la emisión de calor, siendo verificada en lo contrario a altas temperaturas.

Tanto en frutos climatéricos como en no climatéricos, al descender la temperatura disminuye el ritmo de deterioro, es decir la calidad se mantiene más tiempo y aumenta la vida útil. En el caso de los frutos climatéricos se puede recurrir a las bajas temperaturas para retrasar el comienzo de la maduración organoléptica (Teles, 2006).

3.16.3.3. Etileno

El crecimiento y desarrollo del fruto son controlados por la producción de hormonas las cuales son susceptibles a los cambios ambientales entre las cuales se encuentra el etileno (C_2H_4), el cual controla muchos procesos en la planta superiores, como la senescencia de los órganos, respuesta al estrés, la germinación de la semilla, la cicatrización de heridas además entre otras hormonas e iones metálicos (Martínez et al, 2017).

El etileno se compone de dos átomos de carbono unidos por un doble enlace, es el hidrocarburo más simple y tiene un peso molecular de 28.05 g/mol (León, 2017).

Dicha hormona se produce en el fruto mediante la siguiente ruta: el aminoácido metionina, (MET) presente en el fruto es el indicador de su síntesis, este es convertido a S-adenosilmetionina (SAM) por adición de adenina, (SAM) es convertido a ácido carboxílico 1-amino-ciclo-propano (ACC) por la enzima ACC sintasa. La producción de ACC es a menudo el punto de control para la síntesis de etileno o naturalmente por dos carbonos simples gaseosos, es regulador de crecimiento por sus numerosos

efectos sobre el crecimiento, desarrollo y vida de almacenamiento de frutas, vegetales y productos ornamentales (Saltveit., citado por Vargas, 2008).

El etileno es el responsable de regular los principales cambios durante la maduración entre los cuales destacan el incremento en la tasa respiratoria, sólidos solubles totales, cambios en el color de la epidermis y pulpa, disminución en la acidez total titulable y en la resistencia o la firmeza de la pulpa entre otros procesos asociados con la maduración y senescencia de los frutos.(Africano et al, 2015).

Esta hormona tiene un papel importante en la madurez de las frutas climatéricas activando rutas metabólicas de procesos de maduración. Todas las células producen bajos niveles de etileno, algún tipo de estrés en los tejidos vegetales puede incluir una excesiva pérdida de agua, daños físicos, o ataques de patógenos (Meza, 2013).

El etileno tiene la característica de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelerando su maduración y senescencia. Aun en bajas concentraciones tiene efectos marcados en los frutos especialmente en los climatéricos, de tal forma que aumentan su tasa respiratoria y ayuda a la degradación de la clorofila. En algunos casos el etileno es necesario para uniformizar el color, la maduración de un producto o mejorar su presentación.(Barrera et al., 1998).

Los efectos negativos o positivos del etileno dependen del producto, en hortalizas de hoja puede ser nocivo, ya que si se degrada la clorofila toman una tonalidad amarillenta que no es adecuada, en flores acelera la caída de pétalos y en frutas ayuda a desarrollar el color característico de las mismas. En el siguiente cuadro se muestran los diferentes niveles de producción de etileno en base a como están clasificados algunos frutos hortícolas.

Cuadro 9. Clasificación de especies hortícolas de acuerdo a su nivel de producción de etileno

Clase	Rango a 20°C	
	(µL de C ₂ H ₄ /Kg* hr)	Especie
Muy bajo	Menor a 0,1	Alcachofa, uva, espárrago, coliflor, cereza, fresa, granada, cítricos, raíces, papa, la mayoría de flores de corte, ají, cocona
Bajo	0,1 - 1,0	Mora, arándano, melón, cocombro, oliva, pimienta, pina, tamarindo, papa criolla
Moderado	1,0-10,0	Banano, guayaba, higo, melón, mango, lychhee, plátano, tomate,
Alto	0-100,0	Manzana, albaricoque, melón cantaloupe, feijoa, kiwi, nectarin, papaya, durazno, pera, ciruela, araza, uchuva
Muy alto	Mayor de 100,0	Chirimoya, maracuyá, zapote, gulupa, cholupa

Fuente: Kader,1994; Hernández et al. 2007; Hernández et al, 2009; Ruiz et al, 2010

El nivel de etileno en las frutas aumenta con la madurez del producto, el daño físico, incidencia de enfermedades y temperaturas altas. El almacenamiento refrigerado y el uso de atmosferas con menos de 8% de O₂ y más del 20% de CO₂ contribuyen a mantener bajos niveles de etileno en el ambiente de poscosecha. El etileno es usado principalmente para inducir la maduración de consumo de frutas climatéricas como el plátano y para desarrollar el color típico de ciertas frutas no climatéricas como los cítricos (Camo y Hernández, 2018).

La biosíntesis del etileno se produce en la mayoría de los tejidos de plantas; en los frutos existen dos sistemas distintivos de biosíntesis.

El sistema 1 corresponde a una baja producción de etileno en el periodo pre-climatérico de los frutos climatéricos y está presente a lo largo del desarrollo de frutos no climatéricos.

El sistema 2 se refiere a una producción de etileno autorregulatoria llamada “síntesis autocatalítica”, y es específica para frutos climatéricos. Es decir, que en el inicio de la maduración, los frutos climatéricos presentan un punto máximo de respiración, seguido por una explosión en la producción de etileno, mientras que, en los frutos no climatéricos, la maduración es independiente del etileno, el cual está presente solo a un nivel basal (Martínez et al, 2017).

IV. JUSTIFICACIÓN

La presencia de suelos improductivos por sobreexplotación o por carencia de propiedades fisicoquímicas apropiadas para la agricultura sobre el cultivo de diferentes frutos ha llevado a tomar nuevas alternativas sobre las técnicas de cultivo en plantas, optando por el uso de materiales o minerales utilizándolos como sustratos agrícolas. Actualmente el sustrato representa un componente importante en la agricultura moderna principalmente en los sistemas hidropónicos de especies hortícolas siendo esencial en el desarrollo de plantas y por consiguiente en la producción de frutos. La calidad de la planta y el fruto pueden ser afectados por el sustrato de varias maneras tales como en el conocimiento de sus diferentes propiedades fisicoquímicas mencionando la buena retención de humedad, baja salinidad, porosidad total de 70% aproximadamente con base en el volumen del sustrato, adecuada capilaridad y pH, CE y CIC aceptable y de los factores: físico, económico y ecológico tales como al medio natural del cual proviene el sustrato.

De acuerdo a lo anterior podemos observar que trabajos tales como la evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) con diferentes niveles de compost como sustrato orgánico en invernadero realizado por Alarcón (2014) evaluando el peso del fruto (g), el diámetro ecuatorial y polar (cm), el diámetro de la pulpa (mm), sólidos solubles (°brix) y rendimiento total (kg), la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero con porcentajes de compost en el sustrato realizado por (Aguilar, 2017) evaluando la altura de la planta (cm), peso del fruto (g), diámetro ecuatorial y polar (cm), espesor de la pulpa (cm) y sólidos solubles (°brix), el efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum*

esculentum mill) bajo condiciones de invernadero realizado por Ortega et al., (2010) evaluando la altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), número de flores, número de frutos por planta-racimo, rendimiento por planta (kg/planta), tamaño y diámetro (cm) del fruto y la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum mill*) hidropónico con sustratos, bajo invernadero realizado por Zarate (2007) evaluando la altura (m) y grosor de la planta (cm), numero de racimos por planta, numero de frutos por racimo, peso total de frutos (kg planta⁻¹), diámetro ecuatorial y polar (cm), color (°hue, croma y luminosidad), pH solidos solubles totales (°brix) y acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico) centran su estudio en el efecto del sustrato sobre la planta y su rendimiento pero pocos están enfocados en la evaluación de dichos sustratos sobre la calidad del fruto.

Debido a esta observación en el presente trabajo se propone evaluar el efecto de 14 sustratos hidropónicos, de origen mineral, orgánico y mezclas de los mismos, sobre los principales parámetros de calidad física, química y fisiológica del jitomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette de acuerdo a las especificaciones de la Norma Mexicana -NMX-FF-031-1997-SCFI.

Siendo evaluado el fruto por medio de diferentes técnicas postcosecha y posteriormente analizado estadísticamente arrojará resultados que permitirán la toma de decisiones al seleccionar los sustratos más apropiados considerando su disponibilidad, costo y rentabilidad desde el punto de vista técnico satisfaciendo de esta manera las necesidades y objetivos deseados del productor y en el caso del consumidor permitiéndole conocer un fruto con una mejor calidad siendo reflejada por sus propiedades fisicoquímicas.

V. HIPOTESIS

El sustrato hidropónico puede afectar el rendimiento e influir en la calidad del fruto repercutiendo posiblemente en sus propiedades fisicoquímicas

VI. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tipo de sustrato sobre los parámetros fisicoquímicos y fisiológicos del jitomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette. Hidropónico

6.2. Objetivos Específicos

- Analizar los parámetros fisicoquímicos de vida postcosecha del jitomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette producido bajo diferentes sustratos.
- Analizar los parámetros fisiológicos de vida postcosecha del jitomate (*Solanum lycopersicum*) tipo 'saladette' producido bajo diferentes sustratos.
- Evaluar el rendimiento del fruto de jitomate en función del sustrato hidropónico.
- Determinar si existe algún nivel de correlación entre parámetros fisicoquímicos y fisiológicos en fruto con relación al tipo de sustrato.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y establecimiento del experimento

El trabajo experimental se llevó a cabo en un invernadero tipo medio túnel con 2 túneles de 315 metros cuadrados (Anexo 1) del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco con dirección: Av. 25 Poniente No. 100, Colonia Reserva Territorial situado en el municipio de Huatusco (figura 19).



Figura 19. Ubicación de Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

El municipio está ubicado entre los paralelos 19° 04' y 19° 13' de latitud norte con meridianos 96° 41' y 97° 04' de longitud oeste, altitud entre 400 y 2,000 m, presenta un clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (48%), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (42%), cálido subhúmedo con lluvias en verano con humedad relativa (6%), temperatura de 16-26 grados centígrados, un rango de precipitación de 1100-1600 mm y suelo tipo cambisol y luvisol; el primero tiene en el subsuelo una capa parecida a suelo de roca mientras que el segundo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo con vegetación natural de selva o bosque susceptible a la erosión. Dicho municipio es rico en materiales de origen natural, sintético, mineral u orgánico presentados en el suelo tales como: roca ígnea extrusiva, toba básica (71%), brecha volcánica básica sedimentaria (5%), caliza (15%) y arenisca conglomerado (7%) (Figura 20).

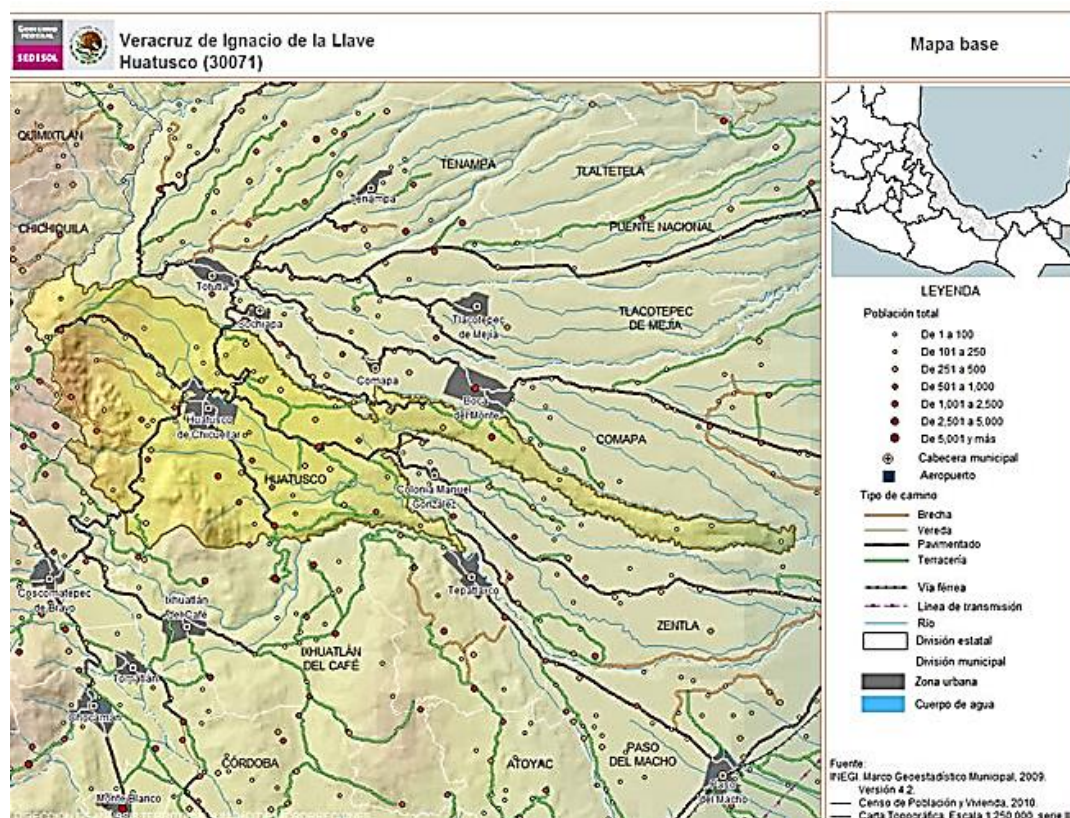


Figura 20. Ubicación del municipio de Huatusco

El sitio donde se realizó el análisis del rendimiento y la medición de diámetro ecuatorial y polar de los frutos fue en el laboratorio de ciencias básicas del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco mientras que para los análisis de la medición de color en cascara, resistencia de la cascara a la penetración, valor de pH, acidez titulable, sólidos solubles totales y tasa de producción de etileno y CO₂ de los frutos, el sitio fue la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (*UNIDA-Instituto Tecnológico de Veracruz*) (Anexo 2) en el laboratorio de postcosecha

El fruto utilizado para el experimento fue Jitomate tipo saladette empleándose el Híbrido comercial el Cid de la empresa Harry's Moran

7.1. Pruebas físicas

7.1.1 Rendimiento

Para determinar el rendimiento se utilizó el número disponible de frutos en estado de maduración *Red* de cada tratamiento manejando las cuatro repeticiones considerando ocho plantas en función de los primeros ocho cortes de manera habitual. Los frutos recolectados de los tratamientos fueron trasladados al laboratorio de ciencias básicas del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco donde se pesaron, registrando los valores obtenidos de acuerdo a cada corte.

El rendimiento se obtuvo de la suma de los pesos totales de los frutos de cada tratamiento durante los primeros ocho cortes, presentando el rendimiento total de la cosecha de los frutos de jitomate de cada sustrato hidropónico evaluado, los resultados fueron ordenados descendientemente para apreciar el tratamiento con mayor y menor rendimiento presentados mediante una gráfica (Figura 28) reportando los resultados en kilogramos.

Los resultados del cuadro 11 son reportados en Kg/planta correspondientes a la media del rendimiento total de los frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado, la media es resultado de los datos de los pesos totales de cada tratamiento por corte

Para el rendimiento se utilizó una Báscula digital Torrey (Figura 21) con capacidad de 40 kg de acuerdo al corte habitual de los frutos.



Figura 21. Báscula digital utilizada para obtener el peso de los frutos

7.1.2. Medición del diámetro ecuatorial y polar del fruto

Para la medición del diámetro ecuatorial y polar se utilizó el numero disponible de frutos de cada tratamiento manejando las cuatro repeticiones en función de los primeros ocho cortes de manera habitual tomando en consideración ocho plantas por tratamiento.

Para esta variable se utilizaron frutos en estado de maduración *Red*. Los frutos recolectados fueron trasladados al laboratorio de ciencias básicas del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco donde se midieron, registrando los valores obtenidos de acuerdo a cada corte Los valores fueron obtenidos a partir del promedio total del diámetro ecuatorial y polar de los frutos de cada tratamiento de los ocho cortes de los cuales se calculó la media de ambos diámetros.

Los resultados del cuadro 12I son reportados en centímetros correspondientes al promedio total por ciclo de la cosecha de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado Para medir el diámetro ecuatorial y polar de los frutos se utilizó un calibrador vernier digital con la unidad de medida proporcionada en milímetros (Figura 22).



Figura 22. Calibrador vernier digital para medir el diámetro ecuatorial y polar del fruto

7.1.3. Medición del color en cáscara

Para medir el color en cascara se utilizaron tres frutos en estado de maduración *Red* de cada tratamiento por repetición manejando las cuatro repeticiones recolectando en total doce frutos por tratamiento, los cuales fueron analizados en el laboratorio de postcosecha encontrado en la UNIDA (Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos) en el Instituto Tecnológico de Veracruz. La medición se realizó con ayuda de un colorímetro MiniScan™ XE Plus, con tipo de fuente iluminante estandarizada D65 el cual se asemeja a la luz del medio día- y el ángulo de observador a 10° (Figura 23).

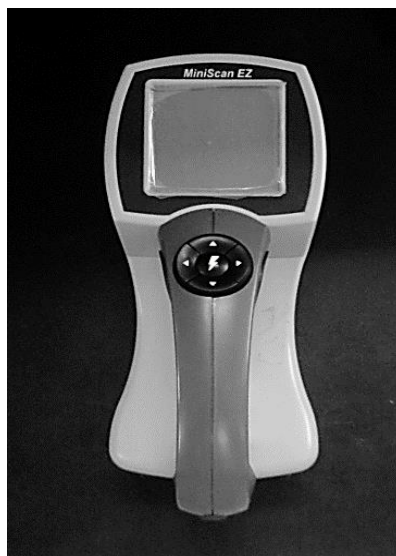


Figura 23. Colorímetro MiniScan™ XE Plus para medir el color de la cascara del fruto

La calibración fue realizada usando un estándar blanco y una trampa de luz (negro). El color de cáscara fue expresado directamente por el apartado como coordenadas de color en el espacio tridimensional L^* , a^* , b^* (CIELAB).

Estas coordenadas representan una escala arbitraria y nos dan la mejor interpretación de la apariencia visual de color, por lo que los resultados se exhiben como el cálculo de la intensidad de luz ($L = \%$ de luz reflejada; donde 100% es completamente blanco y 0% es completamente negro), a^* representa la intensidad del color verde o rojo y b^* la intensidad del color azul o amarillos. Los valores de a^* y b^* son usados para calcular el ángulo de tono o matiz [representado en términos de $^{\circ}Hue = \tan^{-1} b^*/a^*$] y la saturación o intensidad de color [representada como el valor de Croma $= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$] (McGuire, 1992; MiniScan™ XE Plus, 1998).

Los valores de L , $^{\circ}Hue$ y Croma, representan el promedio de tres lecturas por fruto marcadas en la zona basal, media y proximal. Al tener el promedio de las tres lecturas de cada fruto se registraron tres promedios correspondientes a los tres frutos utilizados por repetición.

De los tres promedios se obtuvo la media de los valores de L , $^{\circ}Hue$ y Croma de los frutos de cada tratamiento por repetición; obteniendo así los valores de las cuatro repeticiones. Los resultados del cuadro 13 se reportan como $^{\circ}Hue$, Croma y porcentaje de luminosidad y representan la media de los frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado, la media es resultado del valor de $^{\circ}Hue$, Croma y L de las cuatro repeticiones.

7.1.4. Resistencia de la cascara a la penetración

Para la medir la resistencia de la cascara a la penetración se utilizaron los doce frutos en estado de maduración *Red* de cada tratamiento procedentes de la medición de color en cascara.

La medición fue realizada en la zona ecuatorial y transversal del fruto por medio de un texturometro digital marca Guss FTA GS 25 (Figura 24) con el cual se aplicó una fuerza de compresión con una punta cónica de cinco milímetros de diámetro.



Figura 24. Texturometro digital marca Guss FTA GS 25 y computadora portátil marca Toshiba con el software para medir la resistencia a la penetración en frutos

Las lecturas directas del aparato se obtienen en 3 kilogramos de fuerza (kgF) necesarios para penetrar la cáscara o la pulpa, este valor se multiplica por un factor de conversión para obtener la resistencia de la cáscara en Newtons (N) de la manera siguiente: $(\text{kg F}) \times 9.807 = \text{Newtons (N)}$.

Por medio de las dos lecturas resultantes del texturometro fue obtenido el promedio individual de cada fruto, registrando así doce lecturas del promedio individual de cada fruto de los cuales se obtuvo como resultado la media de cada tratamiento el cual corresponde a cada sustrato hidropónico evaluado.

los resultados de esta variable fueron reportados como la fuerza requerida para que la punta cónica del penetrometro se introduzca hasta la pulpa (NMX-FF-014-1982)

7.2 Pruebas químicas

7.2.1. Valor de pH

Para el valor de pH se utilizaron tres frutos en estado de maduración *Red* de cada tratamiento por repetición manejando las cuatro repeticiones recolectando en total

doce frutos por tratamiento registrando una lectura por fruto, los cuales se recolectaron y se trasladaron al laboratorio de postcosecha encontrado en la UNIDA (Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos) en el Instituto Tecnológico de Veracruz.

Dentro del laboratorio los frutos fueron seleccionados por tratamiento y lavados con agua destilada para eliminar algún residuo contaminante y posteriormente se secaron, el jugo de la pulpa de los frutos fue extraído por medio de un Braun Multipractic MR 400 HC de 200 W de potencia y frecuencia de operación de 60 Hz separándolo de las semillas con una coladera para realizar la medición. (Anexo 3).

Los resultados del cuadro 15 son la media del valor pH correspondiente a los frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado, la media es resultado de las doce lecturas de pH por medición directa de los frutos de cada tratamiento.

El valor de pH se realizó por medición directa en el jugo de la pulpa del fruto empleando un potenciómetro THERMO-ORION® modelo 5 STAR equipado con un electrodo de combinación de vidrio (Figura 25).



Figura 25. Potenciómetro THERMO-ORION® modelo 5 STAR para medir el pH del jugo de los frutos

7.2.2 Acidez titulable

Para la determinación del contenido de acidez se utilizó el jugo de la pulpa de cada uno de los doce frutos de cada tratamiento procedentes de la medición del valor de pH, de los cuales se registró una lectura por fruto

La acidez titulable se midió con titulaciones potenciométricas con NaOH al 0.1 N usando fenolftaleína como indicador en 1 gr de jugo colocándose en matraces de vidrio de 250 ml, más 50 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína (Figura 26).



Figura 26. Material utilizado para determinar el contenido de acidez titulable presente en el fruto

La cantidad gastada se promedió con el duplicado y se usó la fórmula siguiente para calcular el % de acidez expresado como mili equivalentes de ácido cítrico anhidro (AOAC, 1990):

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{(\text{mL g de NaOH})(\text{N del NaOH})(0.006404)}{1 \text{ gr de jugo}} (100)$$

Los resultados del cuadro 16 corresponden a la media del porcentaje de acidez de los frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado, la media es resultado de las doce lecturas de los porcentajes de acidez de los frutos de cada tratamiento.

Los resultados son reportados como porcentaje de ácido cítrico dado que Nuez citado por Casierra et al.,(2010) señala que en el jitomate los ácidos predominantes son el málico y el cítrico los cuales representan alrededor del 13% de la materia seca. Al

principio del crecimiento, el ácido málico es el predominante mientras que el cítrico representa el 25%. Como en este trabajo se utilizaron frutos en estado de maduración *Red* el contenido de ácido cítrico es mayor, razón por la cual los resultados de la acidez titulable se reportaron con relación a este ácido

7.2.3. Sólidos solubles Totales

Para la determinación del contenido de sólidos solubles totales se utilizó el jugo de la pulpa de cada uno de los doce frutos de cada tratamiento procedentes de la medición del valor de pH, de los cuales se registró una lectura por fruto

Los resultados del cuadro 17 se reportaron como grados brix, considerados como equivalente de sólidos solubles totales (SST), tales resultados corresponden a la media del contenido de sólidos solubles totales de los frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado, la media es resultado de las doce lecturas del contenido de sólidos solubles totales de los frutos de cada tratamiento. La cantidad de sólidos solubles del jugo extraído de la pulpa de los frutos se determinó mediante un refractómetro ABBE® digital (LEICA MARK II) (Figura 27).



Figura 27. Determinación del contenido de Sólidos solubles totales presentes en el jugo de los frutos utilizando refractómetro, vasos de precipitado y puntas de plástico

7.3. Pruebas fisiológicas

7.3.1. Tasa de producción de CO₂ y Etileno

Para la tasa de producción de CO₂ y etileno se utilizó un fruto en estado de maduración *Red* de cada tratamiento por repetición manejando tres repeticiones recolectando en total tres frutos por tratamiento los cuales fueron analizados en el laboratorio de postcosecha encontrado en la UNIDA (Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos) en el Instituto Tecnológico de Veracruz.

Siendo analizados para posteriormente registrar el valor obtenido de cada uno de los tres frutos evaluados.

Los resultados de la tasa de producción de CO₂ se reportan en mL de CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ mientras que los resultados de la tasa de producción de etileno (TPE) se reportan µL C₂H₄ kg⁻¹·h⁻¹.

Los resultados de la tasa de producción de CO₂ de los frutos de cada tratamiento son la media, la cual fue obtenida de los valores de la tasa de producción de CO₂ de los tres frutos de jitomate en relación a cada sustrato hidropónico evaluado.

Los resultados de la tasa de producción de etileno de los frutos de cada tratamiento fueron obtenidos de la misma forma, por medio de los valores de la tasa de respiración de etileno utilizando los mismos frutos.

Esta variable fue determinada por cromatografía de gases (CG) de acuerdo con el método estático (Salveit y Yang, 1987).

1) Cada fruto individual se colocó en un frasco de vidrio de 1 L con tapa hermética acondicionada con un segmento de goma cerrándolo por 1.5 horas para acumular CO₂ y C₂H₄ sin saturar el sistema (Anexo 4).

2) Transcurrido el tiempo, con una jeringa para cromatografía de gases se tomó una muestra de 1 mL del espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent modelo 7820A (China) con columna Poraplot Q (#serie USF480715B, USA) de 15 m de largo con un diámetro de 0.32 mm con un flujo de 7 mL/min (Anexo 5).

Las condiciones de operación del cromatógrafo fueron 100 °C en el horno, 150 °C en el inyector y 250 °C en el detector de ionización de flama (FID) y en el detector de conductividad térmica (TCD), usando como gas acarreador nitrógeno (N₂) y para ignición de flama hidrogeno (H₂) y aire comprimido.

3) Los valores de la cromatografía de gases representan las áreas bajo la curva obtenidas de las lecturas de los cromatogramas, con dichas áreas se calcularon las concentraciones de etileno y CO₂ con la siguiente fórmula:

$$TPE = \left(\frac{V_{gas}}{T} \right) \left(\frac{Etm - Et}{P} \right)$$

Donde:

TPE = tasa de producción de etileno en µl de C₂H₄ ·Kg⁻¹·h⁻¹.

Vgas = volumen de la cámara – volumen del fruto (mL).

T = tiempo de residencia del fruto en la cámara (h).

Etm = ppm de etileno ó CO₂ en la muestra.

Et = ppm de etileno ó CO₂ en el testigo.

P = peso del fruto en kg.

Nota: para calcular la producción de CO₂ se utilizó la misma fórmula con los valores obtenidos del área bajo la curva de este gas.

7.4 Diseño experimental y análisis estadístico de datos

El experimento fue ajustado a un diseño experimental completamente al azar utilizando 14 tratamientos de sustratos manejados en 4 repeticiones constituido cada uno con 2 plantas de manera aleatoria, de los cuales, los primeros siete son los tratamientos originales y los restantes combinaciones de los mismos.

Los tratamientos utilizados se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10 Orden y Combinaciones de los Tratamientos de Sustratos Hidropónicos

No.	Tratamiento
1	Tezontle
2	Tepezil
3	Lombricomposta
4	Composta
5	Bagazo
6	Cascarilla de café
7	Tezontle y Lombricomposta
8	Tezontle y Composta
9	Tepezil y Lombricomposta
10	Tepezil y Composta
11	Bagazo y Lombricomposta
12	Bagazo y Composta
13	Cascarilla y Lombricomposta
14	Cascarilla y Composta

Los análisis de las pruebas físicas y químicas manejaron como unidad experimental tres frutos por cada tratamiento incluyendo las cuatro repeticiones mientras que para las pruebas fisiológicas se manejó solo un fruto por tratamiento incluyendo tres repeticiones. En todas las variables se utilizaron frutos en estado de maduración *Red* donde más del 90% de la superficie del fruto se presenta en color rojo; esto de acuerdo a la carta de clasificación del color en jitomate del departamento de agricultura de Estados Unidos, Para el rendimiento se utilizaron el número disponible de frutos de las 4 repeticiones en función de los primeros ocho cortes tomando en consideración 8 plantas por cada tratamiento; todo en relación al peso de los frutos de sus racimos y de igual manera para la medición de diámetro ecuatorial y polar. Para el análisis estadístico de datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor y prueba de comparación de medias de Fisher ($P \leq 0.05$) tomando como factor cada tratamiento y como respuesta el rendimiento al igual que las siguientes variables evaluadas, para tal efecto se utilizaron los programas de cómputo estadístico Minitab v.16 y Sigma Plot v.14.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se realizó un análisis de los parámetros fisicoquímicos, fisiológicos además de la evaluación del rendimiento de la vida postcosecha del jitomate (*Solanum lycopersicum*) con relación al tipo de sustrato hidropónico.

8.1. PRUEBAS FÍSICAS

8.1.1 Rendimiento

En el jitomate, el rendimiento indica de cierta manera el grado de calidad que presenta el fruto y permite al productor conocer la cantidad de materia prima resultante de la cosecha final del cultivo (Ardila et al., 2011).

El rendimiento fue obtenido de la suma de los pesos totales de los frutos de cada tratamiento durante los primeros ocho cortes; los resultados del rendimiento de los frutos de cada sustrato hidropónico evaluado fueron reportados en kilogramos y fueron ordenados descendientemente para apreciar el tratamiento con mayor y menor rendimiento, tal y como se muestra en la Figura 28 que representa el rendimiento total de la cosecha de frutos de jitomate en kilogramos por cada tipo de sustrato hidropónico evaluado.

En la figura se presenta el tratamiento con el mayor rendimiento siendo el tezontle con 41.607 kg en total y la cascarilla de café con 21.128 kg en total siendo el tratamiento con el menor rendimiento.

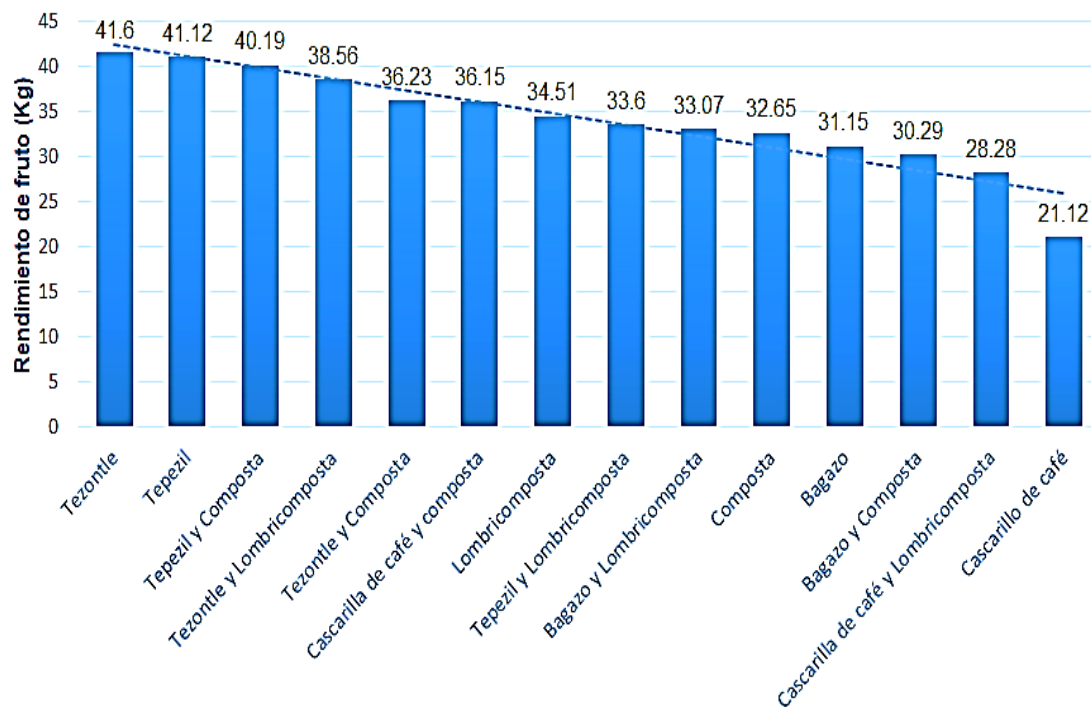


Figura 28. Rendimiento total de frutos de jitomate en relación al sustrato hidropónico

Al observar el rendimiento total que presentaron los frutos de jitomate de cada sustrato hidropónico evaluado, es necesario conocer los componentes por los cuales es afectado y de acuerdo a Bernabé y Solís citado por Zarate (2007), los componentes que afectan el rendimiento son el número de frutos por planta, el tamaño, el peso medio o peso total de los frutos, los cuales también son criterios cuantitativos en la calidad del fruto.

Los componentes que afectan el rendimiento involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, los cuales se relacionan con la fuente-demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta (Baldomero, 2007).

En el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el rendimiento obtenido de los frutos de cada tipo de sustrato, es decir, no hubo un

efecto del sustrato sobre el rendimiento por planta, por lo que puede considerarse a todos ellos como estadísticamente semejantes.

Sin embargo, los sustratos que contenían la mezcla de tepezil y lombricomposta, así como tezontle únicamente mostraron una tendencia a presentar los mayores valores promedio de rendimiento de fruto (5.302 y 5.201 kg/planta respectivamente), mientras que el tratamiento seis que contenía el sustrato de cascarilla de café fue el que presentó la media con la menor producción registrando un valor de 3.395 kg/planta como se muestra en el Cuadro 11 que representa el rendimiento total (Kg/planta) de la cosecha de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico.

Cuadro 11. Rendimiento total (kg/planta) de la cosecha de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico.

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Kg/planta
1	Tezontle	5.201 ^a
2	Tepezil	5.141 ^a
3	Lombricomposta	4.314 ^a
4	Composta	4.082 ^a
5	Bagazo	3.894 ^a
6	Cascarilla de café	3.395 ^b
7	Tezontle y Lombricomposta	4.821 ^a
8	Tezontle y Composta	4.529 ^a
9	Tepezil y Lombricomposta	5.302 ^a
10	Tepezil y Composta	5.024 ^a
11	Bagazo y Lombricomposta	4.135 ^a
12	Bagazo y Composta	3.787 ^a
13	Cascarilla y Lombricomposta	3.535 ^a
14	Cascarilla y Composta	4.520 ^a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

Para determinar el rendimiento se debe hacer referencia al peso, ya que el rendimiento depende del peso que está presente en el fruto. En el caso del productor, el peso le permite conocer los mejores rendimientos dependiendo del sustrato hidropónico

elegido para el cultivo mientras que para el consumidor, el peso que presenta el fruto le permite ser o no aceptado, considerándolo de esta manera como fruto de buena o mala calidad Escalante citado por Ortega (2010).

Cahn et al., citado por Zarate (2007), indica que el rendimiento también puede ser afectado por el periodo de cosecha, control de riegos, la variedad del fruto o de la planta, la cual se puede presentarse en variedades de crecimiento determinado y el estrés hídrico antes del corte (5-6 semanas), el cual tiene un efecto negativo sobre el peso y el color de fruto.

7.1.2. Medición del diámetro ecuatorial y polar del fruto

El tamaño del jitomate no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial. La calidad estándar del fruto se basa principalmente en la ausencia de defectos de crecimiento, manejo, diámetro ecuatorial y polar o la forma que presente el fruto (Angarita y Jaramillo citado por Alarcón, 2013).

El análisis relacionado con esta variable se obtuvo a partir del promedio total del diámetro ecuatorial y polar de los frutos de cada tratamiento de los ocho cortes de los cuales se calculó la media de ambos diámetros, tal y como se observa en el cuadro 12 que muestra el diámetro polar (cm) y diámetro ecuatorial (cm) de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico

En el análisis de varianza del tamaño del fruto se encontraron diferencias significativas tanto en el diámetro polar como en el diámetro ecuatorial.

En el diámetro polar se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los frutos de los sustratos evaluados. De acuerdo a los resultados, los frutos bajo el tratamiento catorce presentaron el mayor diámetro polar (6.79 cm) mientras que los frutos bajo tratamiento ocho presentaron el menor diámetro polar (6.13 cm).

No obstante, en el diámetro ecuatorial se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), donde los frutos bajo el tratamiento uno presentaron el mayor diámetro ecuatorial (5.23 cm) mientras que los frutos bajo el tratamiento ocho presentaron el menor diámetro ecuatorial (4.67 cm).

Cuadro 12 Diámetro polar (cm) y diámetro ecuatorial (cm) de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	D.e (cm)	D.p (cm)
1	Tezontle	5.23 ^a	6.57 ^{abc}
2	Tepezil	5.12 ^a	6.68 ^{abc}
3	Lombricomposta	4.81 ^{bcd}	6.38 ^{cde}
4	Composta	4.72 ^d	6.47 ^{bcd}
5	Bagazo	5.07 ^{ab}	6.77 ^{ab}
6	Cascarilla de café	4.76 ^{cd}	6.50 ^{abcd}
7	Tezontle y Lombricomposta	5.11 ^{ab}	6.44 ^{cd}
8	Tezontle y Composta	4.67 ^d	6.13 ^e
9	Tepezil y Lombricomposta	5.04 ^{abc}	6.22 ^{de}
10	Tepezil y Composta	4.81 ^{bcd}	6.44 ^{cd}
11	Bagazo y Lombricomposta	4.94 ^{abcd}	6.42 ^{cde}
12	Bagazo y Composta	4.76 ^{cd}	6.58 ^{abc}
13	Cascarilla y Lombricomposta	5.05 ^{abc}	6.67 ^{abc}
14	Cascarilla y Composta	4.97 ^{abcd}	6.79 ^a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

De acuerdo a Muñoz (2010) generalmente el tamaño del jitomate es determinado en base al diámetro ecuatorial que presenta, ya que es la primera apreciación al momento de consumir el fruto.

En los resultados obtenidos, se puede observar que el diámetro ecuatorial que presentaron los frutos de seis tratamientos tuvieron valores situados alrededor de cinco centímetros mientras que los frutos de ocho tratamientos tuvieron valores situados alrededor de cuatro centímetros; por el contrario del diámetro polar, donde los frutos de la mayoría de los tratamientos tuvieron valores situados alrededor de seis centímetros.

Ascroft citado por Josafad (2001) indica que el tamaño del jitomate puede ser afectado por factores fisiológicos, tales como la maduración, despunte, poda de plantas, defoliación o por factores genéticos, donde su tamaño es variable debido a la variedad o al híbrido, alcanzando diámetros que van alrededor de 3 a 16 cm mientras que

Casierra et al., (2010), indican puede ser afectado por la temperatura, la actividad fotosintética, el porcentaje de humedad, el CO₂ y la radiación.

El jitomate es clasificado de varias maneras, entre las cuales se encuentra la clasificación por tamaños. En el caso del jitomate tipo saladette, Gamboa (2013) menciona que el fruto es clasificado en categorías de tamaño chico, mediano, grande y extra grande. El tamaño chico comprende valores aproximados en un diámetro ecuatorial de 2.5 cm y un diámetro polar de 3.4 cm, el mediano comprende valores aproximados de 3.5 cm en el diámetro ecuatorial y 4.4 cm en el diámetro polar, el grande comprende valores aproximados de 4.5 cm en el diámetro ecuatorial y 5.4 cm en el diámetro polar y el extra grande valores aproximados de 5.5 cm en el diámetro ecuatorial y 5.9 cm en el diámetro polar. De acuerdo a que menciona Gamboa anteriormente, se puede observar en los resultados que la mayoría de los frutos de los sustratos evaluados presentaron tamaños de categoría grande y extra grande, lo cual los posiciona como frutos de primera y segunda calidad.

El incremento del tamaño del jitomate depende de la extensibilidad epidermal y del desarrollo de los tejidos del pericarpio, los cuales comprenden más de las 2/3 partes del total del peso del fruto (Ardila et al., 2011).

Algunos de los factores que pueden aumentar el tamaño del jitomate es la absorción mejorada de nutrientes que presenta el tipo de sustrato, la cual actúa en altas concentraciones interfiriendo en el ciclo biológico que experimenta la planta afectando posteriormente la calidad fisiológica del fruto, además de la adecuada retención de agua o humedad (Alarcón et al., 2018).

Escalante citado por Zarate (2007), indica que entre el tamaño del fruto y el número de frutos existe una relación; a mayor tamaño de frutos, hay un menor número de frutos, debido a que los fotosintatos que asimila la planta en algunos casos, aumenta el número de frutos y en otros aumenta el tamaño. No obstante Ortega (2010), menciona que el tamaño del fruto no solo depende únicamente del número de frutos, ya que cuando hay temperaturas mayores de 38 °C puede ocurrir una mala o nula fecundación; por lo que no tienen una gran cantidad de semillas y en consecuencia son frutos más pequeños y mal formados por lo cual pueden ser ovalados, esféricos, o alargados. Además de la relación entre el tamaño y el número de frutos, existe una

relación con negativa con el peso del fruto; ya que frutos del mismo racimo tienden a variar su peso debido al número de frutos que se presentan, donde a mayor número de frutos, el peso será menor o por el contrario, a menor número de frutos, el peso tiende a aumentar, esto se debe a la fácil absorción o asimilación de nutrientes hacia el fruto Cancino citado por (Baldomero., 2007).

8.1.1. Medición de color en cascara y pulpa

El color es el primer atributo juzgado en los alimentos, considerado como un índice de calidad que proporciona información sobre la cualidad comestible, aroma, frescura o intensidad del sabor de un alimento (Rettig & Hen, 2014).

El análisis de esta variable reporta los resultados de las medias como °Hue, Croma y porcentaje de luminosidad, las medias fueron obtenidas del valor de los promedios de °Hue, Croma y luminosidad de cada uno de los doce frutos de cada tratamiento presentados en el cuadro 13 donde se muestran las diferencias de color externo en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico.

Para los atributos de color, de acuerdo al análisis de varianza las principales diferencias significativas fueron detectadas para los valores de °hue (tono o matiz) y croma (intensidad o saturación del color) pero no en la luminosidad.

La percepción del color depende de factores tales como: el tipo e intensidad de la luz, las características químicas y físicas del fruto y la capacidad individual de la persona para caracterizar el color. En el jitomate, el color es la característica física más importante en la determinación del estado de madurez de su vida poscosecha ya que es una propiedad física que determina la aceptación por el consumidor, aunque no necesariamente refleje valores nutricionales de sabor o funcionalidad (Rivera, 2011). Los cambios de color de los frutos son ocasionados por la degradación de la clorofila y el descubrimiento o síntesis de pigmentos carotenoides, dicho cambio se relaciona con la evolución de la textura, aroma, sabor y con la resistencia a la penetración, atributo que indica frescura en el fruto, el cual es utilizado como un indicativo de madurez en frutos (Bautista et al., 2016).

Cuadro 13 Diferencias de color externo en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	°Hue	Croma	% de Luminosidad
1	Tezontle	40.75 ^a	48.46 ^a	41.62 ^a
2	Tepezil	40.19 ^a	48.34 ^{ab}	40.8 ^{abc}
3	Lombricomposta	39.53 ^{abc}	45.77 ^{cd}	39.83 ^{bcd}
4	Composta	40.2 ^a	47.13 ^{abc}	40.34 ^{abcd}
5	Bagazo	38.33 ^{bc}	47.45 ^{abc}	40.95 ^{abc}
6	Cascarilla de café	38.25 ^{bc}	46.38 ^{bc}	39.09 ^d
7	Tezontle y Lombricomposta	40.15 ^a	48.09 ^{ab}	40.65 ^{abcd}
8	Tezontle y Composta	38.39 ^{bc}	46.94 ^{abc}	39.78 ^{cd}
9	Tepezil y Lombricomposta	40.28 ^a	47.25 ^{abc}	40.21 ^{abcd}
10	Tepezil y Composta	39.42 ^{abc}	47.97 ^{ab}	39.99 ^{bcd}
11	Bagazo y Lombricomposta	39.86 ^{ab}	47.49 ^{abc}	40.45 ^{abcd}
12	Bagazo y Composta	38.14 ^c	46.4 ^{bc}	41.39 ^{ab}
13	Cascarilla y Lombricomposta	39.45 ^{abc}	48.02 ^{ab}	40.3 ^{abcd}
14	Cascarilla y Composta	40.37 ^a	44.27 ^d	40.63 ^{abcd}

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

En el atributo de °Hue se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). En los resultados del análisis, los frutos que presentaron el mayor tono fueron los cultivados bajo el tratamiento uno con 40.75 °Hue mientras que los frutos bajo el tratamiento catorce presentaron la media con el menor tono con 38.14 °Hue.

El atributo de color °Hue es caracterizado por la longitud de onda de la radicación, lo cual hace diferente a un color de otro y representa un espacio en el diagrama de cromaticidad. Este atributo es conocido como: tono, tinte, color o matiz y es identificado en el jitomate bajo el color rojo-amarillo o verde amarillo (Rettig & Hen, 2014). El atributo de color °Hue en el jitomate tiende a disminuir a medida que el fruto va

madurando y cuando es almacenado pasa de una coloración verde-amarillenta a una coloración naranja.

el color del jitomate resulta de la presencia de carotenos y carotenoides, donde se han aislado diferentes tipos de pigmentos en el fruto pero los más importantes en la coloración son: el β -caroteno, α -caroteno, δ -caroteno y ζ - caroteno, licopeno y 22 tipos diferentes de xantofilas; el licopeno determina el color rojo; caroteno, amarillo; xantofila, naranja y clorofila verde; sin embargo el color rojo, puede deberse a la presencia del licopeno y beta-caroteno, el cual determina la actividad de la vitamina A en el fruto, la distribución de estos pigmentos está influenciada por la calidad e intensidad de la luz, una sombra moderada favorece la formación de licopeno y el caroteno se sintetiza en forma más abundante si el fruto está expuesto a la luz intensa; por lo cual hay mayor concentración de éste hacia la región del pedicelo que en la parte apical (Gould citado por Baldomero, 2007).

Como observación, debido a que el jitomate presenta cambios típicos de color durante su maduración, Hernández (2013) menciona que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América clasifico los grados de madurez del jitomate según el color que éste presenta, en 6 categorías: 1) *verde*: donde la superficie del jitomate es completamente verde, con una tonalidad de claro a oscuro; 2) *rompiente*: donde hay una ruptura del color verde hasta un color amarillo-marrón, rosado o rojo, en no más del 10% de la superficie; 3) *transición*: donde el 10 al 30% de la superficie no es verde, mostrando una coloración amarillo-marrón, rosado o rojo, o una combinación de éstas; 4) *rosado*: donde el 30 al 60% de la coloración ya no es verde, mostrando un color rosado o rojo; 5) *rojo ligero*: donde el 60 al 90% de la superficie no es verde y muestra una coloración rojo-rosado o roja; y 6) *rojo*: donde más del 90% de la superficie no es verde, mostrando un color rojo.

Tomando en consideración esta observación es pertinente señalar que los grados de madurez del jitomate según el color que esté presente están relacionados con los tres atributos de color.

En el caso de la variación de °Hue que presenta el jitomate de acuerdo a su estado de maduración Cantwell & Kasmire (2007) indican que cuando más bajo es el valor de °hue, mas rojo es el fruto; si el fruto presenta un valor de 115.0 °Hue, el color que

presenta el jitomate es verde-sazón, siendo este el valor más alto presentado por el fruto en cuanto a este atributo mientras que si presenta un valor de 37.0 °Hue, entonces presenta un color rojo oscuro o sobre maduro. De acuerdo a estos valores relacionándolos con las diferencias que presentaron los frutos de los tratamientos en cuanto a los resultados del tono o matiz, se puede observar que al menos seis tratamientos presentaron valores menores a 41.3 °Hue considerándose como frutos con color rojo listo para consumo mientras que los frutos de los ocho tratamientos con valores mayores a 37 °Hue se consideran como frutos con color rojo oscuro. De esta forma los frutos cultivados bajo el tratamiento uno con 40.75 °Hue presentando un valor menor a 41.3 °Hue se consideran como frutos con color rojo listo para consumo mientras que los frutos bajo el tratamiento catorce con 38.14 °Hue con un valor mayor a 37 °Hue se consideran como frutos con color rojo oscuro,

En croma se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Los frutos del tratamiento uno presentaron la media con mayor intensidad con 48.46 mientras que los frutos del tratamiento catorce presento la media con menor intensidad con 44.27.

El atributo de color Croma se define como la intensidad o pureza espectral del color que va desde tonos grises, pálidos apagados a los más fuertes o lisos y es el grado de color (incoloro, brillo, palidez). Croma es conocido también como saturación, intensidad o pureza y es identificado bajo un color rojo-amarillo brillante o rojo-amarillo pálido en el caso del jitomate(Rettig & Hen, 2014).

Croma indica que tan puro e intenso es el color de un fruto en una escala de 0 a 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Patrón et al., 2012) .

En los resultados de la variación del atributo croma de los jitomates de los sustratos hidropónicos evaluados, se puede observar que los frutos de la mayoría de los tratamientos presentaron valores entre 48 y 46, considerándose como frutos con una pureza intermedia mientras que los frutos de los tratamientos con valores entre 45 y 44 son considerados como frutos con poca pureza; ya que de acuerdo a la escala de croma: un valor de 100 expresa la mayor pureza, 50 expresa una pureza intermedia y un valor de 0 una menor pureza. Los frutos con valores entre 48 y 46 son cercanos a un valor 50 que expresa una pureza intermedia, por el contrario de los frutos con

valores entre 44-45, los cuales son menores a los valores de los frutos descritos anteriormente. Patrón et al., (2012) indican que mientras menos puro o saturado sea el color del jitomate, mas descolorido y grisáceo se presentara el fruto a lo largo del tiempo. La variación del tono o intensidad del color del jitomate está determinada por la distribución de cada pigmento en los tejidos del pericarpio y por sus cantidades relativas. En los tejidos externos del pericarpio, el color está determinado por varios genes que favorecen o impiden la formación de carotina, mientras que el de la pulpa es debido a un factor dominante del rojo León citado por Baldomero (2007). De acuerdo a Camelo et al., citado por Bautista (2016), el atributo de croma no es un indicador adecuado de madurez del jitomate, ya que esencialmente es una expresión de pureza para un color específico y que en el caso de este fruto, se presenta simultáneamente tanto en la degradación de clorofila como en síntesis de compuestos carotenoides.

De acuerdo a Mitcham et al., citado por Rivera (2011) el color se percibe cuando la luz es reflejada en la superficie del producto y llega a la retina del ojo donde señala que si no hay luz no hay color; lo cual ocurre de manera similar en la percepción de la luminosidad presentada en un fruto. En el caso del atributo de luminosidad no se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$); en los resultados los frutos bajo el tratamiento uno presentaron la media más alta con 41.62 % mientras que los frutos bajo el tratamiento seis presentaron la media más baja con 39.09 %.

La luminosidad está dada por el contenido total de energía que da lugar a los colores claros u oscuros. Es el grado entre la oscuridad y el brillo mismo siendo identificada bajo un color rojo brillante-amarillo o rojo oscuro-amarillo en el caso del jitomate (Rettig & Hen, 2014).

Cantwell citado por Hernández (2013) relacionando los diferentes grados de maduración del jitomate con el atributo de luminosidad, menciona que la luminosidad del fruto va desde 62% presentando un verde-sazón hasta 39 % presentando un rojo oscuro. Cantwell & Kasmire (2007) indican que el valor de la luminosidad se presenta desde colores claros (valores altos) hasta oscuros (valores bajos). En los resultados de la variación del atributo de luminosidad de los frutos de los sustratos hidropónicos

evaluados, se puede observar que al menos los frutos de diez tratamientos entre los cuales está el tratamiento uno, presentaron valores cercanos o menores a 41.8 % ,donde el jitomate se ubica en la sexta categoría de acuerdo al color que éste presenta siendo el rojo donde más del 90% de la superficie no es verde, tomando en consideración además que el color del estado de desarrollo que presenta el fruto de acuerdo a este valor es un color rojo claro (light red) o rojo listo para consumo, mientras que los frutos restantes con valores mayores o menores a 39.6 % entre los cuales se encuentra el tratamiento seis, presentaron un color rojo oscuro o sobremaduro, ubicados de igual manera que los frutos anteriores en la sexta categoría con un color rojo (red) de acuerdo a su estado de desarrollo.

La luminosidad puede ser afectada por tres factores: el tiempo de conservación, el estado de maduración y temperatura. El tiempo de conservación provoca cambios visibles en el color del jitomate y es utilizado varias veces para evaluar el estado de maduración y su vida útil (Teles, 2006); el estado de maduración en el que es cosechado el jitomate produce una reducción en la luminosidad de la piel del fruto durante el desarrollo, dicha reducción puede ser debida al aumento del contenido en carotenoides que se produce a lo largo de la maduración (Huff citado por por Hernández, 2013) y en el caso de la temperatura, si se presentan temperaturas bajas de 10 °C y mayores de 30° C en el jitomate, entonces se inhibe la maduración así como el desarrollo de Licopeno del fruto, ya que el color del fruto se desarrolla en condiciones óptimas entre 12 °C – 21°C (Janeck, 2001).

Al analizar esta variable tomando al tezontle como el sustrato con los mayores valores en hue, croma y luminosidad San Martin et al., (2012) evaluando los atributos físicos y químicos de calidad del fruto de tomate cultivado en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle mencionan que algunos de los factores que podrían afectar el color del fruto por este sustrato es la temperatura diurna con promedio de 18°-35°, ya que al ser excedida su contenido en licopeno tiende a disminuir y se correlaciona positivamente con el color del fruto de tomate; su tamaño de partícula presentándose en 5-10 mm puede afectar los atributos de color, °hue y luminosidad a excepción de croma y la salinidad ya que al presentarse en valores de 0.5 a 15.7 dS m⁻¹ influye en la

síntesis de licopeno originando un comportamiento sigmoidal de este carotenoide, obteniendo mayor contenido de licopeno.

8.1.2. Resistencia de la cáscara a la penetración (N)

Uno de los principales parámetros usado para establecer el grado apropiado de madurez, frescura y daños internos además de ser un indicativo sobre la vida útil potencial de un fruto es la firmeza (Africano & Almanza, 2015). El análisis en relación a esta variable (cuadro 14) fue obtenido capturando doce lecturas incluyendo las cuatro repeticiones obteniendo la media de cada tratamiento.

Cuadro 14 Resistencia de la cascara a la penetración (N) en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Firmeza (Newtons)
1	Tezontle	25.091 ^{bcd}
2	Tepezil	22.639 ^{de}
3	Lombricomposta	25.848 ^{abcd}
4	Composta	22.401 ^{de}
5	Bagazo	26.772 ^{abc}
6	Cascarilla de café	23.678 ^{cde}
7	Tezontle y Lombricomposta	27.359 ^{ab}
8	Tezontle y Composta	23.708 ^{cde}
9	Tepezil y Lombricomposta	20.243 ^e
10	Tepezil y Composta	25.037 ^{bcd}
11	Bagazo y Lombricomposta	22.382 ^{de}
12	Bagazo y Composta	28.692 ^a
13	Cascarilla y Lombricomposta	22.749 ^{de}
14	Cascarilla y Composta	23.541 ^{cde}

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

En el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$) de los frutos de los sustratos hidropónicos evaluados, el tratamiento doce registro la

mayor firmeza (28.692 N) por el contrario del tratamiento nueve, el cual registro la menor firmeza (20.243 N).

La firmeza es un parámetro indicativo de la calidad de los jitomates frescos y procesados siendo relacionada con la estructura de la pared de celular. Lamúa citado por Hernández (2013) indica que la firmeza del jitomate depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que conforman la pared celular, la presencia de tejidos de sostén o soporte y de la composición del fruto.

La firmeza que presenta el jitomate está relacionada además con el grado de madurez y puede estar influenciada por el clima, la variedad del fruto y las condiciones de cultivo (Carrari et al., Ruedas citado por Alarcón (2013).

El jitomate en base a la firmeza que presenta es clasificado en varias categorías desde muy firme a blando; un fruto muy firme presenta una firmeza de 30 a 50 N, un fruto firme 20 a 30 N, un fruto moderadamente firme 15 a 20 N, un fruto moderadamente blando 10 a 15 N y un fruto blando 10 N. (Rivero et al., 2013).

De acuerdo a esta clasificación, se puede observar en los resultados que los frutos de la mayoría de los tratamientos generalmente presentaron una firmeza con valores de 20 a 30 N, considerándolos de esta manera como frutos firmes. En los frutos con valores con menores firmezas, Navarro et al., (2012) señalan que algunos de los factores que afectan firmeza del fruto es la transpiración, la cual ocasiona perdida de agua y escasa fuente de suministro (planta madre), por lo cual el fruto pierde turgencia y firmeza, indicando además que otros factores por los que no hay una adecuada firmeza es por la falta de riego provocando el escaso contenido de nutrientes y retención de los mismos presentes en el sustrato.

No obstante la firmeza es afectada por la salinidad que puede estar presentada en el sustrato; la cual debido a una mayor actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular como por el aumento del pH causan el bloqueo del calcio disponible para las plantas, siendo este elemento indispensable en la firmeza del fruto (Lara citado por San Martin et al., 2012).

Tucker et al., citado por Casierra et al., (2010) indican que las enzimas que causan pérdida de firmeza son la celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa, siendo esta

última la que mejor correlaciona con el ablandamiento ya que su concentración se incrementa con la maduración.

8.2. Pruebas químicas

8.2.1. Valor de pH

Existen diferentes parámetros o indicadores que determinan la calidad interna de los frutos de jitomate, entre los cuales se encuentra el índice de acidez, mejor conocido como valor de pH (Alarcón, 2013). El análisis respecto al valor de pH de los frutos se obtuvo capturando doce lecturas por medición directa incluyendo las cuatro repeticiones obteniendo la media de cada tratamiento tal y como se observa en el cuadro 15 que muestra Variación de pH en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

Cuadro 15 Variación de pH en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	pH
1	Tezontle	4.2783 ^a
2	Tepezil	4.2767 ^a
3	Lombricomposta	4.2425 ^a
4	Composta	4.2633 ^a
5	Bagazo	4.2208 ^a
6	Cascarilla de café	4.2992 ^a
7	Tezontle y Lombricomposta	4.2200 ^a
8	Tezontle y Composta	4.0767 ^b
9	Tepezil y Lombricomposta	4.1745 ^{ab}
10	Tepezil y Composta	4.2250 ^a
11	Bagazo y Lombricomposta	4.2008 ^{ab}
12	Bagazo y Composta	4.1950 ^{ab}
13	Cascarilla y Lombricomposta	4.1683 ^{ab}
14	Cascarilla y Composta	4.2267 ^a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

En el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al pH en función de cada sustrato evaluado estadísticamente. Con respecto a los resultados del cuadro 14, el tratamiento que presento el mayor pH promedio fue el tratamiento seis con 4.2992 mientras que el tratamiento ocho presento el menor pH promedio con 4.0767. Se puede observar que el pH del jugo de la mayoría de los frutos de jitomate de cada tratamiento hidropónico evaluado presento un valor situado en 4, el cual es un valor aceptable en esta variable, ya que pH del jugo del fruto normalmente se sitúa entre 4 y 4.8 siendo muy raro que se superen estos valores, lo cual es mencionado por Alarcón (2014).

Navarro et al.,(2012) indican que el pH del fruto de jitomate aumenta con la maduración y con el tiempo de almacenamiento, si el fruto es consumido en fresco puede variar entre 4.17 a 4.59 mientras que si el fruto es utilizado en el área industrial como en la producción de puré debe tener un pH de 4.4 aunque puede aumentar debido al tiempo de conservación. El pH normalmente aumenta a medida que el fruto crece siendo más bajo en los estados iniciales de desarrollo y afectado por el estado de maduración (Baldomero, 2007). De acuerdo a Berbesí citado por Hernández.,(2013), el incremento en el pH del fruto varias veces es debido a que los ácidos de reserva presentes en las vacuolas de las células del fruto, son transformados por la propia célula a azúcares, los cuales son utilizados para la respiración, ocasionado una disminución de la acidez y un aumento en el pH del fruto. Baldomero (2007) menciona que Entre el pH y el contenido de ácidos presentes en el fruto (principalmente málico y cítrico) existe un correlación lineal negativa; ya que cuando los ácidos orgánicos decrecen entre el 25 y 35%, el valor de pH aumenta, lo cual pone de manifestó una correlación inversa con la acidez titulable. De acuerdo a este análisis, el uso de tezontle para el cultivo de jitomate es una opción factible que presenta un resultado aceptable en cuanto al valor de pH que debe tener el fruto; al igual que el uso de tepetzil, composts y cascarilla de café siendo utilizados como otras opciones por el contrario del tezontle combinado con la composta ya que los frutos bajo estos sustratos presentan un valor de pH no muy favorable.

8.2.2. Acidez titulable

La medición de la acidez mostrada en el jugo de cualquier fruto es determinada por la concentración de ácidos predominantes en el mismo (Vargas, 2008). En el caso del jitomate los ácidos orgánicos predominantes son el cítrico y málico en donde su relación depende de la variedad, además de la acidez total y la composición de los compuestos volátiles (Mikkelsen, 2005) El análisis relacionado con esta variable se obtuvo capturando doce lecturas incluyendo las cuatro repeticiones obteniendo la media de cada tratamiento tal y como se observa en el cuadro 16 que muestra la variación de la acidez titulable en frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico

Cuadro 16 Variación de la Acidez Titulable en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

No. De Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Acidez Titulable (% de Ácido Cítrico)
1	Tezontle	0.10933 ^c
2	Tepezil	0.13600 ^{ab}
3	Lombricomposta	0.13333 ^{ab}
4	Composta	0.12533 ^{bc}
5	Bagazo	0.13333 ^{ab}
6	Cascarilla de café	0.12800 ^{bc}
7	Tezontle y Lombricomposta	0.13600 ^{ab}
8	Tezontle y Composta	0.12267 ^{bc}
9	Tepezil y Lombricomposta	0.13673 ^{ab}
10	Tepezil y Composta	0.12800 ^{bc}
11	Bagazo y Lombricomposta	0.13333 ^{ab}
12	Bagazo y Composta	0.13067 ^b
13	Cascarilla y Lombricomposta	0.15200 ^a
14	Cascarilla y Composta	0.12533 ^{bc}

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los frutos de los sustratos evaluados, en esta variable, de acuerdo a los resultados del cuadro 16; el tratamiento trece (0.15200 %) registro el mayor porcentaje de acidez mientras que tratamiento uno (0.10933%) registro el menor porcentaje de acidez titulable

Barreiro y Sandoval citado por Hernández (2013) mencionan que la acidez en los productos hortícolas se debe a los ácidos orgánicos e inorgánicos que pueden estar presentes en su composición; la cual está asociada con los grupos carboxílicos presentes. La acidez es una característica sensorial relacionada con los cambios que sufren las frutas durante la maduración y senescencia, siendo considerada como un índice de cosecha para varias especies (Baldomero, 2007).

Lamúa citado por Hernández. (2013) indica que en el jitomate, el valor de acidez que presenta generalmente el fruto se sitúa entre 0.25% a 0.35%, el cual es calculado como porcentaje de ácido cítrico mientras que Vásquez et al citado por

Martínez et al., (2018) indican en tomate tipo saladette, el valor de acidez que presenta es de 0.24 a 0.32%.

En los resultados de los frutos de cada sustrato hidropónico evaluado no se presentaron valores similares a los que fueron mencionados anteriormente y de acuerdo a esta observación Carrari y Fernie citado por Alarcón (2013) indican que la disminución de acidez que experimentan los frutos durante la maduración, lo cual es vista en los resultados de los frutos de los sustratos con menor acidez, se debe a una intensa actividad metabólica, la cual es originada por la actividad de ciertas enzimas respiratorias provocando el desdoblamiento de biomoléculas complejas (polisacáridos de reserva y estructurales, proteínas y lípidos), que dan origen a azúcares más simples, aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes polihidroxilados, que luego se convierten en ácidos orgánicos de reserva, que son consumidos durante la respiración.

Siendo los frutos bajo el tezontle los que presentaron los menores resultados en la acidez titulable, San Martín (2012) mediante un estudio evaluando algunos atributos de calidad fisicoquímica tales como contenido de sólidos solubles (SST), color ($^{\circ}$ hue, croma y luminosidad), firmeza, pH; acidez titulable (AT) y relación SST/AT en frutos de

jitomate utilizando el tezontle como sustrato hidropónico menciona en sus resultados que las variables que resultaron afectadas por este sustrato fueron el pH, firmeza, luminosidad y °hue mientras que la relación SST/AT, croma, SST y AT no resultaron afectados. El autor anterior indica que los tamaños de partícula que presenta el tezontle pueden influir en los atributos de calidad fisicoquímica del fruto siendo las variables que no fueron afectadas en este estudio, entre las cuales se encuentra la acidez titulable ya que los tamaños de partícula causa pérdidas de humedad y de fertilizantes generando alcalinidad y salinidad en el sustrato afectando a la planta y por consiguiente al fruto.

La cascarilla de café junto con la lombricomposta fue el tratamiento que presentó el porcentaje más alto de acidez de acuerdo a los resultados de los frutos evaluados, ambos sustratos presentan en su composición química ácidos húmicos, los cuales facilitan la absorción de nutrientes asegurando una mayor floración, fructificación y vigor en la planta.

Los ácidos húmicos presentan estructuras carboxílicas las cuales influyen en la estructura fisicoquímica de la planta incrementando la permeabilidad de las membranas vegetales para dar entrada al nitrógeno, fósforo y potasio y otros micro elementos (Maza, 2014). Los ácidos húmicos pueden afectar algunas propiedades fisicoquímicas del jitomate, lo cual es visto mediante estudio realizado por Alarcón et al., (2018) evaluando el efecto de los ácidos húmicos sobre algunos indicadores de calidad de calidad del jitomate tales como pH, sólidos solubles totales, firmeza, relación de sólidos solubles y acidez titulable, diámetro axial y ecuatorial y acidez titulable. En sus resultados menciona que en caso de la acidez que presenta el fruto, esta puede ser afectada por los ácidos húmicos; ya que cuando el jitomate es cultivado en condiciones de estrés nutricional y presenta una disminución de pH, se debe a que los azúcares simples de reserva presentes en las vacuolas de los frutos se transforman por las propias células en ácidos orgánicos ocasionando un incremento en la acidez del fruto y con ello una disminución de pH relacionado con el efecto amortiguador de dichos ácidos.

8.2.3. Sólidos solubles totales

Entre los parámetros poscosecha para determinar la calidad de los frutos se encuentran los sólidos solubles totales (SST); los cuales se definen como el conjunto de componentes solubles en agua de un fruto correspondiente a una medida de densidad expresada en ° Brix. Un grado brix se define como la densidad que tiene a 20° C una solución de sacarosa al 1% lo que corresponde a un determinado índice de refracción (Teles, 2006).

El análisis respecto a esta variable se obtuvo capturando doce lecturas por medición directa incluyendo las cuatro repeticiones obteniendo la media de cada tratamiento, tal y como se muestra en el cuadro 17 que muestra la variación de sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico

Cuadro 17 Variación del contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix) en frutos de Jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

No. Del Tratamiento	Descripción del Tratamiento	Sólidos Solubles Totales (°Brix)
1	Tezontle	4.0833 ^c
2	Tepezil	3.9917 ^c
3	Lombricomposta	4.7833 ^a
4	Composta	4.2167 ^c
5	Bagazo	4.3833 ^{abc}
6	Cascarilla de café	4.6667 ^{ab}
7	Tezontle y Lombricomposta	4.2333 ^c
8	Tezontle y Composta	4.2333 ^c
9	Tepezil y Lombricomposta	4.1636 ^c
10	Tepezil y Composta	4.1417 ^c
11	Bagazo y Lombricomposta	4.1583 ^c
12	Bagazo y Composta	4.0250 ^c
13	Cascarilla y Lombricomposta	4.0833 ^c
14	Cascarilla y Composta	4.2667 ^{bc}

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes y aquellas que tienen letras distintas son estadísticamente diferentes

En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de jitomate de los sustratos evaluados. De acuerdo a los resultados del cuadro 17, el tratamiento tres registró el mayor contenido de sólidos solubles totales con 4.7833 °Brix mientras que el tratamiento dos registró menor contenido de sólidos solubles totales con 3.9917 °Brix. Los resultados se reportan en Brix, ya que se consideran como equivalente de sólidos solubles totales (SST) debido a que el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares, por lo cual es reportado en °Brix (Carlos y Sánchez, 2016). El contenido de SST actúa como un índice aproximado de la cantidad de azúcares de los frutos y se incrementa con la maduración a través de los procesos de biosíntesis de azúcares simples a partir de la degradación de los polisacáridos de reservas y estructurales (Alarcón, 2013). De acuerdo a Cantwell citado por Hernández (2013) el contenido de sólidos solubles totales que presenta el jitomate generalmente se sitúa entre 3.5 y 7.0 °Brix, dependiendo de la variedad, señalando que sus cualidades organolépticas están relacionadas con su composición química y que en el periodo de madures comercial el jitomate debe poseer un contenido de sólidos solubles entre 4 y 6 °Brix siendo relacionado con su aroma y sabor óptimos. Preciado et al., citado por Martínez et al., (2018), indican que en el jitomate tipo saladette híbrido el Cid, el contenido de sólidos solubles presente en el fruto se sitúa en 4.1, 4.5, 4.4 y 4.6 °Brix, respectivamente.

En un estudio realizado por Ramírez et al., citado por Hernández (2013) acerca de la influencia de la temperatura sobre los procesos fisiológicos en poscosecha de jitomate indica que el contenido promedio de los sólidos solubles durante el almacenamiento se encuentra situado entre 3.8 y 4.5 % de °Brix. Los frutos de jitomate contienen: azúcares reductores como fructosa, glucosa y trazas de sacarosa que constituyen 53 a 65 % de los sólidos solubles, ácidos, cítrico (9 %) y málico (4 %) principalmente, la vitamina C (ácido ascórbico), aminoácidos (2-2.5 %), carotenoides, compuestos volátiles responsables del aroma, sales minerales (8 %) y sustancias pécticas de la pared celular (San Martín et al., 2012). El contenido de SST presenta una tendencia que aumenta con el tiempo reflejado por la maduración; el cual es constituido por 80-95% de azúcares encontrados disueltos en el jugo celular. La cantidad de azúcares en

el fruto depende de la variedad, el rendimiento de las hojas, la relación hoja/fruto, las condiciones climáticas del desarrollo, el estado de desarrollo y de la madurez (del Pilar et al.,2007).

Durante maduración del jitomate, el incremento de los contenido de sólidos solubles se atribuye a la acumulación de sustancias orgánicas durante la degradación enzimática del almidón (polisacárido de reserva de las plantas), de la celulosa (carbohidratos estructurales) y de otros componentes celulares del tejido vegetal (Alarcón, 2013). El sabor del tomate resulta de componentes aromáticos volátiles y no volátiles y de una compleja interacción entre éstos. Si el jitomate presenta un contenido alto de ácidos y bajos de azúcares produce un sabor ácido, uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave, y ambos bajos dan un fruto insípido.(San Martin et al., 2012). Tomando como referencia los resultados de la variación de sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de jitomate con relación al tipo de sustrato hidropónico, la mayoría de frutos de cada sustrato tuvieron un contenido de solidos solubles aceptable, ya que el jitomate debe poseer un contenido de sólidos solubles entre 4 y 6 °Brix

De acuerdo al análisis de esta variable en relación con los sustratos evaluados, se puede considerar a la lombricomposta y a la cascarilla de café como los sustratos que registraron los contenidos de sólidos solubles totales más altos en los frutos, ya que en los resultados, los frutos bajo la lombricomposta tuvieron el mayor contenido de sólidos solubles y posteriormente los frutos de la cascarilla de café, por el contrario de tepezil, ya que los frutos bajo este sustrato presentaron el menor contenido de sólidos solubles. Entre los posibles factores que pueden modificar el contenido de azucares del jitomate, es la poca retención de nutrientes que puede presentar el sustrato, ya que cuando solución nutritiva es suministrada al fruto y si no es recibida correctamente, produce una reducción del flujo de agua hacia el fruto ocasionando estrés por sales (osmótica) produciendo una acumulación activa de solutos, lo cual causa efectos negativos en las variables de calidad del jitomate tales como la reducción de su tamaño, un aumento de pH y la disminución en el contenido de azucares (Navarro et al., 2012).

8.3. Pruebas fisiológicas

8.3.1 Velocidad de respiración

La tasa de maduración es un indicador del estado y la rapidez de madurez de un fruto. En frutos climatéricos tales como el mango, la manzana y la pera, al ser desprendidos del árbol y en el jitomate al ser desprendido de la planta, provocan un incremento en la respiración en un periodo corto de tiempo causando una maduración más rápida (Meza 2013).

Para obtener el análisis relacionado con la velocidad de respiración (producción de CO_2) se capturaron los valores resultantes de la tasas de respiración de CO_2 del jitomate en su etapa de madurez ordenados descendientemente para apreciar el tratamiento con mayor y menor velocidad de producción (Figura 28).

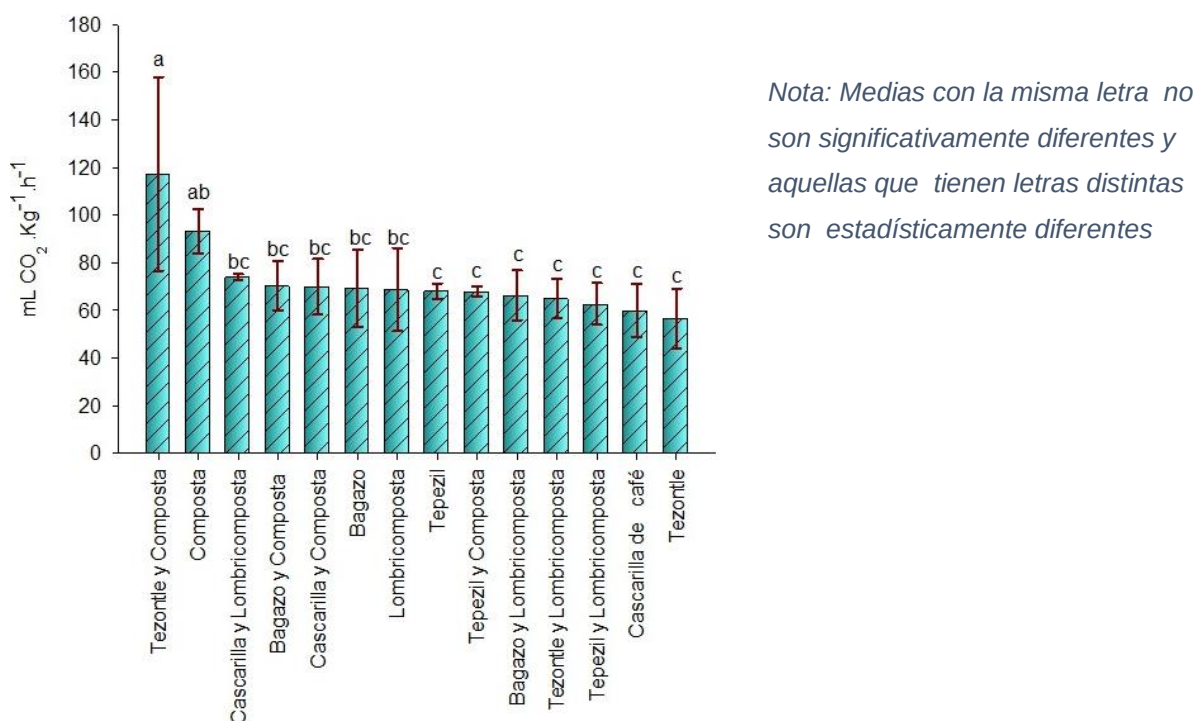


Figura 29. Comportamiento de la velocidad de producción de CO_2 en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico.

Al medir la velocidad de respiración de los frutos de los 14 sustratos evaluados, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). De acuerdo a los resultados del análisis se observó que el tratamiento ocho registró la mayor tasa de respiración de CO_2 ($117.97 \text{ mL de } \text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) mientras que el tratamiento uno registro la menor tasa de respiración ($56.58 \text{ mL de } \text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$).

La intensidad respiratoria de un fruto depende de su grado de desarrollo y se mide generalmente como la cantidad de CO_2 en miligramos o mililitros que desprende un kilogramo de fruta en una hora; a lo largo del crecimiento se produce un incremento de la respiración que va disminuyendo lentamente hasta el estado de maduración; generalmente la velocidad de respiración se mide por la producción de dióxido de carbono o por el consumo de oxígeno (Salgado & Martinez, 2006).

Artes citado por Hernández (2013) indica que el jitomate tiene un comportamiento respiratorio tipo climatérico con una intensidad relativamente elevada (10, 15, 22, 35 y 43 $\text{mg CO}_2/\text{kg h}$ a temperaturas de 5, 10, 15, 20 y 25°C , respectivamente).

En el análisis de esta variable no se obtuvieron resultados semejantes; dado que las unidades de este trabajo fueron reportadas en $\text{mL de } \text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$; no obstante en los frutos de los sustratos hidropónicos evaluados que presentaron los valores elevados en la tasa de respiración siendo los frutos cultivados bajo el tezontle y composta, composta y cascarilla con lombricomposta por mencionar algunos, Bolívar, Saucedo y Sauri (2011) indican que en el jitomate siendo esté un fruto climatérico, continua su maduración después ser cortado y presenta un incremento en la respiración o pico climatérico después de alcanzar la madurez fisiológica, el cual es prolongado hasta la senescencia del fruto, lo que caracteriza a frutos de este tipo, siendo esto visto en los resultados en el comportamiento de la velocidad de respiración mientras que los frutos no climatéricos presentan bajas tasas de producción de CO_2 durante la madurez.

Existe una diferencia entre frutos climatéricos y no climatéricos, la cual depende de la fisiología que presenta el fruto, el patrón de respiración y de la producción de etileno. Todos los frutos que maduran en respuesta al etileno muestran un aumento en la respiración antes de la fase de maduración, llamado climaterio Rodríguez y Magro citado por Hernández (2013).

De acuerdo a a Rivera (2011), el climaterio es definido como el periodo en la vida de ciertos frutos donde ocurren cambios bioquímicos por la producción de etileno. En esta etapa inicia la senescencia manifestándose por un aumento en la tasa de respiración que conduce a la maduración del fruto. El pico climatérico se presenta después de alcanzar una mínima intensidad respiratoria con un aumento, más o menos rápido hasta alcanzar el máximo donde posteriormente la intensidad respiratoria disminuye nuevamente.

El climaterio del jitomate mide en poscosecha dado que coincide con la maduración donde se presentan los cambios externos en la apariencia del fruto característicos de la madurez como el desarrollo del color externo, cambios de textura y sabor y posteriormente la senescencia (Hernández, 2013).

la poscosecha se define como el periodo transcurrido entre el momento en que un producto es recolectado, una vez que ha llegado a su madurez fisiológica, hasta que es consumido en estado fresco, preparado o transformado industrialmente; por lo tanto se relacionada con la manipulación, transformación y comercialización del producto, como con la etapa productiva del mismo Arcila citado por Hernández (2013).

Entre los factores que afectan la intensidad respiratoria del jitomate se encuentran la cantidad de azúcares, el grado de madurez, la estructura de la piel, el tamaño y la forma del fruto, la composición química del tejido que determina la solubilidad del oxígeno y del dióxido de carbono que como factores internos y la temperatura, la disponibilidad del etileno, oxígeno, dióxido de carbono y reguladores de crecimiento o el estrés hídrico presentado en el fruto como factores externos; todo esto en relación a los frutos de cada sustrato hidropónico evaluado (Salgado & Martinez, 2006).

8.3.2 Tasa de producción de etileno

El etileno (C_2H_4) desempeña un papel importante en el proceso de maduración de frutos climatéricos, tiene la característica de aumentar la actividad metabólica de los frutos acelerando su maduración y senescencia (Barrera et al., 1998).

El análisis de la tasa de producción de etileno (TPE) de los frutos (Figura 29) se obtuvo de igual manera que la velocidad de respiración (producción de CO_2).

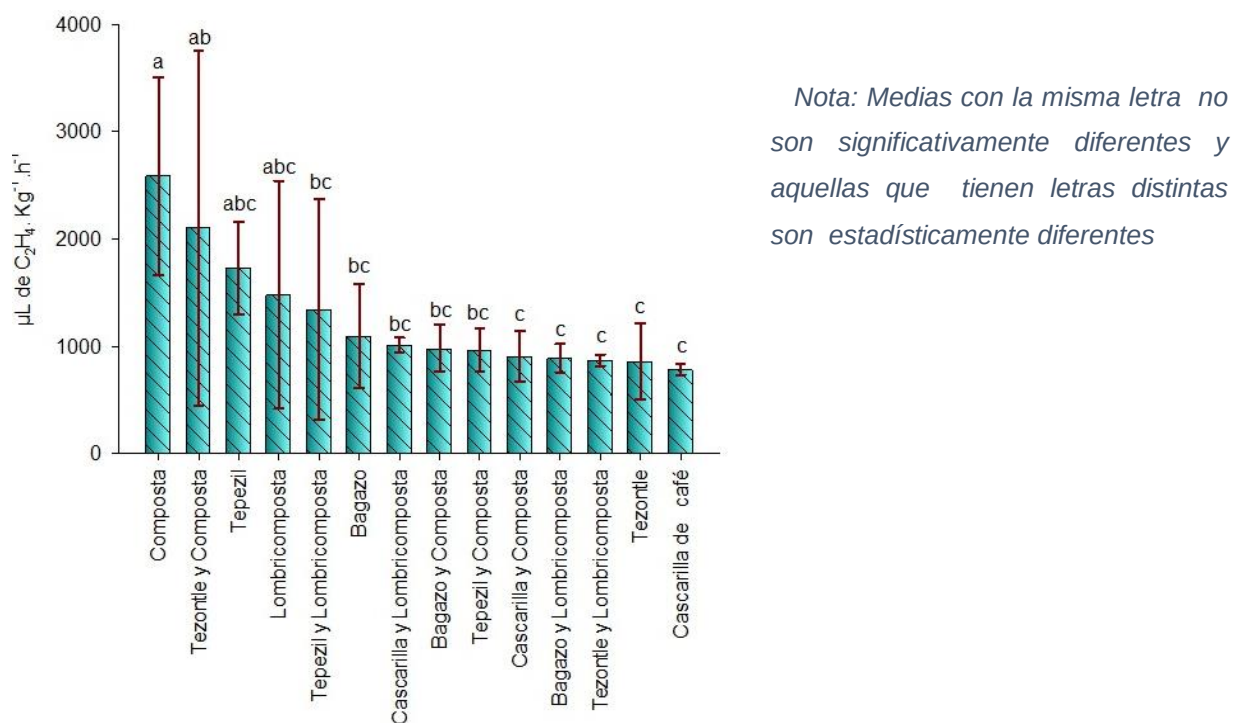


Figura 30. Comportamiento de la velocidad de producción de etileno en frutos de jitomate en relación al tipo de sustrato hidropónico

El análisis de la tasa de producción de etileno de los frutos no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$). De acuerdo a los resultados de esta variable, el tratamiento cuatro registro la mayor producción ($2583.9 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) mientras que el tratamiento seis registro la menor producción ($783.5 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

De acuerdo con Martínez et al., (2017) el etileno interviene en los cambios físicos, químicos y fisiológicos (sólidos solubles totales, pH, cambios de color en la epidermis y pulpa, disminución de la acidez total titulable y la resistencia o firmeza de la pulpa y tasa respiratoria) presentados por el fruto durante su maduración además de la aceleración de la senescencia del mismo y de la las hojas de la planta. Esta hormona es producida en los tejidos vegetales en respuesta al estrés causado por el daño o deterioro de su estructura manteniendo relación directa con el daño físico de frutas (FAO citado por Vargas ,2008).

Kader y Hernandez et al., citado por Barrera et al., (1998), dentro de la clasificación de especies hortícolas en relación a la producción de etileno, indican que el jitomate tiene una producción moderada presentando un rango de 1,0- 10,0 μL de C_2H_4 . $\text{Kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ a una temperatura de 20 °C; mientras que Artes citado por (Hernández, 2013) indica que el jitomate presenta una emisión de etileno moderada de 5-8 μL de etileno/kg h a 12°C en frutos pintones (inferior en frutos verdes y superior en los maduros) y de 3 a 10 μL de etileno/kg h a 20°C.

De los valores de la producción de etileno reportados por los autores anteriores; ninguno de los frutos de los sustratos evaluados presentaron valores similares a los obtenidos en este trabajo.

Tomando en consideración los tratamientos con altos valores en las tasas de producción siendo la composta, tepezil y tezontle con composta por mencionar algunos, una de las variables siendo afectada por el etileno es la firmeza, en la cual los frutos bajo los tratamientos mencionados anteriormente fueron afectados por esta hormona tal y como se muestra en el cuadro 14.

Esto se debe posiblemente a que el etileno está relacionado con las respuestas fisiológicas como cambio de color, ablandamiento de la pulpa, desarrollo de sabor entre otros procesos asociados con la maduración y senescencia del jitomate. (Africano et al., 2015). El descenso de la firmeza del jitomate tiende a disminuir a medida que avanza la maduración durante el climaterio, su maduración está asociada al ablandamiento debido a la despolimerización de las pectinas de la pared celular y de la lámina media de los tejidos del parénquima, producido principalmente por la acción de las enzimas polisacárido hidrolasas, entre las cuales la poligalacturonasa es una de las más abundantes y la mayor responsable de dicha despolimerización. (Hernández, 2013);

de acuerdo a estos resultados Meza (2013) indica que si un fruto climatérico con tejidos firmes en su etapa final de madurez presenta alteraciones en la composición química de su pared celular originando cambios excesivos en su textura es debido a las altas producciones de etileno presentadas por el fruto; de acuerdo con lo indicado por Meza esto podría ser una de varias causas del porqué algunos de los frutos de jitomate en

etapa de madurez de consumo con mayores producciones de etileno presentaron menores valores en su firmeza.

Los factores que pueden afectar la tasa de producción de etileno son la nutrición vegetal que es asimilada por el sustrato, la cual debe ser adecuada y equilibrada siendo esencial para el desarrollo de la planta y para la calidad del fruto, las deficiencias, excesos o desequilibrios de nutrientes, los cuales pueden limitar la vida del fruto siendo el nitrógeno, fósforo y potasio; estos elementos pueden variar debido a tipo del sustrato utilizado para el cultivo.

El nitrógeno es el elemento con mayor efecto en la calidad del fruto, niveles altos de este elemento estimulan el desarrollo vegetativo y aumentan el tamaño del fruto mientras que su deficiencia produce frutos mas pequeños y susceptibles a la pudrición, los periodos de aplicación de fertilizantes, los cuales si no son aplicados correctamente pueden causar estrés hídrico en la planta repercutiendo en la fisiología poscosecha del fruto (Salgado & Martinez, 2006).

IX. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

El tamaño de la mayoría de los frutos de los sustratos evaluados presento tamaños de categoría grande y extra grande, posicionándolos como frutos de primera y segunda calidad. Sustratos tales como el tezontle, bagazo y tepezil presentaron en el jitomate mayores tamaños por el contrario de los frutos cultivados bajo la composta, la cascarilla de café y el tezontle con composta. La maduración, la variedad o al híbrido, temperatura, la actividad fotosintética, el porcentaje de humedad, el CO₂ y la radiación son algunos de los factores que pueden afectar considerablemente el tamaño del fruto

Sustratos como el tepezil, composta y tepezil con lombricomposta pueden afectar negativamente la firmeza del jitomate por el contrario del bagazo, tezontle con lombricomposta y bagazo con composta, los cuales la afectan positivamente. Generalmente los frutos de los sustratos evaluados presentaron una firmeza con valores de 20 a 30 N, considerándolos de a esta manera como frutos firmes.

El contenido de sólidos solubles presente en el jitomate cultivado bajo sustratos tales como la lombricomposta, cascarilla de café y bagazo tuvo valores de 4.78, 4.66 y 3.38 °Brix respectivamente mientras que los frutos cultivado bajo el tepezil, tezontle, bagazo con composta y cascarilla con lombricomposta tuvieron valores de 3.99, 4.08, 4.02 °Brix respectivamente. el contenido de sólidos solubles del jitomate generalmente está situado en 3.5 y 7.0 °Brix dependiendo de la variedad donde en su periodo de madures comercial debe poseer un contenido de sólidos solubles entre 4 y 6 °Brix , los frutos de los sustratos bajo la lombricomposta, cascarilla de café y bagazo presentaron un contenido de sólidos solubles aceptable, ya que el en jitomate tipo saladette híbrido el Cid, el contenido de sólidos solubles debe estar situado en 4.1, 4.5, 4.4 y 4.6 °Brix, respectivamente,

El pH de la mayoría de los frutos de jitomate de cada tratamiento presento un valor situado en 4, el cual es un valor aceptable ya que pH del jugo del fruto normalmente se sitúa entre 4 y 4.8. El valor de acidez que presenta generalmente el jitomate se sitúa

entre 0.25% a 0.35%, calculado como porcentaje de ácido cítrico, en el caso del jitomate tipo saladette, el valor de acidez que presenta es de 0.24 a 0.32%, sin embargo los valores de acidez de los la mayoría de frutos de los sustratos evaluados no presentaron valores similares.

La acidez titulable y el pH del jitomate de algunos sustratos presentaron la relación que es vista en los frutos, ya que entre el pH y el contenido de ácidos presentes en el fruto (principalmente málico y cítrico) existe una correlación lineal negativa; ya que cuando los ácidos orgánicos decrecen entre el 25 y 35%, el valor de pH aumenta, lo cual pone de manifiesto una correlación inversa con la acidez titulable. Esto fue visto en los frutos de los sustratos tezontle, cascarilla de café, composta, cascarilla de café con composta y tepezil con composta.

Factores como la poca retención de nutrientes que presenta el sustrato cuando solución nutritiva no es suministrada correctamente puede producir una reducción del flujo de agua hacia el fruto ocasionando estrés por sales (osmótica) y una acumulación activa de solutos, lo cual causa efectos en la Firmeza, en el contenido de sólidos solubles un aumento de pH y posiblemente una reducción de los ácidos orgánicos presentes en el jitomate.

El etileno presente en las tasas de producción afectó la firmeza de algunos frutos de jitomate de los sustratos evaluados siendo los cultivados bajo la composta, tepezil y tezontle con composta por mencionar algunos, los cuales registraron altos valores en las tasas de producción de etileno pero valores menores en la firmeza.

La firmeza del jitomate de los sustratos disminuye a medida que avanza la maduración durante el climaterio, su maduración está asociada al ablandamiento debido a la despolimerización de las pectinas de la pared celular y de la lámina media de los tejidos del parénquima, producido principalmente por la acción de las enzimas polisacárido hidrolasas, entre las cuales la poligalacturonasa es una de las más abundantes y la mayor responsable de dicha despolimerización.

Las producciones de etileno y CO₂ de los frutos de jitomate de los catorce sustratos evaluados no presentaron valores semejantes a los que se presentan generalmente en las tasas de respiración y producción de etileno del jitomate, ya que este fruto tiene una producción moderada de etileno en un rango de 1,0- 10,0 μL de C₂H₄. Kg⁻¹.h⁻¹ a una temperatura de 20 °C y una producción de CO₂ relativamente elevada (10, 15, 22, 35 y 43 mg CO₂/kg h a temperaturas de 5, 10, 15, 20 y 25°C.

Factores que pueden afectar afectan la tasa de producción de etileno y CO₂ del jitomate son el grado de madurez, el tamaño y la forma del fruto, la composición química del tejido que determina la solubilidad del oxígeno y del dióxido de carbono, la temperatura, la disponibilidad del etileno, oxígeno, dióxido de carbono, la nutrición vegetal, las deficiencias, excesos o desequilibrios de nutrientes.

Sustratos tales como el tezontle tepezil, cascarilla de café pueden ser las opciones más factibles para el productor y para el consumidor en cuanto al cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette Hidropónico; afectando positivamente al algunos de sus parámetros de calidad; no obstante algunos de los sustratos mezclados siendo el tezontle con composta, tepezil con lombricomposta, bagazo con composta, cascarilla con lombricomposta y cascarilla con composta son otras opciones a considerar para el cultivo. Al evaluar los catorce sustratos; la lombricomposta, bagazo, tepezil con lombricomposta, tepezil con composta y bagazo con lombricomposta son estos las opciones menos factibles a considerar quedando descartados ya que afectan en su mayoría negativamente la calidad del fruto.

X. BIBLIOGRAFIA

- Africano, Karen Almanza, Pedro Balaguera, H. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L .) Batsch]. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161–172. Retrieved from http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/3754/pdf_24
- Africano, K. L., Almanza Merchan, P. J., & Balaguera Lopez, H. E. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L .) Batsch]. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161–172. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754>
- Aguilar, Óscar & Casierra, F. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300–307. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732015>
- Aguilar, L. (2017). *Producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero con porcentajes de compost en el sustrato*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Alarcón, A. (2013). *Calidad poscosecha del tomate (solanum lycopersicum L.) cultivado en sistemas ecologicos de fertilizacion*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO_ALARCON_ZAYAS.pdf
- Alarcón, A., Barreiro, P., & Boycet, T. (2018). Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y físico- químicos de la calidad del tomate, (April).
- Alarcón, R. (2014). *Evaluación de tomate (lycopersicom esculentum Mill.) con diferentes niveles de compost como sustrato orgánico en invernadero*. Igarss 2014. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Allende, M. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago, Chile. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12ManualdeTomateInvernadero.pdf>

- Ardila, G., Fischer, G., & Balaguera, H. (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(1), 44–56. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1252>
- Arias, R. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*. Managua. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Aular, J. et al. (2002). Relación entre el color de la cáscara y las características del fruto y jugo de la parchita maracuyá. *Bioagro*, 14(1), 47–51.
- Baldomero, N. (2007). *Producción de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) hidropónico con sustratos bajo invernadero*. Instituto Politécnico Nacional. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO. Retrieved from <http://www.cic.ipn.mx/sitioCIC/images/sources/cic/tesis/B020892.pdf>
- Barrera, J., Melgarejo, L., & Hernández, M. (1998). IX. Fisiología poscosecha. *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal*, 167–186. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11_Cap09.pdf
- Bautista, P. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara, 27(1), 115–130.
- Bolívar, N., Saucedo, C., & Sauri, E. (2011). RESPIRATION AND RELATED PARAMETERS OF MATURATION IN HARVESTED Chicozapote IN THE YUCATAN PENINSULA. *Rev. Bras. Frutic*, 261–266. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000032>
- Bressani, R. (1978). *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Bogota, Colombia.
- Cantwell, M., & Kasmire, R. (2007). Capítulo 33. Sistemas de Manejo Postcosecha: Hortalizas de Frutos. In *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas* (pp. 457–474). <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01328.x>
- Cárdenas, Y. (2015). *“Efecto de Sustratos a Base de Residuos Agrícolas, en el Cultivo del Hongo Comestible Pleurotus ostreatus <Jacquin Fries> Kummer, Distrito de Santa Ana, La Convención.”* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO

ABAD DEL CUSCO.

- Casierra, Fánor Álvarez, Óscar Luque, N. (2010). Calidad de frutos en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Rocío) producidos bajo coberturas reflectiva y plástica, 4(1), 67–80.
- De la Rosa, Penelope, Herrera, I. (2015). *La Producción Hidropónica ¿una alternativa alimentaria en espacios urbanos?* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
- del Pilar, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, 1(25), 83–95. <https://doi.org/690-2>
- Gamboa, L. (2013). *“Aplicación Poscosecha de Selenio en Frutos de Tomate y Tomatillo y su Efecto en la Calidad Nutricional, Potencial Antioxidante y Comportamiento Poscosecha.”* Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.”
- García, Ana Contreras , Ana, Ttujillo, Y. (2009). Características físicas y químicas del tomate (*Solanum lycopersicum* L .) variedad pera, (1), 75–82.
- García, A. (2008). *EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA UTILIZARSE COMO SUSTRATO EN CULTIVO SIN SUELO DE HORTALIZAS*. Instituto Politécnico Nacional.
- Gómez, Perla Camelo, A. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas., (7620), 38–43.
- Gómez, S., & et al. (2013). *Metodologías para la elaboración de compostas y lombricompostas de excretas de ganado de leche*. México, D.F.
- Hernández, A. (2003). *La Composta , su Elaboración y Beneficio*. Saltillo.
- Hernández, I. (2003). *Estudio de la trayectoria y prospectiva de los mercados del tomate*. San Luis Potosí. Retrieved from <http://docplayer.es/2023184-Se-trabaja-en-esta-segunda-etapa-bajo-los-siguientes-objetivos.html>
- Hernández, J. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (Lycopersicum esculentum var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba.

- Intagri. (2009). La Caracterización de los Sustratos para la Horticultura. , *Instituto Para Innovación Tecnológica En La Agricultura*. Retrieved from intagri.com
- Jaramillo, J., & et al. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico -BPA-*. Antioquía. [https://doi.org/\(Doc. 22213\)](https://doi.org/(Doc.22213))
- Josafad, S. (2001). Evaluación de tomate ((*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 12(1), 49–56.
- Juares, A. (2005). *Lombricomposta “la lombriz coopera con nosotros para transformar nuestros desechos en fertilizante orgánico.”* México, D.F.
- Júarez, H. (2014). *Cultivo Hidropónico En Mangas Verticales De Dos Variedades De Acelga Y Lechuga*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- León, E. (2017). “*Efecto del silenciamiento del gen TomloxB sobre la maduración de frutos de tomate (Solanum lycopersicum)*”. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Lourdes, M. H. M. (1999). *COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y VIDA DE ANAQUEL DEL TOMATE (Lycopersicum esculentum) CULTIVADO EN SUSTRATO ORGÁNICO, HIDROPÓNICO Y CONVENCIONAL*. Tesis. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Magdaleno, G. (2017). *Aplicación de Nanopartículas de Cobre en Hidrogeles de Quitosán para Promover la Tolerancia al Estrés Salino en Tomate (Solanum lycopersicum L.)*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Manals, E., & et al. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *RTQ Online*, 35(2), 244–255.
- Marín, F. (2001). *La Maduración en los Productos Hortifrutícolas*. San Jose, Costa Rica.
- Martínez, Monica Rosendo, Balois Alia, Irán Cortes, Moises Palimino, Yolotzin López, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos * Postharvest fruits: maturation and biochemical changes Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 4075–4087.
- Martínez, O., Chulim, Á., Cruz, E., & García, J. (2018). Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,

- 8(1), 53. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- Maza, J. F. (2014). *Efecto de diferentes sustratos sobre la aclimatación del anturio (Anthurium andreaum) en vivero*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.
- Meza, A. (2013). *Aplicación De Hidroenfriamiento Y Una Cubierta De Polímero Al Melón Cantaloupe Para Disminuir Su Tasa De Respiración Y Actividad Enzimática*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mikkelsen, R. L. (2005). Sabor Del Tomate Y La Nutricion De La Planta :, 89(59), 14–15.
- Muñoz, A. (2010). *Sistema Para Clasificación De Jitomates Basado En Metrología Laser Y Algoritmos Computacionales*. Retrieved from <https://bibliotecas.cio.mx/tesis/14607.pdf>
- Navarro, E. et al. (2012). Calidad Poscosecha En Frutos De Tomate Hidropónico Producidos Con Agua Residual Y De Pozo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVIII(3), 263–277. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.11.097>
- Navarro, E., Nieto, R., Corrales, J., García, M. del R., & Ramírez, A. (2012). Postharvest Quality in Fruit of Hydroponic Tomato Cultivated With Wastewater and Well Water. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVIII(3), 263–277. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.11.097>
- Ortega, L. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero. *Universidad Autónoma Indígena de México*, 6, 339–346. Retrieved from www.redalyc.org
- Osuna, F. de J. et al. (2011). *Manejo de sustratos en el control biológico de nochebuena de interior Trichoderma spp.* Zacatepec, Morelos.
- Pacheco, J. (2017). *Búsqueda de fuentes de resistencia a patógenos en Solanum lycopersicum var. cerasiforme y en Solanum pimpinellifolium*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Patrón, C., Montes, A., Oropeza, R., & Patrón, G. (2012). *DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EPICARPIO DE TOMATES (Lycopersicum esculentum Mill.) CON SISTEMA DE VISIÓN COMPUTARIZADA DURANTE LA MADURACIÓN*. *Agronomía Costarricense* (Vol. 35). Retrieved from www.cia.ucr.ac.cr
- Peña, Mayda , Casierra, F., & Monsalve, O. (2014). Producción hidropónica de tomate

- (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 217–227. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2236>
- Reséndiz, H. (2009). *Diseño de una planta productora de lombricomposta en la Universidad tecnológica de la Mixteca*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA.
- Rettig, M. & Hen, A. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible Color. *Agro Sur*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Rivera, J. (2011). Parámetros fisicoquímicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate (*solanum lycopersicum*).
- Rivero, M., Quiroga, M., Gonzalez, O., & Moraga, L. (2013). *Postcosecha de tomate. Control de calidad*. VI. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_n_6_-_control_de_calidad.pdf
- Roca, G. et al. (2006). Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar. Parte I Características Físicas. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia No Meio Rural*, 1–10. Retrieved from <http://www.proceedings.scielo.br>
- Rodriguez, D. (2013). *Evaluación de sustratos organicos alternativos en la produccion de pepino (Cucumis sativus L.) en invernadero*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ. Retrieved from <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3400/2/MPA1EVA01301.pdf>
- Rodríguez, E. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), 275–284.
- Román, P. et al. (2013). *Manual Del Compostaje Del Agricultor*. Fao. Santiago, Chile. Retrieved from www.fao.org/publications
- SAGARPA. (2010). *Monografía de cultivos*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Salgado, T., & Martinez, R. (2006). RELACION ENTRE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA Y LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BANANO (Musa.
- San Martín, Cesar Ordaz, Víctor Sánchez, Prometeo Colinas, Beril León, María Borges, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) producido en

- hidroponía con diferentes granulometrias de tezontle.
- San Martin, C. et al. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254.
- Sañudo, R. (2013). *EL CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.) Y EL POTENCIAL ENDOFÍTICO DE DIFERENTES AISLADOS DE Beauveria bassiana*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INDÍGENA DE MÉXICO.
- Teles, M. (2006). *Estudio del comportamiento poscosecha de la ciruela 'reina claudia verde.'* Universidad de Extremadura.
- Tjalling, H. (2006). *Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad*. Noruega. Retrieved from www.sqm.com
- Trejo, & et al. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán * Physical and chemical evaluation of volcanic rocks and its use for tulip production Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 863–876.
- Trejo, R. (2014). EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y ENARENADOS E N PRODUCCIÓN DE TOMATE BOLA (*Solanum lycopersicum* L.) E N INVERNADERO, 45. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/4447/1/1080253679.pdf>
- Valderrama, K. (2005). Postharvest physiology of two pineapple guava (feijoa) fruit (*Acca sellowiana* O. Berg Burret) cultivars submitted to cold quarantine treatment. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 276–282.
- Vasquez, A. M. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imagenes digitales*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/47272/>
- Virgili, A. (1994). *Introducción a la Fertilización con Microelementos* (Vol. DivisionAg). Barcelona.
- Zamora, E. (2016). *EL CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum L. Mill) BAJO CUBIERTAS PLASTICAS*. Hermonisillo, Sonora.
- Zarate, N. (2007). *PRODUCCIÓN DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.) HIDROPÓNICO CON SUSTRATOS, BAJO INVERNADERO*. Instituto Politecnico

Nacional.

- Africano, Karen Almanza, Pedro Balaguera, H. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L .) Batsch]. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161–172. Retrieved from http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/3754/pdf_24
- Africano, K. L., Almanza Merchan, P. J., & Balaguera Lopez, H. E. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L .) Batsch]. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161–172. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754>
- Aguilar, Óscar & Casierra, F. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300–307. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732015>
- Aguilar, L. (2017). *Producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) en invernadero con porcentajes de compost en el sustrato*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Alarcón, A. (2013). *Calidad poscosecha del tomate (solanum lycopersicum L.) cultivado en sistemas ecologicos de fertilizacion*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO_ALARCON_ZAYAS.pdf
- Alarcón, A., Barreiro, P., & Boycet, T. (2018). Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y físico- químicos de la calidad del tomate, (April).
- Alarcón, R. (2014). *Evaluación de tomate (lycopersicom esculentum Mill.) con diferentes niveles de compost como sustrato orgánico en invernadero*. Igarss 2014. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Allende, M. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago, Chile. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12ManualdeTomateInvernadero.pdf>

- Ardila, G., Fischer, G., & Balaguera, H. (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(1), 44–56. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1252>
- Arias, R. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*. Managua. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Aular, J. et al. (2002). Relación entre el color de la cáscara y las características del fruto y jugo de la parchita maracuyá. *Bioagro*, 14(1), 47–51.
- Baldomero, N. (2007). *Producción de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) hidropónico con sustratos bajo invernadero*. Instituto Politécnico Nacional. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO. Retrieved from <http://www.cic.ipn.mx/sitioCIC/images/sources/cic/tesis/B020892.pdf>
- Barrera, J., Melgarejo, L., & Hernández, M. (1998). IX. Fisiología poscosecha. *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal*, 167–186. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11_Cap09.pdf
- Bautista, P. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara, 27(1), 115–130.
- Bolívar, N., Saucedo, C., & Sauri, E. (2011). RESPIRATION AND RELATED PARAMETERS OF MATURATION IN HARVESTED Chicozapote IN THE YUCATAN PENINSULA. *Rev. Bras. Frutic*, 261–266. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000032>
- Bressani, R. (1978). *Pulpa de café. Composición, tecnología y utilización*. Bogota, Colombia.
- Cantwell, M., & Kasmire, R. (2007). Capítulo 33. Sistemas de Manejo Postcosecha: Hortalizas de Frutos. In *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas* (pp. 457–474). <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01328.x>
- Cárdenas, Y. (2015). *“Efecto de Sustratos a Base de Residuos Agrícolas, en el Cultivo del Hongo Comestible Pleurotus ostreatus <Jacquin Fries> Kummer, Distrito de Santa Ana, La Convención.”* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO

ABAD DEL CUSCO.

- Casierra, Fánor Álvarez, Óscar Luque, N. (2010). Calidad de frutos en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Rocío) producidos bajo coberturas reflectiva y plástica, 4(1), 67–80.
- De la Rosa, Penelope, Herrera, I. (2015). *La Producción Hidropónica ¿una alternativa alimentaria en espacios urbanos?* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
- del Pilar, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, 1(25), 83–95. <https://doi.org/690-2>
- Gamboa, L. (2013). *“Aplicación Poscosecha de Selenio en Frutos de Tomate y Tomatillo y su Efecto en la Calidad Nutricional, Potencial Antioxidante y Comportamiento Poscosecha.”* Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.”
- García, Ana Contreras , Ana, Ttujillo, Y. (2009). Características físicas y químicas del tomate (*Solanum lycopersicum* L .) variedad pera, (1), 75–82.
- García, A. (2008). *EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA UTILIZARSE COMO SUSTRATO EN CULTIVO SIN SUELO DE HORTALIZAS*. Instituto Politécnico Nacional.
- Gómez, Perla Camelo, A. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas., (7620), 38–43.
- Gómez, S., & et al. (2013). *Metodologías para la elaboración de compostas y lombricompostas de excretas de ganado de leche*. México, D.F.
- Hernández, A. (2003). *La Composta , su Elaboración y Beneficio*. Saltillo.
- Hernández, I. (2003). *Estudio de la trayectoria y prospectiva de los mercados del tomate*. San Luis Potosí. Retrieved from <http://docplayer.es/2023184-Se-trabaja-en-esta-segunda-etapa-bajo-los-siguientes-objetivos.html>
- Hernández, J. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (Lycopersicum esculentum var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba.

- Intagri. (2009). La Caracterización de los Sustratos para la Horticultura. , *Instituto Para Innovación Tecnológica En La Agricultura*. Retrieved from intagri.com
- Jaramillo, J., & et al. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico -BPA-*. Antioquía. [https://doi.org/\(Doc. 22213\)](https://doi.org/(Doc.22213))
- Josafad, S. (2001). Evaluación de tomate ((*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 12(1), 49–56.
- Juares, A. (2005). *Lombricomposta “la lombriz coopera con nosotros para transformar nuestros desechos en fertilizante orgánico.”* México, D.F.
- Júarez, H. (2014). *Cultivo Hidropónico En Mangas Verticales De Dos Variedades De Acelga Y Lechuga*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- León, E. (2017). “*Efecto del silenciamiento del gen TomloxB sobre la maduración de frutos de tomate (Solanum lycopersicum)*”. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Lourdes, M. H. M. (1999). *COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, CARACTERISTICAS SENSORIALES Y VIDA DE ANAQUEL DEL TOMATE (Lycopersicum esculentum) CULTIVADO EN SUSTRATO ORGÁNICO, HIDROPÓNICO Y CONVENCIONAL*. Tesis. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Magdaleno, G. (2017). *Aplicación de Nanopartículas de Cobre en Hidrogeles de Quitosán para Promover la Tolerancia al Estrés Salino en Tomate (Solanum lycopersicum L.)*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Manals, E., & et al. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *RTQ Online*, 35(2), 244–255.
- Marín, F. (2001). *La Maduración en los Productos Hortifrutícolas*. San Jose, Costa Rica.
- Martínez, Monica Rosendo, Balois Alia, Irán Cortes, Moises Palimino, Yolotzin López, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos * Postharvest fruits: maturation and biochemical changes Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 4075–4087.
- Martínez, O., Chulim, Á., Cruz, E., & García, J. (2018). Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,

- 8(1), 53. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- Maza, J. F. (2014). *Efecto de diferentes sustratos sobre la aclimatación del anturio (Anthurium andreaum) en vivero*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.
- Meza, A. (2013). *Aplicación De Hidroenfriamiento Y Una Cubierta De Polímero Al Melón Cantaloupe Para Disminuir Su Tasa De Respiración Y Actividad Enzimática*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mikkelsen, R. L. (2005). Sabor Del Tomate Y La Nutricion De La Planta :, 89(59), 14–15.
- Muñoz, A. (2010). *Sistema Para Clasificación De Jitomates Basado En Metrología Laser Y Algoritmos Computacionales*. Retrieved from <https://bibliotecas.cio.mx/tesis/14607.pdf>
- Navarro, E. et al. (2012). Calidad Poscosecha En Frutos De Tomate Hidropónico Producidos Con Agua Residual Y De Pozo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVIII(3), 263–277. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.11.097>
- Navarro, E., Nieto, R., Corrales, J., García, M. del R., & Ramírez, A. (2012). Postharvest Quality in Fruit of Hydroponic Tomato Cultivated With Wastewater and Well Water. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVIII(3), 263–277. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.11.097>
- Ortega, L. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero. *Universidad Autónoma Indígena de México*, 6, 339–346. Retrieved from www.redalyc.org
- Osuna, F. de J. et al. (2011). *Manejo de sustratos en el control biológico de nochebuena de interior Trichoderma spp.* Zacatepec, Morelos.
- Pacheco, J. (2017). *Búsqueda de fuentes de resistencia a patógenos en Solanum lycopersicum var. cerasiforme y en Solanum pimpinellifolium*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Patrón, C., Montes, A., Oropeza, R., & Patrón, G. (2012). *DETERMINACIÓN DEL COLOR EN EPICARPIO DE TOMATES (Lycopersicum esculentum Mill.) CON SISTEMA DE VISIÓN COMPUTARIZADA DURANTE LA MADURACIÓN*. *Agronomía Costarricense* (Vol. 35). Retrieved from www.cia.ucr.ac.cr
- Peña, Mayda , Casierra, F., & Monsalve, O. (2014). Producción hidropónica de tomate

- (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 217–227. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2236>
- Reséndiz, H. (2009). *Diseño de una planta productora de lombricomposta en la Universidad tecnológica de la Mixteca*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA.
- Rettig, M. & Hen, A. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible Color. *Agro Sur*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Rivera, J. (2011). Parámetros fisicoquímicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate (*solanum lycopersicum*).
- Rivero, M., Quiroga, M., Gonzalez, O., & Moraga, L. (2013). *Postcosecha de tomate. Control de calidad. VI*. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_n_6_-_control_de_calidad.pdf
- Roca, G. et al. (2006). Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar. Parte I Características Físicas. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia No Meio Rural*, 1–10. Retrieved from <http://www.proceedings.scielo.br>
- Rodriguez, D. (2013). *Evaluación de sustratos organicos alternativos en la produccion de pepino (Cucumis sativus L.) en invernadero*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ. Retrieved from <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3400/2/MPA1EVA01301.pdf>
- Rodríguez, E. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), 275–284.
- Román, P. et al. (2013). *Manual Del Compostaje Del Agricultor*. Fao. Santiago, Chile. Retrieved from www.fao.org/publications
- SAGARPA. (2010). *Monografía de cultivos*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Salgado, T., & Martinez, R. (2006). RELACION ENTRE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA Y LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BANANO (Musa.
- San Martin, Cesar Ordaz, Victor Sánchez, Prometeo Colinas, Beril Leon , María Borges, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) producido en

- hidroponía con diferentes granulometrias de tezontle.
- San Martin, C. et al. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254.
- Sañudo, R. (2013). *EL CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.) Y EL POTENCIAL ENDOFÍTICO DE DIFERENTES AISLADOS DE Beauveria bassiana*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INDÍGENA DE MÉXICO.
- Teles, M. (2006). *Estudio del comportamiento poscosecha de la ciruela 'reina claudia verde.'* Universidad de Extremadura.
- Tjalling, H. (2006). *Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad*. Noruega. Retrieved from www.sqm.com
- Trejo, & et al. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán * Physical and chemical evaluation of volcanic rocks and its use for tulip production Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 863–876.
- Trejo, R. (2014). EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y ENARENADOS E N PRODUCCIÓN DE TOMATE BOLA (*Solanum lycopersicum* L.) E N INVERNADERO, 45. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/4447/1/1080253679.pdf>
- Valderrama, K. (2005). Postharvest physiology of two pineapple guava (feijoa) fruit (*Acca sellowiana* O. Berg Burret) cultivars submitted to cold quarantine treatment. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 276–282.
- Vasquez, A. M. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imagenes digitales*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/47272/>
- Virgili, A. (1994). *Introducción a la Fertilización con Microelementos* (Vol. DivisionAg). Barcelona.
- Zamora, E. (2016). *EL CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum L. Mill) BAJO CUBIERTAS PLASTICAS*. Hermonisillo, Sonora.
- Zarate, N. (2007). *PRODUCCIÓN DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.) HIDROPÓNICO CON SUSTRATOS, BAJO INVERNADERO*. Instituto Politecnico

Nacional.

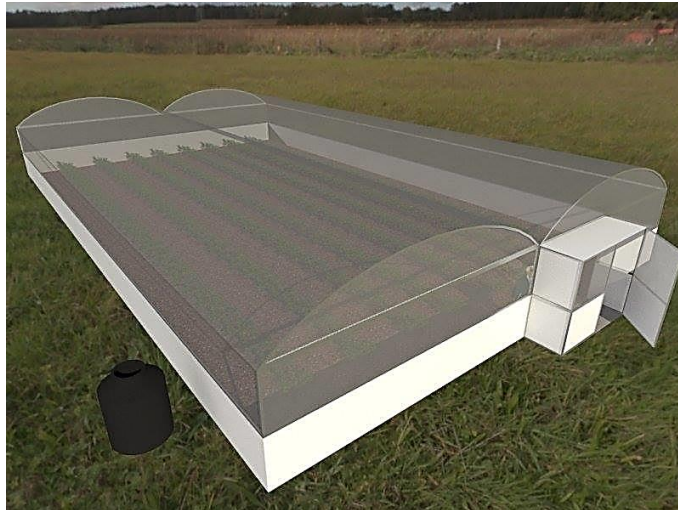
- Alique, R. (Viernes de Mayo de 2013). *Fisiología Poscosecha*. Obtenido de <https://solucionespost-cosecha.blogspot.com/2013/05/principios-de-la-postcosecha.html>
- Aular, J. e. (2002). *Relación entre el color de la cascara y las características del fruto y jugo de la parchita de maracuya*. Venezuela.
- Calderón, F. e. (10 de Noviembre de 2002). *Laboratorios Ltda*. Obtenido de LOS SUSTRATOS: www.drcalderonlabs.com
- Camo, D. H. (Agosto de 2018). Análisis Comparativo de la actividad enzimática de lipoxigenasa en frutos de chayote y jitomate genéticamente modificado durante la vida de anaquel. Huatusco, Veracruz, Mexico.
- Carlos, Lina & Sánchez, Guadalupe. (Agosto de 2016). "Efecto de la fertilización potásica sobre parámetros físicoquímicos en chayote (*Sechium edule* jac.Stwartz var. *Virens Levis*) en postcosecha". Huatusco, Veracruz, México.
- Cervantes, M. A. (16 de Agosto de 2015). *Cultivo de tomate en intensivo. Primera parte*. Obtenido de <https://fitosofia.blogspot.com/2015/08/cultivo-de-tomate-en-intensivo.html>
- Chen, J. (12 de Septiembre de 2017). *ProMix*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/por-que-el-compost-no-es-una-buena-eleccion-para-sustratos-profesionales/>
- Domene, M. Á. (2014). *Parametros de Calidad Interna de Hortalizas y Frutas en la Industria Agroalimentaria*.
- FAO . (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. (FAO) ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Balneario, Argentina.
- fastsecret*. (2016). Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de [fastsecret.com](http://www.fastsecret.com): <http://www.fastsecret.com.mx/calor%C3%ADas-nutrici%C3%B3n/gen%C3%A9rico/jitomate>
- Feiertag, S. (4 de Octubre de 2016). *Variedades de tomate de todo el mundo - más de 20.000 especies*. Obtenido de http://www.ethno-botanik.org/Startseite_es.html

- Gonzalez, J. (19 de Octubre de 2018). *El cultivo de tomate*. Obtenido de Agropedia: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-tomate/>
- Gutiérrez, M. d. (30 de Julio de 2010). Primer Curso Nacional de Sustratos. *La micromorfología y las propiedades hídricas en la formulación de sustratos*. Texcoco, México.
- Hernández, A. (2003). *La composta, su Elaboración y Beneficios*. Saltillo.
- Herrera, M. (14 de Mayo de 2013). *Avicultura. Forraje de cascarilla de cafe*. Obtenido de <https://www.engormix.com/MA-avicultura/fotos/forraje-de-cascarilla-de-cafe-ph22539/p0.htm>
- INAGRI. (2017). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Marquez, E. (19 de Marzo de 2014). *Biodisol*. Obtenido de ¿Qué es un cultivo hidropónico? ¿Es posible hacerlo exitósamente en casa?: <http://www.biodisol.com/ahorro-energetico/hidroponia-que-es-un-cultivo-hidroponico-es-posible-hacerlo-exitosamente-en-casa/>
- Nanzi, A. (4 de Septiembre de 2010). *Las plantas para la Salud*. Obtenido de <https://lasplantasparalasalud.blogspot.com/2010/09/propiedades-del-tomate-lycopersicum.html>
- NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba". (10 de Junio de 2008). NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba". México.
- Pacheco, A. (8 de Septiembre de 2010). *Cultivo en Sustratos XLIV*. Obtenido de <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/135-cultivo-en-sustratos-xliv>
- Patrón, J. (30 de Julio de 2010). *Sustratos Orgánicos: elaboración, manejo y principales usos*. Texcoco, México.
- Porras, J. d. (Octubre de 2012). "Determinación del contenido de antioxidantes en flores de feijoa (*Acca Sellowiana* Berg.) y estudio fisiológico del fruto en frigoconservación". Huatusco, Veracruz.

- Portillo, G. (2 de Octubre de 2017). *RENOVABLES VERDES*. Obtenido de La hidropónia: <https://www.renovablesverdes.com/hidroponia/>
- Roach, M. (2008). *A way to garden.com*. Obtenido de <https://awaytogarden.com/what-color-is-your-tomato-how-to-ripen-them/>
- SIAP, S. (2017). *Atlas Agroalimentario 2017*. Obtenido de [www.gob.mx/siap: http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=3](http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=3)
- Vargas, M. (Julio de 2008). Evaluación sensorial y efecto de la temperatura en la calidad postcosecha de Maracuya (*Passiflora edulis* Sims var. *Flavicarpa* Degener) en Veracruz México. Huatusco, Veracruz, México.
- Vásquez, V. (2015). *Intagri*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/por-que-se-realiza-la-poda-en-tomate>

Anexos

Anexo 1. Vista en tercera dimensión del invernadero de 315 metros cuadrados tipo medio túnel con 2 túneles del ITSH



Anexo 2. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA-Instituto Tecnológico de Veracruz)



Anexo 3: Braun Multipractic MR 400 HC de 200 W de potencia y frecuencia de operación de 60 Hz utilizado para la extracción de jugo de la pulpa de los frutos de jitomate



Anexo 4.Acumulación de CO₂ y etileno de frutos de jitomate colocados en frascos de 1 Litro sellados herméticamente



Anexo 5. Cromatógrafo de gases. Marca Agilent Technologies inc. , jeringa de un mL de espacio y fruto sellado herméticamente en frasco de 1 L

