

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

CALIDAD DE SEMILLA DE TRES POBLACIONES NATIVAS Y UNA VARIEDAD COMERCIAL DE TOMATE CRECIENDO EN TEMPERATURA ALTA

VICTORIA ABIGAIL DELGADO VARGAS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe VICTORIA ABIGAIL DELGADO VARGAS,

Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. OSCAR JAVIER AYALA GARAY, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis CALIDAD DE SEMILLAS DE TRES POBLACIONES NATIVAS Y UNA VARIEDAD COMERCIAL DE TOMATE CRECIENDO EN TEMPERATURA ALTA

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 30 de OCTUBRE de 2017



Firma del
Alumno (a)



Oscar Javier Ayala Garay

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada CALIDAD DE SEMILLA DE TRES POBLACIONES NATIVAS Y UNA VARIEDAD COMERCIAL DE TOMATE CRECIENDO EN TEMPERATURAS ALTAS realizada por la alumna: Victoria Abigail Delgado Vargas, Bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:




Dr. Oscar Javier Ayala Garay

ASESOR:



Dr. Guillermo Calderón Zavala

ASESOR:



Dr. J. Jesús Magdaleno Villar

CALIDAD DE SEMILLA DE TRES POBLACIONES NATIVAS Y UNA VARIEDAD COMERCIAL DE TOMATE CRECIENDO EN TEMPERATURAS ALTAS.

Victoria Abigail Delgado Vargas, M.C.

Colegio de postgraduados, 2017

RESUMEN

Una manera de mitigar los efectos negativos de la temperatura alta (TA), inherente al cambio climático, sobre la producción de cultivos es el uso de los recursos fitogenéticos. México es un centro de diversidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) encontrándose numerosas poblaciones nativas en el país. Los estudios de calidad de semillas de la especie son escasos, específicamente sobre el efecto de temperaturas altas durante su desarrollo. En esta investigación realizada en 2016 en Texcoco, México, se evaluó la calidad de semilla producida en dos condiciones de temperatura para la variedad comercial Moneymaker (MM) y de tres poblaciones nativas de tomate provenientes de Campeche (C-40), Yucatán (Y-25) y Malinalco (M-430). Se utilizaron dos invernaderos tipo tunel, uno ventilado y con cortina cenital para el tratamiento control (TCC) (temperatura máxima promedio TMP: 33.5 °C) y otro con sistema de calefacción para el tratamiento de TA (TMP: 37 °C). Se utilizó semilla de frutos del cuarto racimo para la evaluación de variables de calidad física y fisiológica. En las semillas producidas bajo TA el peso de 1000 semillas, el largo y ancho de la semilla fueron estadísticamente más grandes ($\alpha \leq 0.01$) en 5, 7 y 6.8 %, TA, respecto a TCC. En cuanto a la calidad fisiológica, la germinación promedio fue estadísticamente superior ($\alpha \leq 0.01$) en la semilla producida en TCC 4.7 %. La TA disminuyó el porcentaje de germinación por abajo del 90 % en la semilla de MM, M-430 y Y-25. La velocidad de emergencia de radículas en la prueba de germinación y la germinación de la semilla después de envejecimiento acelerado (EA) fueron estadísticamente inferiores ($\alpha \leq 0.05$) en semilla producida en TA en 10 y 6 %. La cinética de germinación de la semilla sometida a (EA) mostró que la semilla producida en TA tiene una germinación más rápida (mayor vigor). Finalmente, la conductividad eléctrica de la solución de imbibición se correlacionó inversamente con el porcentaje de germinación ($R^2=-0.7^*$), pudiendo indicar que el efecto negativo de la temperatura alta sobre la calidad fisiológica de la semilla se daría por su efecto en la permeabilidad de las membranas.

Palabras clave: Temperatura alta, cambio climático, calidad de semilla, germinación, vigor.

SEED QUALITY OF THREE LANDRACE AND A COMMERCIAL VARIETY OF TOMATO PRODUCED IN HIGH TEMPERATURES

Victoria Abigail Delgado Vargas, M.C.

Colegio de postgraduados, 2017

ABSTRACT

One way to mitigate the negative effects of high temperature (HT), inherent to climate change, on crops production is the use of plant genetic resources. Mexico is a center of tomato diversity (*Solanum lycopersicum* L.), with numerous native populations in the country. Seed quality studies of the species are scarce, specifically on the effect of high temperatures during its development. In this research conducted in 2016 in Texcoco, Mexico, the quality of seed produced under two temperature conditions for the commercial variety Moneymaker (MM) and three landraces of tomatoes, Campeche (C-40), Yucatán (Y) and Malinalco (M-430). Two tunnel greenhouses were used, one ventilated and with zenithal curtain for the control treatment (TCC) (average maximum temperature AMT: 33.5 °C) and another one with heating system for the treatment of TA (37 °C). Seed of fruits of the fourth bunch was used for the evaluation of physical and physiological quality variables. In the seeds produced under TA the weight of 1000 seeds, the length and width of the seed were statistically larger ($\alpha \leq 0.01$) in 5, 7 and 6.8 %, HT, with respect to TC. Regarding the physiological quality, the average germination was statistically superior ($\alpha \leq 0.01$) in the seed produced in TC 4.7%. The HT decreased the percentage of germination below 90% in seed of MM, M-430 and Y-25. The emergence speed of radicles in the germination test and the germination of the seed after accelerated aging (EA) were statistically lower ($\alpha \leq 0.05$) in seed produced in TA in 10 and 6%. The germination kinetics of the seed subjected to (EA) showed that the seed produced in HT has a faster germination (greater vigor). Finally, the electrical conductivity of the imbibition solution was inversely correlated with the percentage of germination ($R^2 = -0.7 *$), indicating that the negative effect of high temperature on the physiological quality of the seed would be given by its effect on the permeability of the membranes.

Key words: High temperature, climate change, seed quality, germination, vigor.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la oportunidad de vivir y por cubrir mi camino en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante toda mi vida y en especial durante este periodo de mi formación profesional.

Al **Colegio de Postgraduados, Programa en Recursos Genéticos y Productividad, Fisiología vegetal**, por permitirme seguir formándome como profesionista.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por el apoyo brindado en el financiamiento de mis estudios de Maestría.

Al **Dr. Oscar J. Ayala garay** por su guía, amistad y confianza y por toda la paciencia brindada. A todo el equipo de trabajo de mi consejero (Lucy, Marta, Gaby, Sra, Alicia, Sr. Vicente, Uriel) por sus atenciones y apoyo a lo largo de este estudio.

A **M.C. Diana Garfias Sánchez** por todas las horas de trabajo, fuiste una amiga desde el primer día y mi maestra todos los días.

Al personal de apoyo de los laboratorios de: Producción de semillas, Fisiología y Fruticultura y a los muchachos de campo. Gracias por ayudarme a sacar esto adelante (Don Jorch, Joel Galicia, Hugo Honofre y a don Gaspar).

A los integrantes del Consejo Particular

A los Dres: **Guillermo Calderón Zavala, J. Jesús Magdaleno Villar**. Por sus contribuciones y apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Y a mis maestros que siempre tuvieron un trato amable cuando tuve dudas

Dr. Nicasio, M.C. Ivan, M.C. Adrián, Dr. Gabino, Dr. Carrillo, Dr. Saucedo, Dr. Villanueva y a todos los que formaron parte de mi formación de maestría.

A mis amigos por pasar horas de angustia, alegrías y aventuras (Garrido, Raul, Marlen, Adriana, mi Fabi, Yamir, Deisy, Dolores).

A **Juan Antonio Salazar V**. Por todo tu apoyo y paciencia y aportaciones desde que inició mi aventura, por los desvelos, regaños y mano de obra por tu invaluable amistad y cariño Muchas gracias.

Y a todas las personas que me alentaron a no desistir, que siempre confiaron en mí y que formaron parte de mi familia foránea: Doña Vicky, Don Ele, El Ing. German, Doña Ma. Dolores, Tío Manuel. Y a todas las personas buenas que siempre me brindaron su apoyo: Peter, maestro Enrique, Don Martín y muchísimas personas más que siempre llevaré en mi corazón.

DEDICATORIA

“con todo mi cariño y amor dedico esta tesis a todos aquellos que
creyeron en mí
más veces de las que yo misma creí”

Con todo el corazón a mi familia.

Como las ramas de un árbol, crecemos en diferentes direcciones
pero las raíces siempre serán las mismas.



CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del cultivo	4
2.2. Origen	4
2.3. Taxonomía	5
2.4. Descripción botánica y fenológica.....	6
2.5. Morfología general de la planta	7
2.6. Generalidades sobre las Semillas.....	10
2.6.1. Desarrollo de la semilla	11
2.6.2. Germinación.....	13
2.6.3. Aspectos bioquímicos en la formación de la semilla.....	14
2.6.4. Morfología y anatomía de semilla de jitomate	15
2.7. Calidad de semilla.....	15
2.8. Evaluación de la calidad de semilla	16
2.9. Requerimientos térmicos de la especie	17
2.9.1. Respuesta morfoagronómica del tomate a altas temperaturas	18
2.9.2. Aspectos fisiológicos y bioquímicos relacionados con la tolerancia al calor	19
2.10. Cambio Climático	20
2.10.1. Efecto en agricultura.....	21
2.10.2. Alteraciones regionales.....	22
2.10.3. Diversidad genética y fisiología de cultivos para mitigar el cambio climático	24
CAPITULO III.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Ubicación del sitio experimental	32
3.2. Material vegetal	32
3.3. Condiciones de siembra y manejo del cultivo	33
3.4. Condiciones experimentales	34
3.5. Variables Evaluadas.....	35

3.5.1. Distribución de biomasa	35
3.5.2. Número de semillas por fruto	35
3.5.3. Variables de calidad física de la semilla	35
3.5.4. Calidad fisiológica de la semilla	36
3.5.5 Vigor	37
3.6. Diseño experimental y análisis estadístico	38
CAPITULO IV	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Estudio preliminar de la fenología del fruto y distribución de biomasa	39
4.1.2. Distribución de materia seca	40
4.1.3. Número de semillas por fruto	44
4.2. Características físicas de la semilla.....	46
4.3. Características fisiológicas de la semilla	51
4.3.1. Germinación y permeabilidad de membranas.....	51
4.3.2. Vigor	54
4.4. DISCUSIÓN GENERAL.....	60
4.5. CONCLUSIONES GENERALES.....	62
4.6. PERSPECTIVAS.....	63
4.7. RECOMENDACIONES.....	64
4.8. LITERATURA CITADA	65
4.9. ANEXOS	69

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de la variable Días a cosecha de tres genotipos nativos y una variedad comercial de tomate producida en dos condiciones de temperatura.	39
Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de la variable acumulación de materia seca de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.	41
Cuadro 3. Comparación de medias de la distribución de materia seca de genotipos nativos y una variedad comercial de tomate producidas en dos temperaturas de crecimiento. ..	42
Cuadro 4. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de número de semillas por fruto de tres genotipos nativos de tomate y una variedad comercial, producidas en dos temperaturas.	45
Cuadro 5. Comparación de medias para la variable de composición de fruto: número de semillas, evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad comercial de tomate, producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.	45
Cuadro 6. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de la calidad física de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.	47
Cuadro 7. Comparación de medias para las variables de calidad física de semillas evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.....	48
Cuadro 8. Comparación de medias en la interacción variedades por temperatura para las variables de calidad física de semillas evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.....	50
Cuadro 9. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de calidad fisiológica de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.	51
Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica de semillas evaluadas de tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas en dos condiciones ambientales de crecimiento.....	52

Cuadro 11. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de calidad fisiológica de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes después del envejecimiento acelerado con su testigo.	55
Cuadro 12. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica de semillas evaluadas de tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos condiciones ambientales de crecimiento.....	56
Cuadro 13. Efecto de la interacción de condiciones de desarrollo del cultivo y la calidad fisiológica de la semilla de tomate.....	57
Cuadro A 14. Temperaturas promedio (°C) diurnas y nocturnas de los invernaderos al inicio del cuarto racimo y durante el crecimiento de los frutos hasta la cosecha.	69
Cuadro A15. Aspectos propios de cada cultivo, fechas de antesis de los materiales y días a madurez para la cosecha.	69
Cuadro A16. Comparación de medias de los días a cosecha de los cuatro genotipos desarrollados en dos condiciones de temperatura.....	70

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo fenológico del cultivo <i>Solanum lycopersicum</i> L. Ciclo total 210 d (7 meses aproximadamente). ddt = Días después del trasplante.....	7
Figura 2. Descripción anatómica del fruto de tomate corte transversal y longitudinal	9
Figura 3. Etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula: Imbibición, elongación celular, División celular, diferenciación de células y tejidos (Berrie, 1984).	13
Figura 4. Semillas de tomate antes y durante la germinación A) Semilla deshidratada, inactiva se muestran los tricomas en testa dura. B) Después de 48 h en ambiente cálido y húmedo la radícula comienza a empujar a través de la testa debilitada. C) Después de 96 h la radícula ha emergido varios mm. D) después de 6 d, hay aparición y desarrollo de los cotiledones y continúa el crecimiento de la radícula. Fuente: Hablemos de ciencia.	14
Figura 5. Corte longitudinal, donde se muestra la estructura anatómica de una semilla de jitomate (Chen, 2014).	15
Figura 6. Comportamiento de la temperatura promedio registrada durante un día típico en los tratamientos aplicados; TA= Temperatura Alta y TCC= Temperatura Control. (Cuadro A 14).	34
Figura 7. Distribución de la materia seca en la planta de jitomate de tres variedades nativas de tomate y una comercial, producidas en dos temperaturas. A) TCC= Temperatura control; B) TA= Temperatura alta.	44
Figura 8. Germinación de tres poblaciones nativas y una comercial, producidas en dos condiciones de temperatura. TCC: temperatura control constante, TA: temperatura alta, las barras verticales representan la desviación estándar de n=4.	53
Figura 9. Germinación acumulada de semilla de jitomate.....	58
Figura A-10. Grado de madurez de los frutos, Para la evaluación se utilizaron frutos rojo maduro (Grado 6).....	70
Figura A-11. Establecimiento del cultivo: todos los genotipos fueron trasplantados en el invernadero TCC; la mitad de las plantas fueron trasladadas al invernadero con TA al momento de la aparición del cuarto racimo en el 80 % de las plantas.	71

Figura A-12. Etiquetado de las flores del cuarto racimo en antesis.	71
Figura A-13. Invernadero TCC complementado con ventilación para lograr bajar la temperatura en el ambiente junto con la manipulación de apertura y cierre de cortinas.	72
Figura A-14. Frutos de MM del cuarto racimo al que se le dio seguimiento hasta el momento de la cosecha y en las pruebas de semilla obtenida.	72
Figura A-15. A) dispositivos para registrar las temperaturas, B) Plantas de C-40 trasladadas al ambiente de TA.....	73
Figura A-16. Cosecha de frutos en estado rojo maduro (grado 6).....	73
Figura A-17. Corte de las plantas para obtener porcentaje de materia seca, después de haber sido cosechados los frutos a evaluar.	74
Figura A-18. Evaluación de frutos cosechados en estado rojo maduro y obtención de semillas.	74
Figura A-19. Obtención de semilla a evaluar de los frutos cosechados por el método de fermentación.	75
Figura A-20. Materia seca; raíz de C-40 obtenida de las dos condiciones de crecimiento TCC (izquierda). TA (derecha).....	75

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El jitomate o tomate es una de las hortalizas más importantes en México, se estima que se producen alrededor de 50 mil ha cada año, teniendo un consumo per cápita de 13.8 kg. Los principales estados productores son Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán (SIAP, 2017). Actualmente, el proceso denominado “cambio climático” incluye una serie de fenómenos de inestabilidad atmosférica dentro de los que se encuentra el aumento de la temperatura global. De acuerdo con la OECD (2015) la temperatura global aumentará hasta 4 °C antes del final del presente siglo.

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas y los cambios en los fenómenos meteorológicos termina por reducir la producción de los cultivos deseados, aumentando las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo (FAO, 2011). La vulnerabilidad de los cultivos a las temperaturas altas puede variar dependiendo de la especie y el estado fenológico de la planta. Algunos estudios realizados en diferentes cultivos coinciden en que la etapa de floración y de llenado de semilla son las más sensibles al incremento de temperatura (Agandi *et al.*, 2000; Erickson y Markhart, 2002) provocando así bajos índices de calidad en frutos y poniendo en riesgo la disponibilidad de semillas de alta calidad. Sin embargo, existen pocos estudios sobre el efecto de la temperatura alta durante el desarrollo de la semilla relacionados con su calidad.

En el caso del jitomate el nivel óptimo de temperatura para el crecimiento y producción oscila entre 23 y 26 °C (Adams *et al.*, 2001). En especies susceptibles a temperaturas altas como el jitomate, el aumento de temperatura puede afectar los procesos fisiológicos o modificar el patrón de desarrollo de la planta, alterando negativamente sus características morfo-anatómicas y bioquímicas. Así mismo, bajo condiciones de cambios ambientales extremos de temperatura

y regímenes de lluvia, el desarrollo del cultivo puede verse afectado por diversos trastornos que intervienen principalmente en el desarrollo de la planta, su producción y calidad tanto de los frutos como de las semillas, inclusive puede llegar a ocurrir pérdidas totales de algunos materiales. Con temperaturas elevadas, los niveles de determinadas enzimas pueden disminuir por un desequilibrio entre su velocidad de formación y su velocidad de degradación.

Una manera para mitigar los efectos negativos de la temperatura alta, inherente al cambio climático, sobre la producción de cultivos es el uso de los recursos fitogenéticos. México se considera centro de diversidad del tomate, encontrándose numerosas poblaciones nativas en diversas partes del país. La capacidad de las plantas para tolerar los cambios del clima, se debe a la diversidad genética que poseen (FAO, 2015).

Los tipos silvestres de tomate representan una importante fuente de variabilidad genética para incluir en los programas de mejoramiento del cultivo. Los tipos silvestres presentan frutos de alta calidad nutritiva con menor tamaño y peso que el tomate cultivado, numerosas características atractivas de color y forma y muchos frutos por racimo, aunque presentan características no deseadas por el consumidor, como corta vida de anaquel o frutos muy blandos o suaves. Un ejemplo reciente del uso de los tipos silvestres es por la selección divergente de líneas con larga vida postcosecha que, a diferencia de los tomates existentes actualmente en el mercado con larga vida de anaquel, estos manifiestan un color rojo uniforme, intenso y luminoso y un agradable sabor por el equilibrio entre los azúcares y la acidez que tienen sus frutos (Picardi, 2010).

En esta investigación se cuantificaron algunos parámetros de calidad de la semilla producida con temperatura alta, así como algunas características de la planta y el fruto.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la calidad física y fisiológica de semillas de tres poblaciones nativas y una variedad comercial de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de plantas producidas en dos condiciones de temperatura controlada.

1.2. HIPÓTESIS

La temperatura alta provocará efecto desfavorable sobre el desarrollo de frutos impactando negativamente sobre la calidad física y fisiológica de las semillas de al menos uno de los genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) evaluados.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano, misma que genera ingresos económicos elevados, diversos empleos y un alto valor nutritivo para la dieta. El 58 % de la producción mundial se concentra en los países de China, India, Turquía, Nigeria y Egipto, donde en el 2012, se cosecharon 4.8 millones de ha (FAOSTAT, 2016). México ocupó el décimo lugar en la producción de tomate a nivel mundial durante el periodo de 2007- 2012. Es el octavo cultivo con mayor valor en México, siendo las variedades saladette y bola las más producidas; se cultiva en casi todos los estados del país y su consumo per cápita se estima en 13.8 kg. Los principales estados productores son Sinaloa (924,152.6 t), San Luis Potosí (306,621.3 t), Michoacán (235,784.9 t), Baja California Sur (226,062.6 t) y Zacatecas (191,654.3 t). En 2016 la producción de tomate fue de 3.3 millones de toneladas, en una superficie de 51 mil ha y un valor de la producción de 24 millones de pesos (SIAP, 2017). En México, se cultiva tomate durante todo el año realizándose dos cosechas, de la siembra del ciclo de otoño-invierno que va de julio a enero y del ciclo primavera-verano que inicia en enero y termina en junio (SIAP, 2017). En el periodo 2015-2016 la producción de tomate se incrementó casi a las 200 mil toneladas.

A nivel internacional, México se encuentra entre los principales países exportadores de esta hortaliza con una participación estimada de 21 %; los principales destinos de del tomate producido en México son: Estados Unidos, Canadá y Japón, para noviembre de 2016 las exportaciones alcanzaron un valor de 1,773 millones de pesos (SIAP, 2017).

2.2. Origen

El origen de la especie *S. lycopersicum* se localiza en la región andina de centro América que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero antecedentes indican que fue en

México donde se domesticó por primera vez. Sin embargo, fueron los aztecas, para ellos fue un símbolo religioso, lo utilizaron en sus platillos como salsa, incluso pagaban impuestos con ellos. El nombre de jitomate procede del náhuatl *xictli*, ombligo y *tomatl*, tomate, que significa tomate de ombligo (Siméon, 1984).

Fue hasta la llegada de los españoles que el jitomate se introdujo a Europa en el siglo XVI, los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. Por mucho tiempo se creyó que era venenoso y se le vio con desconfianza debido a su encendido color rojo y sabor ácido. No fue sino hasta el siglo XIX que se comenzó a utilizar en Italia como salsa, desde entonces revolucionó su uso en un sin número de productos y desde entonces es considerado un ingrediente básico en la gastronomía para las cocinas de todo el mundo (CAADES, 2010)

2.3. Taxonomía

El tomate pertenece a la familia *Solanaceae*, la cual también incluye otras especies conocidas como la papa, el tabaco, los pimientos y berenjena. La familia de las Solanáceas agrupa 96 géneros con 2,300 especies (D'Arcy, 1991). El género *Solanum* se divide en dos subgéneros (Muller, 1940): (1) *Eulycopersicon*: el cual agrupa la forma domesticada *L. esculentum* (ahora denominado *Solanum lycopersicon*) y las semidomesticadas *L. esculentum* var. *esculentum*, *L. cerasiforme*, *L. pimpinellifolium*, *L. cheesmanii*, todas estas se caracterizan por presentar fruto rojo y glabro, (2) *Eriopersicon*: que presentan frutos pubescentes verdes, blancos o amarillentos y diferentes grados de entrecruzamiento con el jitomate domesticado (Pérez *et al.*, 1997; Tigchelaar, 2001).

En la nueva nomenclatura del tomate, se clasifica dentro del género *Solanum* sección *Lycopersicom*, que incluye el jitomate cultivado (*S. lycopersicum*) y 12 especies silvestres adicionales (Peralta *et al.*, 2007), de acuerdo a la clasificación taxonómica más reciente y aceptada, la del jitomate es la siguiente:

Reino: Plantae, **Subreino:** Embryobionta, **División:** Magnoliophyta, **Subdivisión:** Angiospermae, **Clase:** Magnoliopsida, **Subclase:** Dicotyledonae, **Familia:** Solanaceae
Subfamilia: Solanoideae, **Tribu:** Solaneae, **Género:** Solanum = Lycopersicon, **Especie:** *S. Lycopersicum* L. = *L. Esculetum* Mill. (Cronquist, 1984; Esquinas y Nuez, 1995; Peralta *et al.*, 2007).

2.4. Descripción botánica y fenológica

La planta de tomate es herbácea perenne, aunque en su hábitat natural la mayoría de las veces se comporta como anual, muriendo después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o sequía. Las plantas de tomate cultivado, comienzan la floración 45 días después de la emergencia y producen flores perfectas y agrupadas en inflorescencia de tipo racimoso que pueden ser simples, bifurcadas o ramificadas. El número de flores por inflorescencia es muy variable, en algunos casos excepcionales con más de 300 (Nuez, 1995).

Según el hábito de crecimiento, se distinguen dos tipos: determinados e indeterminados; Las plantas de crecimiento determinado son de tipo arbustivo, tiene los tallos terminados en ramillete floral con un período limitado de floración. Son plantas de porte bajo, pequeño y de producción precoz y son usados principalmente para cultivo industrial al aire libre. El tomate de tipo indeterminado crece hasta alturas de 2 m o más, el crecimiento vegetativo es continuo. Unas seis semanas después de la siembra inicia su comportamiento generativo, produciendo flores en forma continua y de acuerdo a la velocidad de su desarrollo la inflorescencia no es apical sino lateral. Este tipo de tomate tiene tallos axilares de gran desarrollo. Según las técnicas culturales, se eliminan todos o se dejan algunos de éstos y son usadas principalmente como consumo en fresco (Hernández, 2011; Nuez, 1995). El ciclo fenológico es propio de cada especie pero en general las plantas se comportan similar en cuanto a cada etapa fenológica, puede variar por pocos días, dependiendo del manejo o el método de producción (Figura 1).

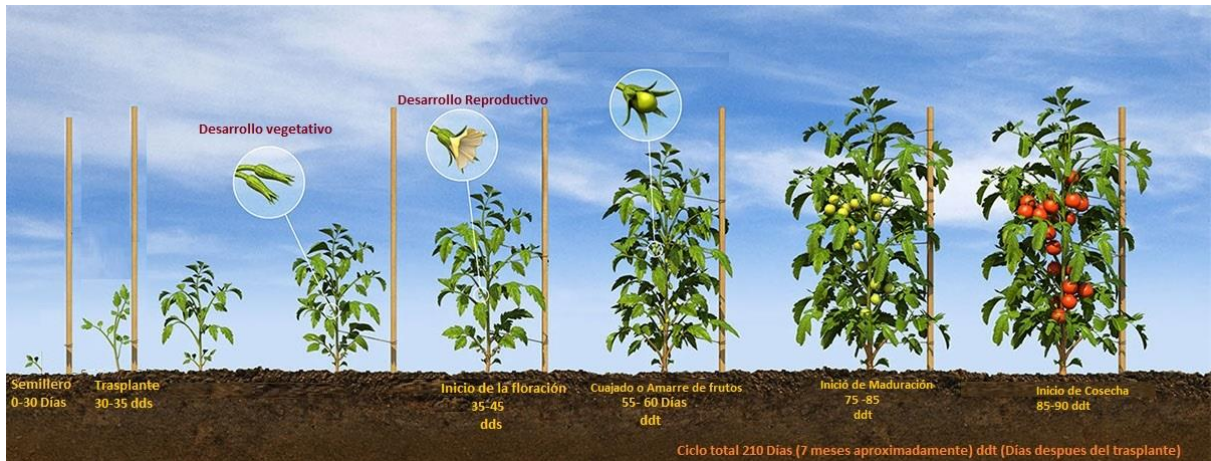


Figura 1. Ciclo fenológico del cultivo *Solanum lycopersicum* L. Ciclo total 210 d (7 meses aproximadamente). ddt = Días después del trasplante, Modificado de: <https://www.behance.net/gallery/29990339/ Tomato-Phenology-Chart>. Consultada el 21 de septiembre de 2017.

2.5. Morfología general de la planta

a) Planta

En variedades de tipo indeterminado, la planta puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. En variedades de crecimiento limitado (determinadas) la planta se desarrolla como un arbusto (Neumann y Kafkafi, 1980)

b) Sistema radicular

La planta presenta una raíz principal pivotante (que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad), presenta raíces secundarias (raíces adventicias) (numerosas y potentes) y raíces adventicias, seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro se encuentra la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados (absorción), cortex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes) (Curtis, 1996; Rodríguez *et al.*, 2001).

c) Tallo principal

Eje erguido y cilíndrico con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior

lostricomas, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Rodríguez *et al.*, 1984;). Cuando la ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en consecuencia el crecimiento vertical, en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma también una nueva rama dando origen a un crecimiento ilimitado (Garza, 1985).

d) Hoja

Las hojas son cortas, de tamaño medio o alargadas compuestas e imparipinnadas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares (tricomas). Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos (Huerres y Caraballo, 1988). Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño. La disposición de nervaduras en los foliolos es penninervia (Rodríguez *et al.*, 2001; Garza, 1985).

e) Flor

Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso, generalmente en número de tres a 10, en variedades comerciales de tomate es frecuente que el

eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal (Rodríguez *et al.*, 2001). La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Wien, 1997).

f) Fruto

Son bayas de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33 % del peso fresco del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001). Botánicamente el fruto es una baya compuesta generalmente bilocular en especies silvestres, y multilocular en variedades cultivadas. El tamaño del fruto, el color y pubescencia son variables (Hernández, 2011). Está compuesto de pulpa (paredes del pericarpio carnosos desarrollado de un ovario). Una variedad comercial contiene alrededor de 150-300 semillas por fruto (Desai *et al.*, 1997) ver (Figura 2).

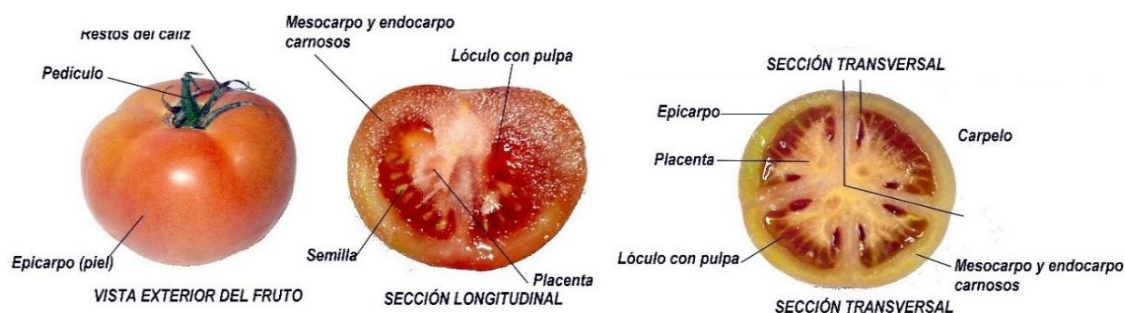


Figura 2. Descripción anatómica del fruto de tomate corte transversal y longitudinal
Tomado de: <http://www.riomoros.com/2012/10/glosario-botanico.html>

g) Semilla

La semilla que los frutos producen pueden variar en las tonalidades en su color, va desde un color grisáceo o amarillento (color paja), son de forma ovaladas y aplanadas cubierta de

vellosidad, el tamaño generalmente es de 3 - 5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud. En un gramo puede haber de 300 – 350 semillas (Rodríguez *et al.*, 2001; Huerres y Caraballo, 1988). En producciones bajo invernadero, 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla (1200 semillas aproximadamente). En campos de producción la regla es: el 1 % del peso del fruto es el peso de semilla. El peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g (Desai *et al.*, 1997). Ver (Figura 4 a).

2.6. Generalidades sobre las Semillas

La semilla botánicamente se define como un óvulo maduro y fecundado, originada de la doble fecundación de angiospermas, generalmente consta de un embrión y una fuente de reservas nutritivas, ambos envueltos por una cubierta seminal (testa). Los nutrientes almacenados en la semilla proveen al embrión de los nutrientes necesarios para mantenerse vivo e iniciar la germinación al momento de reanudar el crecimiento hasta el momento de aparición de las primeras hojas puedan fotosintetizar (Esau, 1987).

Desde el punto de vista genético la semilla consta de tres componentes: 1) embrión proveniente de un cigoto, 2) un endospermo $3n$ formado por la fusión de los núcleos polares con el núcleo espermático, y 3) Cubierta seminal formada por los tegumentos externos provenientes del óvulo (Desai *et al.*, 1997).

En especies dicotiledóneas, las reservas del endospermo ($3n$) y perispermo ($2n$) son consumidos por el eje embrionario y trasladados a los cotiledones, cuando la semilla aún no se separa de la planta madre, de manera que para mantenerse vivo como para la germinación, el embrión toma las reservas de los cotiledones (Esau, 1987). La cubierta seminal de la semilla, un órgano materno, es el sitio de conexión no vascular entre el floema y el embrión. Los asimilados, eje (sacarosa y aminoácidos), emigran por esta vía hasta el embrión. Un factor importante en el desarrollo de semilla, es la distribución almacenamiento y utilización de los carbohidratos ya que son una de las fuentes más importantes de energía para el crecimiento

celular. La sacarosa es el carbohidrato principal en el desarrollo de la semilla en las plantas. La sacarosa es un azúcar de transporte universal y su metabolismo al igual que la alta actividad de las enzimas que la metabolizan, juegan un papel importante en el desarrollo de la semilla (Gallardo *et al.*, 2003)

2.6.1. Desarrollo de la semilla

La formación de semilla se divide en cuatro etapas fundamentales:

a) Histodiferenciación

El desarrollo de la semilla se inicia con la fecundación, la unión de un núcleo masculino haploide procedente del grano de polen con un núcleo femenino haploide dentro del óvulo para formar un nuevo organismo diploide. La fecundación es precedida por la polinización, que consiste en la recepción de un grano de polen al estigma de una flor femenina en angiospermas o cerca del micrópilo del óvulo en las gimnospermas (Ohto *et al.*, 2007). Durante la fecundación el óvulo consta de una o dos tegumentos y un tejido central (nucela), la formación del saco embrionario (estructura de ocho núcleos y siete células que ocupa el espacio central dentro de la nucela) se da a través de la meiosis de una célula madre dentro de la nucela, seguida de varias divisiones celulares mitóticas.

Luego de la polinización ocurre el crecimiento del tubo polínico, en la mayoría de las angiospermas el alargamiento del tubo polínico es relativamente rápido, y entre la fecundación y polinización transcurre solamente un día o inclusive este fenómeno se da en cuestión de horas (Ohto *et al.*, 2007). Una vez que el tubo polínico llegó al saco embrionario se liberan dos gametos masculinos, uno de estos se une con uno de los núcleos del saco embrionario (ovocélula) para formar un cigoto que se convertirá en la planta embrionaria diploide. El segundo gameto masculino se une con los otros dos núcleos de las células femeninas (Núcleos polares) que dará origen a una célula triploide cual se convertirá en el endospermo (tejido nutritivo de reserva). Durante esta etapa el cigoto sufre divisiones mitóticas y las células hijas

se diferencian para formar el cuerpo básico del embrión, que se compone por eje embrionario y los dos cotiledones; ocurre la formación de endospermo triploide. Los tejidos embrionarios son metabólicamente muy activos, con alto nivel respiratorio, y con organelos subcelulares (mitocondrias y cloroplastos) bien diferenciados (Kobayashi *et al.*, 2003; Ohto *et al.*, 2007). Los cinco núcleos restantes del saco embrionario (dos sinérgidas y tres células antípodas) no presentan función después del desarrollo de la semilla (Ohto *et al.*, 2007). Los tegumentos del óvulo se transformarán en la cubierta de la semilla madura, cual en ocasiones consta de dos revestimientos distintos, (testa) una cubierta externa típicamente firme, (tegmen) cubierta delgada y membranosa.

b) Acumulación de reservas

El endospermo que acumula reservas de fotoasimilados es rico en carbohidratos, grasas, proteínas y hormonas de crecimiento. El endospermo suele crecer con mayor rapidez que el embrión durante el periodo que sigue inmediatamente a la fecundación. Estas reservas sirven como depósito que se requiere cuando la célula se expanda durante la imbibición y la germinación (Ohto *et al.*, 2007).

c) Maduración

Cuando la semilla se considera madura, el grado de desarrollo del embrión varía considerablemente, esto según la especie. En los embriones de algunas especies se pueden distinguir todas las partes de la planta; la radícula, que durante la germinación originará la raíz primaria; cotiledones; la plúmula, de la que surgirá el tallo primario, y el hipocótilo, que conecta los cotiledones con la radícula. Una vez que el embrión absorbió las reservas del endospermo, los cotiledones suelen convertirse en los principales órganos de almacenamiento y ocupar casi toda la cavidad seminal. La semilla madura en su forma más compleja puede estar integrada de por tejido diploide procedente de la planta madre (cubierta seminal, incluido testa, tegmen y perispermo) (Ohto *et al.*, 2007). La maduración generalmente concluye con un

bajo contenido de humedad y una reducción paulatina en el metabolismo, como consecuencia de la pérdida de agua en el tejido de la semilla, dando lugar a un estado metabólicamente inactivo para el embrión (Kigel y Galili, 1995; Matilla, 2000).

2.6.2. Germinación

Definida como una serie de eventos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que permiten que una nueva planta se origine y complete su ciclo de vida (Bernal, 1994).

Morfológicamente es la transformación de un embrión a una plántula, que inicia con la protrusión de la radícula; fisiológicamente es la reactivación del crecimiento de un embrión, el cual fue suspendido durante la desecación de la semilla; bioquímicamente es la diferenciación secuencial de las vías metabólicas tanto oxidativas como sintéticas (Bernal, 1994). Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividad metabólica acelerada y en el caso de la germinación es el aumento de la actividad respiratoria de la semilla (Figura 3) (Palacios, 2000).

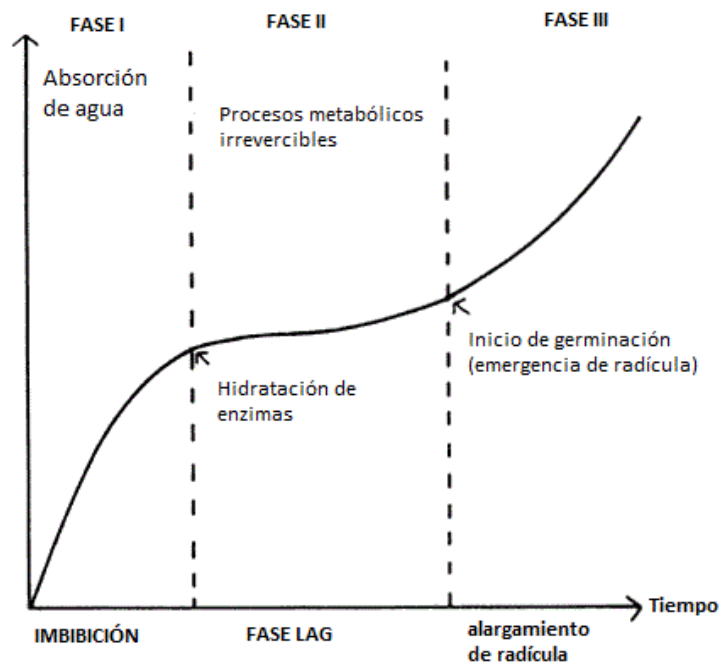


Figura 3. Etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula: Imbibición, elongación celular, División celular, diferenciación de células y tejidos (Berrie, 1984).

La germinación inicia con la imbibición y finaliza con el inicio de la elongación del eje embrionario (principalmente la radícula) (Figura 4). Se considera a una semilla como germinada cuando esta muestra protusión de la radícula a través de la cubierta seminal. Incluyendo numerosos eventos combinados que transforman el embrión en reposo y deshidratado con metabolismo apenas detectable con procesos como hidratación de proteínas, cambios de estructuras sub celulares, respiración, síntesis de macromoléculas y alargamiento celular para culminar una planta con metabolismo vigoroso y culminar el crecimiento (Bewley y Black, 1994). Desde el punto de vista físico-bioquímico se consideran las siguientes etapas; Rehidratación → aumento de respiración → formación de enzimas → digestión enzimática de reservas → movilización de transporte de reservas → asimilación metabólica → crecimiento y diferenciación de tejidos (Berrie, 1984).

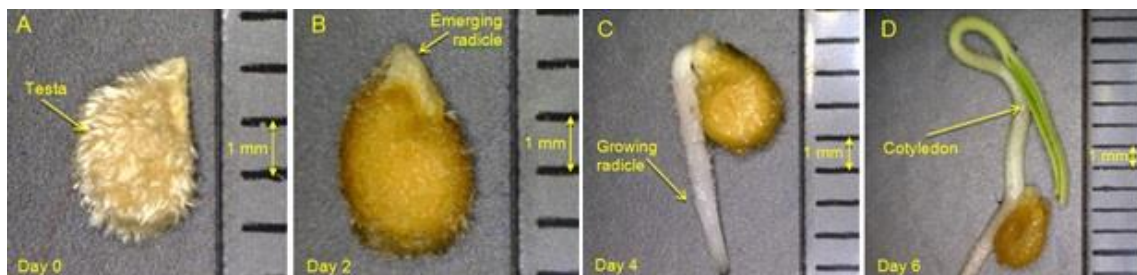


Figura 4. Semillas de tomate antes y durante la germinación **A)** Semilla deshidratada, inactiva se muestran los tricomas en testa dura. **B)** Después de 48 h en ambiente cálido y húmedo la radícula comienza a empujar a través de la testa debilitada. **C)** Después de 96 h la radícula ha emergido varios mm. **D)** después de 6 d, hay aparición y desarrollo de los cotiledones y continúa el crecimiento de la radícula. Fuente: Hablemos de ciencia. Disponible en <http://tomatosphere.letstalkscience.ca/Resources/library/>. Consultado el 6 de julio de 2017.

2.6.3. Aspectos bioquímicos en la formación de la semilla

La cubierta seminal, un órgano materno, es el sitio de conexión no vascular entre el floema y el embrión. Los asimilados, por ejemplo, sacarosa y aminoácidos, emigran por esta vía hacia el embrión. Un factor importante en el desarrollo de la semilla, es la distribución,

almacenamiento y utilización de los carbohidratos, puesto que son una fuente importante de energía para el crecimiento de la célula. La sacarosa es el carbohidrato principal en el desarrollo de la semilla. La sacarosa es un azúcar de transporte universal y su metabolismo al igual que la alta actividad de las enzimas que la metabolizan, juegan un papel importante en el desarrollo de la semilla (Islam, 2001; Gallardo *et al.*, 2003).

2.6.4. Morfología y anatomía de semilla de jitomate

La semilla de tomate tiene forma lenticular, son semillas aplanadas con dimensiones en su mayoría de 5x4x2 mm y está constituida por embriones curvos, endospermo y testa (Nuez *et al.*, 1995). El embrión está constituido por yema apical, dos cotiledones, hipocotilo y radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión. La testa o cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de pelos que envuelve al embrión del endospermo (Figura 5) (Nuez *et al.*, 1995).

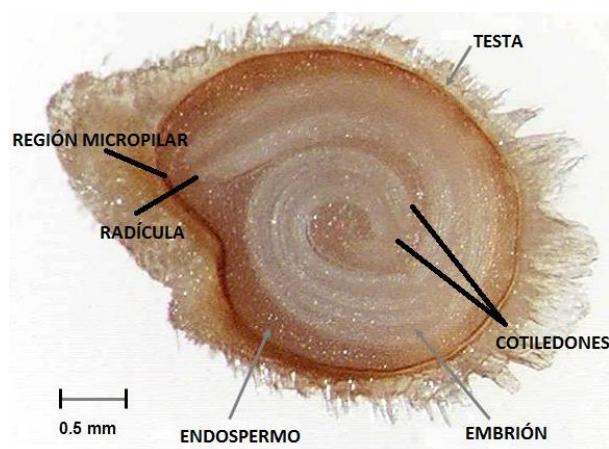


Figura 5. Corte longitudinal, donde se muestra la estructura anatómica de una semilla de jitomate (Chen, 2014).

2.7. Calidad de semilla

El uso de semillas de alta calidad es esencial para el establecimiento óptimo de los cultivos. Como resultado, es necesario contar con pruebas de vigor de semillas que permitan una evaluación rápida, objetiva y precisa de la calidad de estas (Ayala *et al.*, 2016) La evaluación de la calidad de las semillas puede realizarse mediante pruebas de vigor físico y fisiológico que

proporcionan información sobre el comportamiento potencial de un lote de semillas en condiciones de invernadero y de campo. Sin embargo, hasta la fecha no existe una prueba estándar de vigor que compare el rendimiento de laboratorio y de invernadero y evalúa rápida y objetivamente las diferencias de calidad de semilla de tomate (McDonald, 1999; Marco, 2004). La prueba estándar de germinación sigue siendo la medida más común de la calidad de las semillas en tomate y otros cultivos hortícolas. Sin embargo, esta prueba se lleva a cabo en condiciones ideales de laboratorio que rara vez se encuentran en el campo. Como efecto, los resultados de germinación no necesariamente se correlacionan con el rendimiento de campo. Además, esta prueba requiere 14 días (ISTA, 1999) antes de que se pueda determinar la germinación de la semilla. Idealmente, las pruebas de calidad de semillas distinguen eficientemente entre lotes de semillas pobres y vigorosas en periodos cortos y producen datos que se correlacionan con las condiciones de siembra bajo estrés (Trawatha *et al.*, 1990). Se han propuesto como alternativas a los ensayos de vigor tradicionales (SABS) (Jianhua y McDonald, 1996, McDonald, 1999).

2.8. Evaluación de la calidad de semilla

Una semilla de alta calidad debe ser físicamente vigorosa, fisiológicamente viable, genéticamente adaptada a condiciones ambientales y sanitariamente pura (Pollock, 1961; Perez *et al.*, 2007). La calidad de la semilla es el producto de su historia que incluye las características genéticas, fuente de semilla, selección del terreno, condiciones del crecimiento y medio ambiente previo a la cosecha del cultivo, aeración, secado, manejo, transporte, procesamiento, almacenamiento, edad y homogeneidad de la semilla después de la cosecha (Delouche, 1971). Pollock (1961) considera que la expresión del potencial genético de una variedad está determinada por dos factores: 1) el complejo genético y 2) las condiciones ambientales durante el desarrollo y posterior manejo de la misma (Perez *et al.*, 2007).

Copeland y McDonald (1995) clasifican dos tipos de pruebas para evaluar la calidad fisiológica; *a*) aquellas que se realizan bajo condiciones favorables (germinación, velocidad de germinación y evaluación de plántulas) *b*) aquellas que se realizan bajo condiciones desfavorables aplicando algún tipo de estrés a la semilla como la prueba de frío y la prueba de envejecimiento acelerado.

Con la prueba de germinación se obtiene información de la capacidad que tiene una semilla para producir una plántula normal (con todas sus estructuras esenciales para un buen desarrollo en campo) (Moreno, 1996; Copeland y MacDonald, 1995). La velocidad de emergencia se puede usar como una herramienta para evaluar vigor en la semilla, la cual se obtiene al germinar semillas y una vez iniciado este proceso se realizan conteos diarios del número de plántulas emergidas entre el número de días respectivos después de la siembra y el conteo termina cuando la siembra logra el porcentaje máximo de germinación, obteniendo el índice de vigor en el cual las semillas más vigorosas germinan con mayor velocidad (Maguirre, 1962; Moreno, 1996).

Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas. La prueba de conductividad eléctrica es considerada una buena prueba de vigor que permite medir el nivel de integridad de las membranas celulares (Ferguson, 1995). La prueba de conductividad eléctrica permite medir la lixiviación de electrolitos de tejidos vegetales, siendo utilizado para semillas de algunas especies de cultivo (Hibbard y Miller, 1928).

2.9. Requerimientos térmicos de la especie

Los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate dependen de las condiciones del clima, del suelo y de las características genéticas de la variedad (Von Haeff, 1983). El tomate es sensible a las bajas temperaturas durante varios estados de desarrollo, incluyendo la germinación de las semillas, etapas tempranas y tardías del crecimiento vegetativo y la reproducción (Foolad y Lind, 1998).

La temperatura mínima del suelo para la etapa de germinación es de 10 °C, mientras que la óptima se encuentra entre 20 y 30 °C (Escaff *et al.*, 2005). Según Jones (1998) las temperaturas entre 21 -29.5 °C de día y de noche entre 18.5 - 21 °C, permiten un óptimo crecimiento de la planta de tomate. La polinización es otra etapa crítica que necesita temperaturas específicas, ya que para que sea efectiva requiere de 13 - 24 °C en el día y 15.5 - 30 °C en la noche (Jones, 1998). Para que la formación del fruto sea rápida y alcance su maduración requiere de temperaturas entre 24 a 28 °C (CORFO, 1986).

2.9.1. Respuesta morfoagronómica del tomate a altas temperaturas

Al igual que en otros cultivos, en el tomate, los órganos reproductivos son generalmente más sensibles al calor que los órganos vegetativos (Bita *et al.*, 2011; Run *et al.*, 2010).

El incremento de las temperaturas en tomate afecta casi todas las etapas de desarrollo del polen, tanto en órganos femeninos como masculinos, pero sin dudas la mayor afectación se produce en la fase de meiosis, donde se dificultan, tanto la viabilidad como la cantidad de polen producido (Comlekcioglu *et al.* 2010; Bita *et al.*, 2011) aspecto que se ha señalado en numerosos trabajos (Sato *et al.*, 2002; Nuez, 1995), en los que se ha informado que cuando el polen se produce a temperaturas superiores a 35 °C, se reduce su viabilidad, respuesta que varía de un cultivar a otro (Foolad, 2005) Sin embargo, el período crítico de desarrollo de las plantas de tomate en presencia de temperaturas altas se encuentra entre 8 - 13 días preliminares a la antesis, lo cual se asocia a cambios en el desarrollo de las anteras, irregularidades en la epidermis y endotecio (Sato *et al.*, 2005), mencionando que se expresa mayor afectación en la microsporogénesis que en la megasporogénesis (Frank *et al.*, 2009).

Durante el desarrollo del polen, los carbohidratos solubles presentes en las esporas pueden consumirse inmediatamente o ser polimerizados y transformados en otras moléculas, por lo que, en presencia de estrés de calor, una disminución de la concentración de almidón tres días antes de la antesis, provoca disminuciones en la concentración de azúcares en los granos de

polen maduros, lo que puede contribuir a una disminución de la viabilidad del polen. De igual modo estas pueden afectar la receptividad del estigma y son causa de fallos en su fructificación del incremento de la partenocarpia en los frutos de tomate (Comlekcioglu *et al.*, 2010).

A las temperaturas altas también se le atribuye un efecto en la formación del endospermo y el desarrollo del embrión, lo que provoca disminución de frutos por planta. El número de frutos por planta constituye uno de los principales componentes del rendimiento y se encuentra correlacionado con el mismo y con la capacidad de cuajado, de ahí que se ha destacado la importancia de este indicador en la selección para incrementar los rendimientos del tomate en las siembras de cultivares tolerantes al calor, aun que la mayor afectación del tomate a temperaturas altas es la disminución de amarre de frutos, no menos importante resultan los daños producidos en ellos maduros, los cuales están más susceptibles a infecciones y rajaduras, provocando frutos blandos y disminución de su valor comercial, alterando los índices de calidad para el consumidor (Nuez, 1995; Abdelmageed *et al.*, 2003)

2.9.2. Aspectos fisiológicos y bioquímicos relacionados con la tolerancia al calor

La mayor parte de los organismos, incluidas las plantas, están constantemente expuestos a cambios bruscos de temperatura que causan estreses, los que pueden ser, a corto plazo o crónicos. Se considera que el estrés por calor se produce cuando hay incrementos de la temperatura por encima del óptimo fisiológico y pueden causar varias lesiones en la planta, dependiendo de la intensidad (temperatura en grados), duración y velocidad de aumento de la temperatura. A temperaturas muy altas puede ocurrir lesiones celulares graves dentro de minutos, e incluso provocar la muerte celular de las plantas, debido al colapso de la organización celular. Por lo general, las temperaturas altas interfieren con la homeostasis normal de las células, mediante la producción de los cambios en la fluidez y permeabilidad de la membrana, en el plegamiento de las proteínas de las vías metabólicas (Guy *et al.*, 2008; Almeselmani *et al.*, 2012) el período de actividad fotosintética. A nivel de planta completa,

hay una tendencia general a reducir el tamaño de la célula, cerrar los estomas y disminuir la pérdida de agua, mientras que alteraciones subcelulares en los cloroplastos conducen a un deterioro significativo de la fotosíntesis (Allakhverdiev, 2008).

El calor produce efectos desfavorables en las reacciones fotoquímicas primarias. En estas condiciones se puede inhibir la actividad del fotosistema II (PSII), el cual es el más termolábil de la cadena de transporte electrónico, por lo que la fotosíntesis puede ser completamente inhibida por las temperaturas altas antes de que otro síntoma sea detectado. Las altas temperaturas también afectan el metabolismo de los carbohidratos, considerado este carácter como una de las estrategias de las plantas para tolerar el estrés ambiental (Petkova, 2015).

2.10. Cambio Climático

Actualmente se conoce como cambio climático global a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) creado en 1987 considera varios escenarios de evolución climática de aquí al final del siglo XXI y todos ellos prevén el aumento de la temperatura y de la frecuencia de eventos extremos como períodos de sequía, precipitaciones excesivas en algunas regiones, etc. Hoy en día es una realidad irrefutable, siendo relevante el aumento de las temperaturas atmosféricas y oceánicas, el derretimiento generalizado del hielo polar y el aumento del nivel del mar (Gonzales, 2010).

Las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero han aumentado desde tiempos preindustriales debido a la actividad humana. Es de destacarse la utilización de combustibles fósiles y los cambios en el uso y en la cubierta de los suelos. Estos factores, junto con fuerzas naturales, han contribuido a un calentamiento rápido de la atmósfera terrestre a lo largo de todo el siglo XX (Liverman, 1992).

En un informe del IPCC se plasmaron diversos escenarios posibles del impacto del cambio climático, cuyas características podrían ser las siguientes (Gonzales, 2010):

- i) Una duplicación efectiva del CO₂ en la atmósfera entre el momento actual y los años 2025 - 2050.
- ii) Un aumento de la temperatura media mundial de entre 1.5 y 4 °C.
- iii) Una distribución desigual del aumento de la temperatura mundial, que sería menor a la mitad del incremento medio en las regiones tropicales, y mayor del doble del incremento medio en las regiones polares.
- iv) Una elevación del nivel del mar de aproximadamente 0.3 a 0.5 m para el año 2050 y de aproximadamente 1.0 m para el año 2100, junto con una elevación de temperatura de la capa superficial del océano de entre 0.2° y 2.5°C.

2.10.1. Efecto en agricultura

En el ámbito de la agricultura se reportan pérdidas anuales en cebada, maíz y en la producción de trigo debido al calentamiento global desde 1981, las cuales ascienden a 40 millones de toneladas (US 5 mil millones al 2002), aunque éstas fueron compensadas por aumentos del rendimiento debido al mejoramiento de los cultivos y otros avances agro-tecnológicos (Ortiz, 2012).

Las altas temperaturas (en particular incrementos mayores a 3 °C) afectarán dramáticamente la productividad agrícola y consecuentemente la seguridad alimentaria. Varios cultivos que son alimentos básicos importantes para un gran número de personas se verán afectados negativamente en sus rendimientos, aunque los escenarios parecen ser más inciertos para algunos cultivos que para otros. Por ejemplo, el rendimiento de arroz disminuye en un 10 % por cada °C de aumento en la temperatura mínima durante la temporada de cultivo seco, mientras que para el año 2055 se espera una pérdida del 10 % en la producción de maíz, aunque al mismo tiempo, el calentamiento global podría favorecer el rendimiento de trigo en algunas

regiones, pero de igual manera podría reducir su productividad de forma significativa en áreas donde actualmente se produce y que cuentan con temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo. Las plagas también se verán afectadas por cambios en la temperatura. Así, muchos insectos y ácaros que afectan a algunos cultivos pueden aumentar sus poblaciones debido al aumento de las temperaturas y el dióxido de carbono atmosférico (Ortiz, 2012).

2.10.2. Alteraciones regionales

Algunos de las afectaciones de carácter regional causados por el cambio climático son la perturbación en la estación de la reproducción de los animales y/o plantas, cambios en la migración de los animales, en la extensión de la estación de crecimiento, en la distribución de las especies y el tamaño de sus poblaciones, y en la frecuencia de aparición de las plagas y brotes de enfermedades (Liverman, 2012).

En términos generales, las latitudes medias a altas podrían experimentar un aumento de la productividad, según el tipo o la estación de cultivo, así como también podrán sufrir cambios en el régimen de temperaturas y en la estacionalidad de las precipitaciones (Gonzales, 2010, Ortiz, 2012). En contraste en los trópicos y subtropicos, que son zonas donde algunos cultivos se aproximan a su nivel máximo de tolerancia de temperatura y en donde predomina la agricultura de secano no irrigada, es probable que disminuya el rendimiento de los cultivos debido a los incrementos de temperatura estimados para estas zonas (Liverman, 1992).

De acuerdo con el Climate Risk Index, los países menos desarrollados son generalmente los más afectados por el cambio climático en comparación con los países industrializados (Kreft *et al.*, 2014), debido a su situación económica y gran dependencia de la agricultura de temporal y/o de riego (Liverman, 1992). Así en el periodo de 1994 a 2013, Honduras, Myanmar y Haití seguidos por Nicaragua, Filipinas y Bangladesh fueron los países más afectados por el cambio climático, mientras que en el último año lo fueron las Filipinas, Cambodia e India seguido por México, San Vicente, las Granadinas y Paquistán (Kreft *et al.*, 2014).

La agricultura de México es muy vulnerable al cambio climático debido al incremento de temperaturas y menores precipitaciones. Los cultivos básicos tales como frijol, maíz y arroz, que forman la fuente principal de proteínas y calorías en la dieta de los habitantes de México y Centroamérica se verán afectados de manera significativa por los dos factores arriba mencionados. Se estima que puede haber una pérdida de 30 % de la producción de cereales para el año 2080, lo que aumenta la inseguridad alimentaria en la región. Además que el rendimiento de maíz disminuirá en 15 a 20 % debido a las escasas lluvias, y que el rendimiento de frijol se reducirá si las temperaturas aumentan en 1.2 °C. Si dichos cultivos no se adaptan al cambio climático, los rendimientos esperados para el final de este siglo serán 1.4 t ha⁻¹ para el maíz (vs rendimiento actual = 2 t ha⁻¹), 0.1 t ha⁻¹ para el frijol (vs > 0.7 t ha⁻¹ en 2009), y 2 t ha⁻¹ de arroz (actualmente 3.5 t ha⁻¹). El costo total del cambio climático en la agricultura regional puede equivaler entre 13.7 y 18.5 % del producto interno bruto en 2100 (Ortiz, 2012).

Para el caso únicamente de nuestro país, algunos Modelos de Circulación General (GCMs por sus siglas en inglés), han proyectado incrementos en las temperaturas mensuales resultando en meses con temperaturas extremadamente altas en verano. Por ejemplo, las temperaturas medias mensuales de 25 °C en Chihuahua podrían aumentar a casi 30 °C; en Cd. Obregón las temperaturas serán superiores a 35 °C y se podrían presentar varios meses con temperaturas cercanas a 35 °C (Liverman, 1992). Con este aumento de temperaturas, México se enfrentaría al problema de escases de agua de agua en los distritos de riego, pues en muchos de ellos sus fuentes de abastecimiento son pequeños embalses o pozos, que se agotarían rápidamente en los años secos.

Mientras que para la zona centro de México, los pronósticos del aumento de temperatura no son tan altos como en el norte del país. Por ejemplo, las temperaturas invernales actuales de la Ciudad de México del alrededor de 12 °C y podrían aumentar hasta un máximo de 18 °C

reduciendo los riesgos de heladas en las regiones agrícolas de las tierras altas cerca de Ciudad de México y Puebla (Liverman, 1992).

Para México, el esfuerzo continuo para mantener una población en crecimiento con un sistema agrícola que se basa en relativamente bajas y variables lluvias, las condiciones más cálidas y secas podrían traer el desastre nutricional y económico. Aunque sólo una quinta parte de las tierras de cultivo de México es de riego, esta área representa la mitad del valor de la producción agrícola, incluyendo a muchos cultivos de exportación. Las restantes tierras de cultivo de temporal soportan a muchos agricultores de subsistencia y proporcionan gran parte de la oferta interna de alimentos. Por lo que sequías frecuentes reducirían las cosechas y aumentando el hambre y la pobreza en gran parte de México (Liverman, 1990). Un impacto negativo del cambio climático, al que están expuestas las pequeñas explotaciones agrícolas es la pérdida de materia orgánica del suelo. Puesto que las temperaturas altas aceleran la descomposición de materia orgánica y pueden aumentar la tasa de otros procesos en el suelo que pueden afectar la fertilidad del mismo y limitar el crecimiento de las raíces; las tasas de descomposición de materia orgánica pueden reducir de manera significativa en los suelos secos, disminuyendo así la cubierta en el suelo, lo que aumenta su vulnerabilidad a la erosión eólica. Un aumento en las precipitaciones también puede causar severa erosión del suelo en las laderas (Ortiz, 2012).

2.10.3. Diversidad genética y fisiología de cultivos para mitigar el cambio climático

La comprensión completa de las bases genéticas de la adaptación de las plantas al ambiente seco es incompleta. Comprender el origen y la función de las limitaciones fisiológicas originadas por la sequía dentro de especies como maíz y jitomate hará más eficiente el proceso de mejoramiento genético de la resistencia a sequía. El aumento de la temperatura global. Pérez *et al.*, 2007). Este fenómeno, irreversible a corto y mediano plazos, provoca el problema de “adaptar” los cultivos a reducir su consumo de agua y mejorar su tolerancia a la sequía y las altas temperaturas. Existen pocos estudios sobre el efecto preciso de las altas temperaturas en

procesos fisiológicos y bioquímicos que determinan el crecimiento y calidad del fruto y semilla en especies herbáceas como el jitomate y sus interacciones con otras variables ambientales (Concentración de CO₂, vientos, lluvia,). El aumento de temperatura tendrá efectos directos sobre la demanda hídrica de los cultivos (aumento de la demanda evaporativa por incremento del déficit de saturación del aire) e indirectos en el ciclo de desarrollo de los cultivos (cambios en la duración de fases fenológicas) y el funcionamiento de las plantas. Estos cambios tendrán una repercusión en el rendimiento y calidad de los productos agrícolas con su consecuente efecto económico.

Una manera para mitigar los efectos negativos de la temperatura alta, inherente al cambio climático, sobre la producción de cultivos es el uso de los recursos fitogenéticos. La capacidad de las plantas para tolerar los cambios del clima, se debe a la diversidad genética que poseen (FAO, 2015). En muchas circunstancias, responder al cambio climático no implica cambios drásticos en las estrategias existentes para promover el manejo sostenible de los recursos fitogenéticos. Sin embargo, es necesario diseñar estrategias para salvaguardar dichos recursos y utilizarlos óptimamente.

Algunas de las actividades que se deben realizar son:

Revisar las estrategias de uso y conservación de los bancos de genes de plantas y microorganismos, promover sistemas dinámicos del uso de semillas (intercambios entre agricultores, por ejemplo), dar mayor énfasis en la conservación *in situ* de poblaciones genéticamente diversas, especialmente en variedades nativas para permitir que la evolución continúe y fomentar la generación continua de rasgos adaptativos; aumento de la investigación y mayor disponibilidad de información sobre las características del material que será útil en las nuevas condiciones climáticas.

2.11. LITERATURA CITADA

- Abdelmageeda, A. H., N. Gruda, and B. Geyer. 2003. Effect of high temperature and heat shock on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) genotypes under controlled conditions. *In*: Conference on International Agricultural Research for Development. Deutscher Tropentag, October 8-10, Göttingen, Germany. pp: 8-10.
- Adams, S. R., K. E. Cockshull, and C. R. J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 8:869-877.
- Agandi, S. V., H. W. Cutforth, P. R. Miller, B. G McConkey, M. H. Entz, S. A. Brandt, and K. M. Volkmar. 2000. Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. *Canadian Journal of Plant Science* 80:693-701.
- Allakhverdiev, S. I., V. D. Kreslavski, V. V. Klimov, D. A. Los, R. Carpentier, and P. Mohanty. 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research* 98: 541-550.
- Almeselmani, M., P. S. Deshmukh, and V. Chinnusamy. 2012. Effects of prolonged high temperature stress on respiration, photosynthesis and gene expression in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties differing in their thermotolerance. *Plant stress* 6:25–32.
- Ayala–Garay, O. J., D. Garfias – Sánchez, y V. A. Delgado-Vargas. 2016. Producción de hortalizas y sus semillas en el huerto de traspatio. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. 59 p.
- Bernal, L. I. 1994. Aspectos bioquímicos de la germinación y deterioro. Departamento de bioquímica y Vegetal. Facultad de Química, UNAM. México. 108p.
- Berrie, A. M. M. (1984). Germination and dormancy. *Advanced plant physiology*, 440-468.
- Bewley, J. D., and M. Black. 1994. *Seeds: Physiology of development and germination*. 3rd Edition. Plenum Press. USA. 357 p.
- Bitá, C.E., S. Zenoni, W.H. Vriezen, C. Mariani, M. Pezzotti, and T. Gerats. 2011. Temperature stress differentially modulates transcription in meiotic anthers of heat-tolerant and heat-sensitive tomato plants. *BMC Genomics* 12: 384.
- Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. *In*: Proceedings of the International Conference on Agricultural Machinery Engineering, ICAME, November 12-15, Seoul Korea. pp: 171-204.

- CFP (Corporación de Fomento de la Producción), 1986. Monografías hortícolas: tomate, arveja, brócoli y zanahoria. Santiago, Chile. 99 p.
- Chen F. 2014. Plant Development. Plant Sciences. University of Tennessee. <http://slideplayer.com/slide/5664539/> (Consulta: agosto 2017).
- Cohn, M. A. 2008. Seed development, dormancy and germination. Annual Plant Reviews volume 27. Annals of Botany 102:877–878. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2712390/> (Consulta: noviembre 2016).
- Copeland O. L., and B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd edition. *Chapman and Hall*. New York, USA. 409p.
- Cronquist, A. 1984. Introducción a la Botánica. 2da. Ed. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México. D.F. 848 p.
- Curtis, P. J. 1996. Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Departamento de Fitotecnia, UACH, Chapingo, México. 134 p.
- D'Arcy, W. G. 1991. The Solanaceae since 1976, with a Review of its Biogeography. In: Hawkes, J.G., R. N. Lester, M. Nee, and N. Estrada (Eds). *Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, Evolution*. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, pp: 75-137.
- Desai, B. B., P.M. Kotecha, and D. K. Salunkhe. 1997. Seed Morphology and development. In: *Seeds Handbook: biology, production, processing and storage*. Marcel Dekker Inc. USA. pp: 7-22.
- Delouche, J. C. 1971. Determinants of seed quality. In: *Proceedings of the short course for seedsmen*. Seed Technology Laboratory, Mississippi State University. pp: 53-68.
- Doria, J. 2010. Revisión bibliográfica Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31:74-85.
- Esau, K. 1987. Anatomía de las plantas con semillas. Editorial Omega, Barcelona, España. 512p.
- Escaff, M., P. Gil, R. Ferreyra, P. Estay, A. Bruna, P. Maldonado, and C. Barrera. 2005. Cultivo del tomate bajo invernadero. *Boletín INIA* No. 128, La Cruz, Chile. 79p.
- Esquinas-Alcázar, J., F. Nuez Vinals, A. Rodríguez del Rincón, J. Tello, J. Cuartero, y B. Segura. 1995. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. In: *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 15-43.

- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database), 2011. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#home> (Consulta: febrero 2017).
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: Seed vigour testing seminar, International Seed Testing Association, Copenhagen, Zurich. pp: 1-9.
- Foolad, M.R., F.Q. Chen, and G.Y. Lin. 1998. RFLP mapping of QTLs conferring cold tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Molecular Breeding* 4: 519-529.
- Foolard, M. R. 2005. Breeding for abiotic stress tolerances in tomato. In: Ashraf, M., Harris, P. J. C. (Eds.), *Abiotic stresses: Plant Resistance Through Breeding Molecular Approaches*. Howarth Press Inc., New York. pp: 613-684.
- Frank, G., E. Pressman, R. Ophir, L. Althan, R. Shaked, M. Freedman, S. Shen, and N. Firon. 2009. Transcriptional profiling of maturing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) microspores reveals the involvement of heat shock proteins, ROS scavengers, hormones, and sugars in the heat stress response. *Journal of Experimental Botany* 60:3891-3908.
- Garza, L. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, UACh, Chapingo, México. 4 p.
- Gallardo, K., C. Signor, J. Vandekerckhove, and D. Thompson. 2003. Proteomic of *Medicago truncatula* seed development establishes the time frame of diverse metabolic processes related to reserve accumulation. *Plant Physiology*: 664-682.
- Hibbard, R. P., and E. V. Miller. 1928. Biochemical studies on seed viability. I. Measurements of conductance and reduction. *Plant Physiology* 3:335-352.
- Hernández, C. S. 2011. Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, 107 p.
- Huerres, P., y N. Caraballo. 1988. Horticultura. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. pp: 4-16.
- ISTA (International Seed Testing Association), 2004. International Rules for Seed Testing. Rules 2004. ISTA Editions, Zurich, Switzerland. 243p.
- Islam, MS. 2001. Sucrose metabolism in domesticated cherry tomato, *Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme Alef., and purification of sucrose synthase. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76: 40-47.

- Jianhua, Z. and M.P. McDonald. 1997. The saturated salt accelerated ageing test for small-seeded crops. *Seed science and Technology* 25:123- 131.
- Jones, J.B. 1998. *Tomato Plant Culture: The field, greenhouse and home garden*. CRC Press, Boca Ratón, USA. 224 p.
- Jones, P. D., M. New, D.E. Parker, S. Mortin, and I.G. Rigor. 1999. Surface area temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics* 37: 173-199.
- Kigel, J., and G. Galili. 1995. *Seed development and Germination*. Marcel Dekker Inc. New York. USA. 847 p.
- Kobayashi, T., K. Higashi, and H. Kamada. 2003. Hydroxybenzyl alcohol accumulates in flowers and developing fruits of carrot and inhibits seed formation. *Journal of plant Physiology* 607: 19-25.
- McDonald, M. B. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience* 15:784-788.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*. 27:177-237.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176-177.
- Marcos-Filho, J. 2005. *Seed Physiology of Cultivated Plants*. Foundation for Agrarian Studies "Luiz de Queiroz", FEALQ, Piracicaba, Brazil, 495 p.
- Matilla, A. J. 2000. Ethylene in seed formation and germination. *Seed Science Research*. 10: 111- 126.
- Moreno, M. y Torres, J. F. 1996. Evaluación de fertilizantes orgánicos en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad CHF1- Chapingo. Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo. México. 86 p.
- Muller, C.H. 1940. A revision on of the genus *Lycopersicon*. United States Department of Agriculture. Miscellaneous Publication No 328.
- Neumann, R., and U. Kafkafi. 1980. Root Temperature and Percentage NO₃⁻/NH₄⁺ Effect on Tomato Plant Development I. Morphology and Growth I. *Agronomy Journal*. 72:758-761.
- Nuez, F. 1995. *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Nuez, F. A., J. Rodríguez, J. Tello, J. Cuartero, y B. Segura. 1995 *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España pp: 125.

- OECE. Organisation for Economic cp-operationand Development. Enviromental Outlook to 2050. 2015. Disponible en: <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf> “Citado el 18 junio 2016”
- Ohto, M. A., S. L. Stone, and J. J. Harada. 2007. Genetic control of seed development and seed mass. In: Seed development, dormancy and germination K. Bradford and H.Nonagaki. Blackwell publishing. Iowa, USA. pp: 1-49.
- Palacios, R. R. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Journal of de Mexican Chemical Society 44:233-236
- Peet, M.M., D. H. Willits, and R. G. Garner. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. Journal of Experimental Botany 48:101-111.
- Peralta, I. E., and D. M. Spooner. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). In: Genetic improvement of solanaceous crops. RAZDAN, M.K.; MATTOO, A. K. (EDS.). Vol. 2. Enfield, Nueva Hampshire: Science Publishers, V.2, p.1-27.
- Pérez G., M. F. Márquez, and L. Peña. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 380 p.
- Pérez-Cerda, F.J, A. Carballo –Carballo, A. Santacruz-Varela, A. Hernández-Livera, y J.C. Molina-Moreno. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agricultura Técnica en México 33:53-61.
- Petkova, V., V. Rodeva, S. Grozeva, and E. Topalova. 2015. Response of tomato lines (*Solanum lycopersicum* x *Solanum pennellii*) and their parental genotypes toward high temperatures and drought. Tomato Genetics Cooperative-University 59:48-53.
- Picardi, L. 2002. Tomates silvestres: color y sabor con larga vida. <http://www.fcagr.edu.com.ar>. (Consulta: junio de 2017).
- Pollock, B. M. 1961. The effects of production practices on seed quality. Seeds World 89: 6-10.
- Rodríguez, R. Tavarez, R. y Medina, J. 1984. Cultivo moderno del tomate. Mundi Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Rodríguez, R., R. Tavares, y Medina. (2001). Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Mundi-Prensa. España. 255 p.

- Ruan, Y. L., Y. Jin, Y. Yang, G.J. Li, and y J.S. Boyer. 2010. Sugar Input, Metabolism, and Signaling Mediated by Invertase: Roles in Development, Yield Potential, and Response to Drought and Hea. *Molecular Plant* 6:942-955.
- Sato, S., M. M. Peet, and J .F. Thomas. (2002). Determining critical pre and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. *Journal of Experimental Botany* 371:1187-1195.
- Sato, S., and M.M Peet. 2005. Effects of moderately elevated temperature stress on the timing of pollen release and its germination in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80:23-28.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2017. Anuario del Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) OEIDRUS. <http://www.siap.gob.mx> (Consulta: agosto de 2017)
- Tigchelaar, E. C. 2001. Botánica y cultivo. *In: Plagas y enfermedades del tomate*. Jones, J.B., Jones, J.P., Stall, R. E. y Zitter, T.A. (Eds.). The American Phytopathological Society. 74 p.
- Trawatha, S., J. Steiner, and K. Bradford. 1990. Laboratory vigor tests to predict pepper seedling field emergence performance. *Crop Science*, 30:713-717.
- Von Haeff, J. N. M. 1983. Manuales para educación agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16), Editorial Trillas, D.F., México: 53p.
- Wien, H. C. 1997. The physiology of vegetable crops. CAB International, London, UK. 651 p

CAPITULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

El estudio se realizó en el Posgrado de Fisiología Vegetal, Campus Montecillos en el Colegio de Postgraduados (CP), ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, a los 19° 27' 36.47" de latitud norte y 98° 54' 12.73" longitud oeste y una altitud de 2250 msnm.

3.2. Material vegetal

En la presente investigación se utilizaron la variedad comercial Moneymaker (MM) y las poblaciones nativas Campeche 40 (C-40), Malinalco 430 (M-430) y Yucatán 25 (Y-25). Moneymaker (MM) produce frutos tipo bola, la planta es de crecimiento indeterminado, es considerada una referencia mundial en los estudios del jitomate (Luengwilai *et al.*, 2010; Biais *et al.* 2014); y su origen es europeo, es decir, proviene de clima templado. Las poblaciones nativas provinieron del programa de Mejoramiento Genético del CP a cargo del Dr. Porfirio Ramírez Vallejo† y colaboradores. Malinalco (M-430) tiene plantas de crecimiento tipo indeterminado y fruto tipo arriñonado, su origen es el municipio de Malinalco, Estado de México que tiene un clima templado, con una temperatura media anual de 22 °C y precipitación media anual de 1500 mm (INEGI, 2013). Yucatán (Y-25) produce plantas de crecimiento determinado, produce frutos tipo pera, se derivó de las colectas que se realizaron en el estado de Yucatán, en regiones con clima cálido-subhúmedo con temperatura media anual de 26 °C y precipitación media de 1100 mm anuales (INEGI, 2014). Campeche 40 (C-40) es de crecimiento indeterminado, su fruto es arriñonado y proveniente del estado de Campeche, donde el clima es cálido-húmedo, con temperatura media anual de 27 °C y precipitación de 1200 mm.

3.3. Condiciones de siembra y manejo del cultivo

La siembra se realizó el 2 de junio de 2016 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, el sustrato usado fue peat-moss y se regó solo con agua, después de la segunda semana, el riego se hizo con Ultrasol inicial® al 1 % hasta el trasplante. El trasplante se realizó a los 30 d después de germinadas, en macetas de polietileno de 40 x 50 cm, con una mezcla de peatmoss y tezontle 30:70 v/v. El manejo se hizo de acuerdo a las prácticas comerciales establecidas, la densidad de las plantas fue de 3.5 plantas m⁻², la fertilización se realizó con solución nutritiva Steiner (1984), con conductividad eléctrica de 3.5 dSm⁻¹ y pH de 5.5 a 6. Los brotes laterales fueron removidos cada vez que aparecieron, las primeras hojas viejas fueron podadas, esta práctica se realizó cada 15 d.

Después del trasplante las plantas de cada genotipo se mantuvieron en el mismo invernadero TCC, Anexo (Figura A-11) hasta que las plantas llegaron al 90 % de antesis del cuarto racimo, (Figura A-12) en ese momento, la mitad de las macetas fue trasladada a un invernadero adaptado para mantener temperatura alta (TA). Todas las plantas se mantuvieron con manejo agronómico homogéneo hasta el día de la cosecha. Los racimos se podaron para mantener 6 frutos (Figura A-14). Únicamente se evaluaron los frutos del cuarto racimo y la cosecha se realizó en estado rojo maduro (grado 6) (Figura A-10) del anexo. La cosecha se realizó durante la mañana y los frutos fueron transportados en una hielera al laboratorio para ser evaluados.

Las semillas se obtuvieron de estos frutos que se disectaron de manera longitudinal para obtener el mucílago con todo y semillas. El mucilago fue colocado en frascos de plástico tapados durante 48 h a 25 °C. Posteriormente, las semillas fueron lavadas en un cedazo con agua corriente y una fibra de plástico suave para retirar restos de mucílago, se secaron a temperatura ambiente 25 °C hasta peso constante y colocadas en bolsas tipo *ziploc* con cierre hermético, generando un lote de semillas por tratamiento (Figura A-19). Estas bolsas fueron

almacenadas en un frasco herméticamente cerrado junto con perlas de silica gel en una bodega de baja humedad a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C).

3.4. Condiciones experimentales

Para el contraste de temperaturas frescas (TCC) y temperaturas altas (TA) se usaron dos invernaderos tipo túnel de estructura metálica y cubierta de polietileno transparente, equipado con un sistema de ventilación para obtener temperaturas frescas (control), y en el otro, un sistema de calefacción para alcanzar las TA de tal manera que se obtuviera una mayor temperatura diurna (7:00 a 19:00 h) de 4 °C aproximadamente (promedio por ciclo de producción) (Figura 6) (Anexo Cuadro A -14) respecto al primer invernadero (TCC).



Figura 6. Comportamiento de la temperatura promedio registrada durante un día típico en los tratamientos aplicados; TA= Temperatura Alta y TCC= Temperatura Control.

La temperatura del aire dentro de los invernaderos durante todo el ciclo se registró con sensores Hobo® (Onset Computer Corporation, USA), programados para realizar mediciones cada 15 min, reportándose el promedio por hora (Figura A-15).

3.5. Variables Evaluadas

3.5.1. Distribución de biomasa

La materia seca de tallo, hojas y raíces se evaluó al momento de concluir el experimento (74 ddt). Se utilizaron 5 repeticiones (plantas) tomadas al azar, las que después de seccionarse (Figura A-17) del anexo, se metieron a la estufa marca Thelco (USA) donde se desecaron a 70 °C durante 72 h, guardando la identidad de cada órgano. Una vez secos los órganos se pesaron en una balanza marca Oahus (China) con precisión de 0.01 g. Los pesos secos se expresaron en g.

3.5.2. Número de semillas por fruto

A los frutos cosechados, se les extrajo la semilla por el método de fermentación ya descrito, para ser contada (variable expresada como número de semillas fruto⁻¹). Se realizó el conteo de semilla por fruto después de esto la semilla fue etiquetada y almacenada en un frasco herméticamente cerrado con granos de silica gel. Hasta el momento de las evaluaciones (Figura A-18).

3.5.3. Variables de calidad física de la semilla

a) Peso de mil semillas (P1000S)

El P1000S, expresado en g, se evaluó de acuerdo con el modelo de la ISTA (2004), se pesaron 8 repeticiones de 100 semillas en una balanza analítica marca Ohaus (China) con precisión de 0.001g,

b) Peso volumétrico (PV)

El PV (mg hL⁻¹) se evaluó por el método de desplazamiento, utilizando 10 mg de semillas en un volumen de 5 ml de agua destilada. Se evaluó en 4 repeticiones por cada genotipo.

c) Largo y ancho de semilla (LS, AS)

El LS y AS se evaluaron por el método de análisis de imagen, con el programa informático de libre acceso ImageJ (2014). Cuatro repeticiones de 100 semillas se escanearon con una

impresora multifuncional hp2200 (hewlettpackard USA), capturando imágenes de 1200 dpi. El programa arrojó directamente la medición de largo y ancho de la semilla, ambas variables se expresaron en mm.

3.5.4. Calidad fisiológica de la semilla

a) Germinación (G)

Se realizó una prueba de germinación siguiendo las recomendaciones de la ISTA (2004) con modificación en el número total de semillas a evaluar, ya que la semilla disponible para las pruebas no era suficiente. Cuatro repeticiones de 25 semillas se trataron con hipoclorito de sodio al 2 %, se sembraron en cajas de plástico tipo “*sandwicheras*” sobre sanitas de laboratorio y fueron colocadas en una cámara de germinación a temperatura constante de 25 °C con luz constante, donde se registró el porcentaje de germinación según plantas normales y anormales.

b) Velocidad de emergencia de radícula

La prueba duró 14 d, durante los cuales se contó diariamente el número de radículas emergidas para calcular velocidad de emergencia de radículas (VE, radículas d⁻¹) utilizando la fórmula de Maguire (1962):

$$VE = \sum_{i=1}^n \left[\frac{x_i}{n_i} \right]$$

En donde:

VE= Velocidad de emergencia expresada como no. de radículas d⁻¹

X_i= Número de plántulas emergidas en el i.ésimo conteo

N_i= Número de días después de la siembra en el i-ésimo conteo

N= número de conteos 1, 2... n conteos.

c) Porcentaje de semillas vanas

En la misma prueba de G, se evaluó el porcentaje (%) de semillas vanas contabilizadas en el último día y fueron esas semillas que no llegaron a embeber después de los 14 d.

d) Permeabilidad de membrana

La conductividad eléctrica de la solución de imbibición fue medida en 4 repeticiones de 25 semillas, pesadas (0.001 g de precisión) y colocadas posteriormente en vasos de precipitado de vidrio con 25 ml de agua desionizada, fueron cubiertas con papel aluminio para evitar evaporación y contaminación. Los vasos se mantuvieron a 25 °C durante 24 y 48 h. Después de este tiempo se midió la conductividad eléctrica agitando suavemente el agua por 10 a 15 segundos. La medición se realizó con un conductímetro marca Oakton Modelo WE35607 (China).

3.5.5 Vigor

El vigor de las semillas se evaluó mediante la adaptación de la prueba de envejecimiento acelerado propuesta por Delouche y Baskin (1973), la cual consiste en someter las semillas a estrés en una estufa convencional marca Thelco (USA) a 45 °C y 100 % de humedad relativa por 72 h. Se utilizaron cajas de plástico tipo “sandwicheras” de 11 x 11 x 3.5 cm con tapa y se aplicó 120 ml de agua destilada y por arriba del nivel de esta se colocó una malla de alambre donde se pusieron las semillas para evitar el contacto directo con el agua. En cada caja se depositaron 4 repeticiones de 25 semillas. Después del periodo de envejecimiento artificial, las semillas se sembraron en un micro túnel de plástico sobre una cama con arena de río como sustrato, junto con el mismo número de semillas no envejecidas (testigo) en un diseño experimental completamente al azar. El riego que se realizó fue con agua destilada, dos veces por día para facilitar la emergencia de la germinación después del envejecimiento acelerado (PGDEA) Se registró el porcentaje de germinación de plántulas normales y anormales al final de la prueba (14 d).

a. Velocidad de emergencia

Una vez iniciada la emergencia se realizaron conteos diarios, distinguiendo el número de plántulas que presenten los dos cotiledones sobre la arena; el conteo terminó cuando la emergencia de plántulas se estabilizó, con estos valores se calculó el índice de velocidad de

emergencia de plántulas (plántulas d⁻¹) aplicando la ecuación propuesta por Maguire (1962) mencionada anteriormente.

3.6. Diseño experimental y análisis estadístico

En las variables distribución de materia seca, y contenido de humedad se obtuvieron promedios por tratamientos y desviaciones estándar mediante la hoja electrónica Excel[®] 2007 (Microsoft, Inc. USA). Para las demás variables se realizó un Análisis de Varianza. Los datos de las variables medidas en porcentaje, previo al análisis, se transformaron con la función arco seno $\sqrt{X}/100$. Las variables se analizaron con base en un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 4, correspondiente a los dos ambientes de crecimiento y cuatro variedades. Estos análisis se hicieron con el Statistical Analysis System versión 9.1.3 (SAS, 2003).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estudio preliminar de la fenología del fruto y distribución de biomasa

La fase fenológica de antesis del cuarto racimo y madurez de los frutos de ese racimo se muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y entre el ambiente de temperatura donde fueron desarrollados, como se muestra en el Cuadro 1. La cosecha de los frutos se realizó cuando estos estuvieron en el estado deseado “rojo maduro” (grado 6 de maduración) (Figura A-10) del anexo, en el cual la semilla alcanza la madurez fisiológica (Adams *et al.*, 2001; Doria, 2010).

Para Y-25 y C-40, la TA redujo los días a madurez del fruto en MM y M-430 (ambas variedades originarias de climas templados) los tratamientos parecen no tener efecto e inclusive en M-430 (TA) hace más largo el ciclo por 2d.

Cuadro 1. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de la variable Días a cosecha de tres genotipos nativos y una variedad comercial de tomate producida en dos condiciones de temperatura.

FV	DAC
Genotipo	1141.64 **
Temperatura	39.45 ns
Gen*Temp	519.68 **
Error	23.24
CV	8.16

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; DAC= Días a cosecha; ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo

A diferencia de los resultados aquí encontrados, Adams (2001) observó que los frutos de tomate desarrollados en temperaturas nocturnas de 14 °C tienen un mayor tiempo desde la polinización a la cosecha a diferencia de cuando ocurre un aumento de temperatura, los que se desarrollan

a 26 °C alcanzan diferencias de hasta 53 d entre ambos tratamientos. Hurd (1984) observó que frutos de tomate demoraban 66 días en madurar a temperaturas nocturnas de 15 °C comparado con frutos producidos a 11 °C los que demoraban 74 días para llegar a madurez. De acuerdo con Pearce *et al.* (1993) el tiempo en alcanzar la madurez y el tamaño de los frutos se debería ver altamente influenciado por la temperatura en el que se desarrollaron los frutos.

4.1.2. Distribución de materia seca

La distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente-demanda. Las actividades involucradas en este proceso no son estáticas y pueden cambiar diariamente y a lo largo del período de desarrollo de la planta (Patrick, 1988). En el Cuadro 2 se muestra el resultado de los análisis de varianza de las variables de materia seca total y por órganos analizadas. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para MSt, MSr y MSh para los genotipos. El efecto de la temperatura provocó diferencias estadísticamente significativas para MSr y MSta pero no se encontraron diferencias para materia seca total (MSt). En la interacción genotipo por temperatura se encontraron diferencias estadísticas significativas para todas las variables evaluadas.

Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de la variable acumulación de materia seca de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.

FV	MSt	MSr	MSta	MSh
Genotipo	4790.64*	823.45*	473.1 ns	779.77 *
Temperatura	1447.69 ns	35758.01*	42985.73 *	392.69 ns
Gen*Temp	3003.74*	742.6*	1588.72 *	124.32 *
Error	727.4	237.82	227.58	196.72
CV	20.78	34.22	35.72	

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; MSt= materia seca total, MSr= materia seca raíz, MSta= Materia seca tallo, MSh= materia seca hoja., ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo.

En el Cuadro 3 se observa la comparación de medias de la distribución de materia seca en los tres órganos de las plantas evaluadas. M-430 y Y-25 produjeron mayor materia seca total que el resto de los materiales. Aunque la distribución de materia seca de los órganos es diferente, no hubo diferencia estadística para los tratamientos de temperatura. El hecho de que no exista diferencia estadística provocada por el tratamiento de temperatura en los valores de la variable de materia seca total (MSt) demuestra que todas las plantas de los tratamientos produjeron una cantidad similar de fotosintatos que quedó fijada en la estructura vegetal. Sin embargo, las diferencias estadísticas en los valores de la materia seca de raíz, tallo y hoja, indican que existieron diferencias en la distribución de esos fotosintatos; es decir, cada genotipo acumuló la misma cantidad de materia seca total, pero la distribución a los distintos órganos de la planta fue diferente entre los genotipos.

Cuadro 3. Comparación de medias de la distribución de materia seca de genotipos nativos y una variedad comercial de tomate producidas en dos temperaturas de crecimiento.

FV	MSt	Raíz	Tallo	Hoja
MM	111.92 b	37.64 a	33.14 a	41.15 a
M-430	134.0 ab	51.54 a	44.44 a	38.02 b
Y-25	159.03 a	54.19 a	49.59 a	55.25 a
C-40	114.13 b	36.9 a	41.77 a	35.45 b
DMS	32.7	18.7	18.3	16.9
Temperatura				
TCC	135.79 a	15.17 b	75.02 a	45.6 a
TA	123.75 a	74.96 a	9.45 b	39.34 a
DMS	17.4	9.9	9.7	9.03

FV = Fuente de variación; MSt= materia seca total; DMS=diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

En la Figura 7 se observa la distribución de materia seca en esos diferentes órganos de la planta. Estadísticamente la temperatura alta no afecta el porcentaje total de materia seca acumulada en la planta, pero si cambio de forma drástica la distribución de esta en los diferentes órganos sobre todo si se considera que las plantas del tratamiento TCC y TA sólo fueron separadas a partir de la anthesis del cuarto racimo y durante 74 d, cuando fueron evaluadas estas variables. La TA provoco que el mayor porcentaje de materia seca de las plantas evaluadas se acumulara en promedio, en la raíz (60 %) seguido por hoja (30 %) y tallo (10 %) a diferencia de las plantas producidas en TCC donde la mayor concentración de materia seca fue en el tallo (55 %) seguido de las hojas (35 %) y por último la raíz (10 %). En la Figura A11 del Anexo se muestra el aspecto de dos plantas de la población nativa C-40 desarrollados en los dos tratamientos de temperatura.

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura y cada especie o variedad posee en cualquier etapa fenológica de su vida y en cualquier conjunto de condiciones de estudio, una temperatura mínima debajo de la cual no crece, una temperatura óptima en la que

crece a una tasa máxima y una temperatura máxima a la cual no crecerá (Salisbury y Ross, 1994). Las condiciones generales de temperatura ocurridas durante el estudio dentro de los invernaderos son presentadas en el Anexo (Cuadro A 14); en él se aprecia el comportamiento de las temperaturas máximas diurnas de TA, la cual fue de 37 °C, casi 4 °C superior a la máxima promedio de TCC. Las temperaturas mínimas promedio fueron de 16.8 °C y 15.8 °C para TA y TCC, respectivamente. Jones (1998) indica que el cultivo de tomate se desarrolla dentro de un rango de temperaturas entre 10 y 35 °C y que temperaturas inferiores o superiores a este rango, inhiben o alteran su desarrollo vegetativo normal. El rendimiento de un cultivo está dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo (Galvez, 2005). Lamentablemente en esta investigación no se tomó en cuenta el peso seco de fruto para poder tener una mejor percepción de como hubiese estado distribuida la biomasa en los órganos de toda la planta y evaluar efecto de la temperatura en el rendimiento.

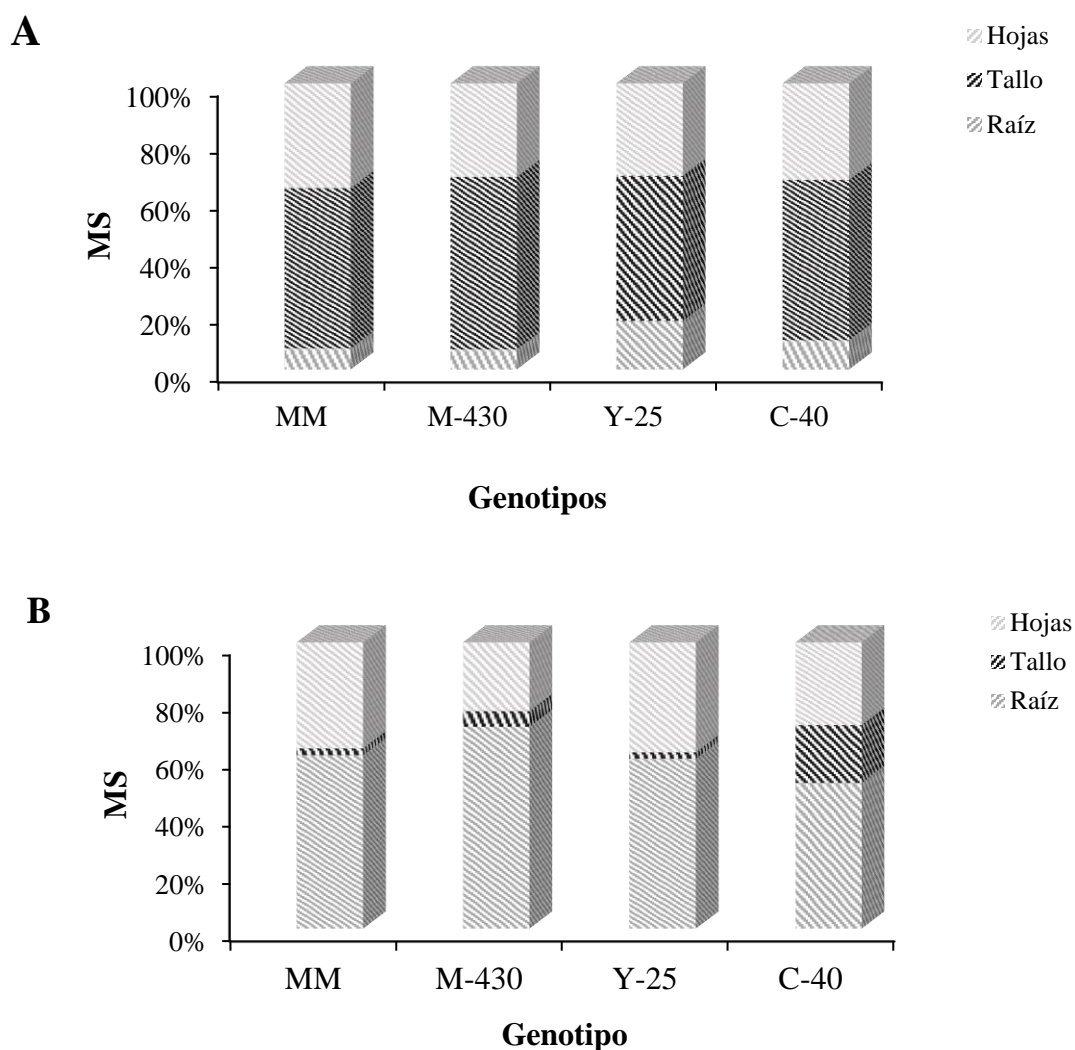


Figura 7. Distribución de la materia seca en la planta de jitomate de tres variedades nativas de tomate y una comercial, producidas en dos temperaturas. **A)** TCC= Temperatura control; **B)** TA= Temperatura alta.

4.1.3. Número de semillas por fruto

La cantidad de gramos de semillas por frutos está determinada por el peso de la semilla y por el número de semilla que integran ese fruto. En el Cuadro 4 se muestra el resultado del análisis de varianza para el número de semilla por fruto. Se encontraron diferencias altamente significativas para el ambiente de temperatura y para los genotipos.

Cuadro 4. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de número de semillas por fruto de tres genotipos nativos de tomate y una variedad comercial, producidas en dos temperaturas.

FV	GL	NSF
Genotipo	3	22751.78**
Temperatura	1	31161.45**
Gen*Temp	3	5054.3*
Error	48	1517.23
CV		38.82

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; NSF= número de semillas por fruto; ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo.

MM y M-430 fueron los genotipos que tuvieron mayor número de semilla por fruto a diferencia de los demás (Cuadro 5). Los frutos que produjeron mayor número de semilla fueron los que se obtuvieron en el tratamiento con TA.

Cuadro 5. Comparación de medias para la variable de composición de fruto: número de semillas, evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad comercial de tomate, producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.

FV	NSF
Genotipo	
MM	145.00 a
M-430	115.57 ab
Y-25	49.71 c
C-40	91.07 b
DMS	39.18
Temperatura	
TCC	76.75 b
TA	132.93 a
DMS	20.93

FV = Fuente de variación; NSF= número de semillas por fruto; DMS=diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

La causa de la baja producción de semilla en las poblaciones nativas C-40 y Y-25 pudiera atribuirse a la falta o mala polinización durante la floración del cultivo, lo cual se pudo constatar porque además de menor cantidad de semilla, los frutos fueron de menor tamaño, contrario a lo reportado anteriormente por Ruiz- Nieves (2017). En producción bajo invernadero el movimiento de las plantas muchas veces no es suficiente para autopolinizar las flores, en campo abierto el viento y los insectos favorecen la polinización. Otra explicación podría atribuirse a qué se desconoce con exactitud la fenología de las poblaciones nativas aquí estudiadas, cuando una planta se somete a un ambiente distinto al normal puede ocurrir incompatibilidad entre los órganos masculinos y femeninos. La incompatibilidad es la incapacidad de las plantas, con polen y óvulos viables, de producir semillas debido a algún impedimento fisiológico que evita la fertilización (Cabrera y Salazar, 2004).

4.2. Características físicas de la semilla

El contenido de humedad de las semillas de las variedades evaluadas tuvo un promedio de 7.3 %, valor que no interfiere con el resto de variables físicas, fisiológicas y bioquímicas, porque en semillas secas, como es el caso, los procesos biológicos son más lentos que en semillas húmedas (Coopeland y McDonalds, 2001; Ayala *et al.*, 2014). Después de la cosecha el contenido de humedad de la semilla disminuye hasta ponerse en equilibrio dinámico con el ambiente que lo rodea (Rodríguez *et al.*, 2011).

En el Cuadro 6 se muestra el resultado de los análisis de varianza de calidad física de las semillas analizadas: peso de mil semillas (P1000S), peso volumétrico (PV) largo (L) y ancho (A) de la semilla. Las diferencias entre genotipos fueron altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en todas las variables, excepto en el peso volumétrico. En esta última variable, solo la interacción Genotipo por Temperatura tuvo un efecto significativo ($\alpha \leq 0.05$). Esto indica que ni los genotipos ni los tratamientos de temperatura indujeron cambios en el peso volumétrico.

Cuadro 6. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de la calidad física de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.

FV	GL	P1000S (mg)	PV (mh L⁻¹)	LS (mm)	AS (mm)
Genotipo	3	1.46**	0.01 ns	0.17**	0.29**
Temperatura	1	0.19**	0.01 ns	0.56**	0.31**
Gen*Temp	3	0.07**	0.01*	0.08**	0.11**
Error	24	0.004	0.002	0.010	0.01
CV		1.9	8.3	2.2	2.8

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; P1000S = Peso de mil semillas; PV = Peso volumétrico; LS = Largo de semilla; AS = Ancho de semilla; ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo.

En el Cuadro 7 se muestra la comparación de medias de las variables de la calidad física de semillas. El peso de mil semillas (P1000S) en todos los genotipos fue diferente. El genotipo con semilla más pesada fue M-430 y la menos pesada fue la semilla de MM. En cuanto a largo de semilla (LS), ambas variedades junto con Y-25 fueron estadísticamente superiores a C-40. Dicha variedad nativa fue el genotipo cuya semilla resulto más pequeña pues, igualmente es estadísticamente inferior en cuanto al ancho de semilla (AS) junto con la variedad MM (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de medias para las variables de calidad física de semillas evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.

FV	P1000S (mg)	LS (mm)	AS (mm)
Genotipo			
MM	3.12 c	3.93 a	2.92 c
M-430	3.94 a	3.80 a	3.12 b
Y-25	3.20 b	3.99 a	3.26 a
C-40	2.97 d	3.68 b	2.84 c
DMS	0.087	0.119	0.118
Temperatura			
TCC	3.25 b	3.76 b	2.93 b
TA	3.41 a	4.02 a	3.13 a
DMS	0.046	0.063	0.062

FV = Fuente de variación; P1000S = Peso de mil semillas; PV = Peso volumétrico; LS = Largo de semilla; AS = Ancho de semilla; DMS= diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente.

Según diversos autores, el tamaño es una característica importante para evaluar calidad de las semillas, también es un parámetro para medir vigor, ya que se considera que semillas más grandes y con mayor volumen contienen más reservas y es probable que expresen mayor vigor que las semillas más pequeñas en el momento de la germinación (Demir y Ellis, 1992; Pepper, 2002). En algunas especies de plantas, se ha demostrado que el tamaño de la semilla afecta la germinación, la tasa de emergencia y el éxito del establecimiento, crecimiento y desarrollo (Bewley y Black, 1994; Sanderson *et al.*, 2002). Sin embargo, semillas más grandes no necesariamente producen plántulas más vigorosas. De manera general, en la semilla hay reservas acumuladas en mayor cantidad que las necesarias para germinar; cuando el proceso de germinación concluye, en los cotiledones o el endospermo, quedan reservas que solo se utilizarían en condiciones estresantes o severas de germinación (Baskin y Baskin, 1994). Es por ello que semillas pequeñas pueden producir plántulas igualmente vigorosas que semillas

grandes. En el presente trabajo se muestra el efecto del genotipo sobre el tamaño y peso de la semilla, lo cual es similar a lo señalado por Pepper *et al.* (2002).

En el Cuadro 8 para la variable P1000S se muestra que el tratamiento de temperatura alta (TA) incrementó las características de peso para todos los genotipos. La característica de peso y tamaño de semilla está muy relacionada, así entonces la TA favoreció estos atributos. De acuerdo con Taiz *et al.* (2014) la velocidad y magnitud de los procesos fisiológico en las plantas incrementan conforme la temperatura aumenta hasta llegar a un máximo, después del cual tienden a disminuir. A la temperatura donde la magnitud del proceso fisiológico inicia su descenso se le considera la temperatura máxima fisiológica y su valor puede ser diferente para cada proceso vegetal. En el presente experimento es posible que, el aumento de la masa de la semilla de tomate fue favorecido por el tratamiento que aquí llamamos temperatura alta (TA), lo cual indica que esta temperatura no fue lo suficientemente alta para superar la máxima fisiológica y provocar daños en los procesos bioquímicos y formación y composición de la semilla, por lo cual no ocasionó una disminución de los atributos físicos, sino que, provocó un aumento respecto a TCC.

Cuando se analiza el efecto de la interacción en el peso de semillas (Cuadro 8), solo en el caso de la variedad nativa M-430, el tratamiento de temperatura no tuvo ningún efecto estadístico. En las otras variedades la TA produjo semilla más pesada. Estos resultados contrastan con lo encontrado por Ruiz-Nieves (2017), quien al estudiar el efecto de la temperatura alta sobre la calidad de semilla de genotipos MM y C-40, encontró que la semilla producida en TA fue estadísticamente menos pesada que en temperatura más fresca (5-6 °C inferior a TA).

Cuadro 8. Comparación de medias en la interacción variedades por temperatura para las variables de calidad física de semillas evaluadas en tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos temperaturas de crecimiento.

FV	P1000S (mg)	PV (mg hL⁻¹)	LS (mm)	AS (mm)
MM_TCC	3.03 de	0.66 a	3.69 d	6.68 d
MM_TA	3.22 c	0.54 b	4.16 a	3.15 ab
M-430_TCC	4.00 a	0.60 ab	3.78 cd	2.98 bc
M-430_TA	3.89 a	0.63 ab	4.18 a	3.27 a
Y-25_TCC	3.11 cd	0.55 ab	3.92 bc	3.20 a
Y-25_TA	3.46 b	0.56 ab	4.06 ab	3.31 a
C-40_TCC	2.88 e	0.61 ab	3.65 d	2.88 cd
C-40_TA	3.07 d	0.55 ab	3.70 d	2.80 cd
DMS	0.148	0.113	0.202	0.201

TCC= Temperatura control continuo; TA: Temperatura; FV = Fuente de variación; P1000S = Peso de mil semillas; PV= Peso volumétrico; LS = Largo de semilla; AS = Ancho de semilla; DMS= diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

La longitud y ancho de la semilla de la variedad nativa C-40 no sufrió efectos por los tratamientos de temperatura esto mismo se observó en la semilla de Y-25. En todos los otros casos, la TA provocó un mayor tamaño de la semilla (largo y ancho). El Cuadro 8, existen una serie de valores contrastantes, por ejemplo, la semilla más pesada fue la de M-430, sin embargo, la semilla producida en temperatura fresca no es la que tiene ni mayor longitud ni mayor ancho; lo cual podría indicar que el espesor podría estar al origen del mayor peso, pero su valor de PV no es tampoco superior. Debido a las características de la evaluación de estas variables, el PV es la que se considera la menos rigurosa. Por lo cual sería de interés en estudios subsiguientes considerar un método de evaluación más preciso para la variable Peso Volumétrico que el aquí usado. Estos atributos de respuesta a diferentes ambientes de temperatura están asociados a las condiciones de crecimiento de la planta madre durante la fase de desarrollo de las semillas, esta

respuesta a cierto estrés varía dependiendo el genotipo, existiendo genotipos tolerantes o sensibles a diferentes ambientes de temperatura (Bita *et al.*, 2011).

4.3. Características fisiológicas de la semilla

4.3.1. Germinación y permeabilidad de membranas

En el Cuadro 9 se muestra el resultado de los análisis de varianza de calidad fisiológica de las semillas analizadas: germinación (G), semillas vanas (SV), velocidad de emergencia de radícula (VE) y conductividad eléctrica de la solución de imbibición de las semillas (CE).

Cuadro 9. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de calidad fisiológica de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes.

FV	GL	G (%)	SV (%)	VE (Radículas d ⁻¹)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)
Genotipo	3	121.8**	17.8 ns	17.08 ns	110.4**
Temperatura	1	144.5**	0.5 ns	1.92 *	37.4**
Gen*Temp	3	92.5**	5.8 ns	0.39 **	56.8**
Error	24	22.5	7.5	0.25	5.9
CV		5.2	115.3	9.46	14.2

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; G= Germinación; SV= Semillas vanas; VE= Velocidad de emergencia de la radícula; CE= Conductividad eléctrica de la solución de imbibición; ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo.

Tanto en G como en CE hubo efectos altamente significativos ($\alpha \leq 0.01$). En el porcentaje de SV se presentaron variaciones estadísticamente perceptibles. En la variable VE los genotipos se comportaron similar estadísticamente, aunque se encontraron diferencias para los tratamientos de temperatura y para la interacción de estos.

En el Cuadro 10 se observa que la variedad MM tuvo en promedio la germinación más baja (89 %), junto con Y-25 (89.5 %) a diferencia de M-430 el cual presentó uno de los mejores porcentajes de germinación (92.5 %) y C-40 fue estadísticamente superior, con un porcentaje

de germinación del 97.5 %. En el caso de MM es posible que los días que se utilizan en la prueba estandarizada para semillas de tomate no sean suficientes para expresar su máxima germinabilidad, pues se observó que es muy lenta para germinar a diferencia de las otras variedades utilizadas. Como se demuestra al tener la más baja VE (3.28 radículas d⁻¹).

Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica de semillas evaluadas de tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas en dos condiciones ambientales de crecimiento.

FV	G (%)	VE (Radículas d⁻¹)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)
Genotipo			
MM	89.0 b	3.28 a	17.96 a
M-430	92.5 ab	6.42 a	20.13 a
Y-25	89.5 b	4.94 a	18.4 a
C-40	97.5 a	6.28 a	11.64 b
DMS	6.54	0.682	3.337
Temperatura			
TCC	94.3 a	5.48 a	15.96 b
TA	90 b	4.98 b	18.11 a
DMS	3.461	0.361	1.465

TCC= Temperatura control continuo; TA= Temperatura alta; G= germinación; CE= conductividad eléctrica; VE= Velocidad de emergencia de radículas; DMS= diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

Por otra parte, se asocia una relación entre la CE de la semilla y su poder germinativo, demostrando que, la conductividad eléctrica de C-40 fue la más baja y contrasta con que fue la que germinó en porcentaje más alto (97.5 %) en promedio.

En el Cuadro 10 la germinación y la velocidad de emergencia de la radícula fueron estadísticamente superiores en TCC. Ruiz-Nieves (2017) encontró resultados similares al estudiar el efecto de las altas temperaturas sobre la calidad fisiológica de semillas de la variedad MM y C40. La semilla producida en altas temperaturas de MM tuvo una germinación

estadísticamente inferior a la semilla producida en temperatura más fresca; mientras que en el caso de la semilla de la variedad nativa C-40, la temperatura alta no afecto la germinabilidad. Aspectos similares a lo aquí encontrado se muestra en la (Figura 8). De acuerdo con este autor lo anterior pudo deberse a que el origen de la variedad C-40 es una región considerada cálido-húmeda (Campeche) en el sur-este de México y estaría adaptada a crecer en altas temperaturas. En el caso de los resultados del presente estudio de igual manera a la semilla de C-40 no le afecto la TA. Sin embargo, al otro genotipo originario de temperaturas tropicales Y-25, la TA disminuyó su germinación debajo de 90 % así como a los otros genotipos (Figura 8).

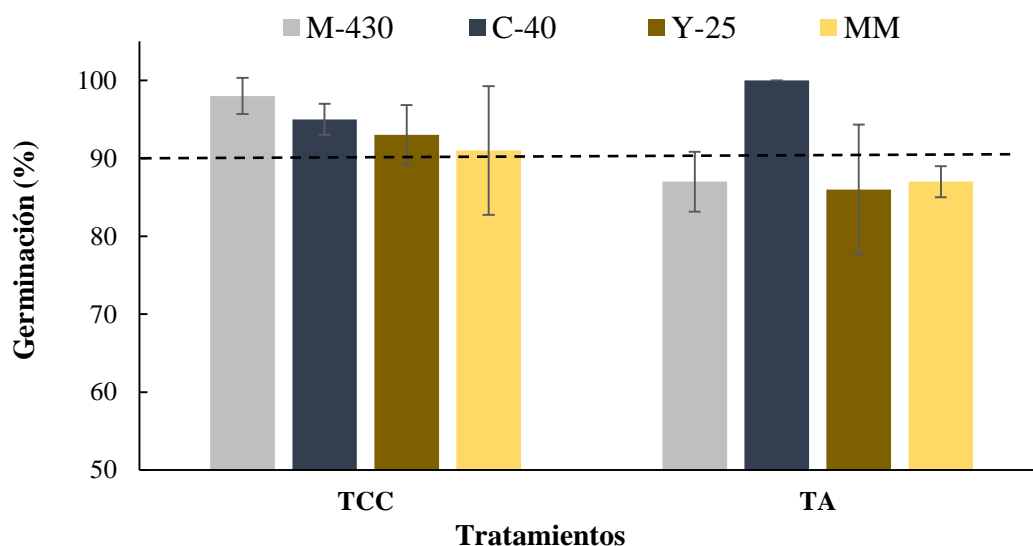


Figura 8. Germinación de tres poblaciones nativas y una comercial, producidas en dos condiciones de temperatura. TCC: temperatura control constante, TA: temperatura alta, las barras verticales representan la desviación estándar de n=4.

En cuanto a la variable CE, las variedades MM y M-430 (TA) produjeron semillas que generan mayor conductividad eléctrica, arriba de ($20.43 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), y en el caso Y-25 (TCC) ($19.73 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) (Cuadro 10), esto significa que son las semillas que presentaron una menor estructuración o mayor permeabilidad de membrana, lo que equivale a menor potencial fisiológico y explicaría el bajo potencial germinativo en comparación con las demás

variedades. La variedad de C-40 fue la que presentó mayor estructuración de permeabilidad de membrana en las dos condiciones de crecimiento ($10.68 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) para TA y ($12.60 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) para TCC y también fue uno de los genotipos que presentó mayor poder germinativo (Figura 8), resultados similares a lo encontrado por Ruiz-Nieves (2017).

4.3.2. Vigor

Se considera que el envejecimiento acelerado disminuye significativamente el vigor causa de un deterioro de la semilla. Al respecto Delouche y Baskin (1973) y Shephard *et al.* (1995) consideran que el deterioro provoca en las semillas los siguientes daños internos: degradación de la membrana celular, daños en los mecanismos de transporte de energía, alteraciones en la biosíntesis de proteínas durante la germinación, lo cual provoca reducción en la velocidad de germinación, capacidad de almacenamiento, velocidad de crecimiento, resistencia a la planta a factores adversos, producción, emergencia en campo e incremento del número de plántulas anormales.

En el cuadro 11 se muestra el resultado de los análisis de varianza de las variables fisiológicas después del envejecimiento acelerado, germinación después del envejecimiento acelerado (GDEA %), Semillas vanas (SVDEA) y velocidad de emergencia (VEDEA) (plántulas d^{-1}). Se observaron diferencias significativas entre los genotipos y tratamientos para G y únicamente entre genotipos para VEDEA. El porcentaje de SVDEA no se vio afectado.

Cuadro 11. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística en el análisis de varianza de las variables de calidad fisiológica de tres genotipos nativos de tomate y una variedad, producidas en dos temperaturas contrastantes después del envejecimiento acelerado con su testigo.

FV	GL	GDEA (%)	VEDEA (plántulas d⁻¹)
Genotipo	3	114.67 *	2.9 *
Temperatura	1	170.67 *	2.33 ns
Gen*Temp	3	87.11 *	0.34 ns
Error	16	17.33	0.64
CV		4.54	22.93

FV = Fuente de variación; GL = Grado de libertad; CV = Coeficiente de variación; GDEA= Porcentaje de germinación después del envejecimiento acelerado; VEDEA= Velocidad de emergencia después del envejecimiento acelerado; ** = Altamente significativo con $\alpha \leq 0.01$; * = Significativo con $\alpha \leq 0.05$; ns= No significativo.

Después del envejecimiento acelerado (Cuadro 12), se observó diferencia entre los tratamientos de temperatura, siendo la TCC la más favorable para la GDEA, C-40 y M-430 mostraron valores de germinación mayores estadísticamente con 97.3 % y 92.7% respectivamente, además, fueron las semillas que germinaron con mayor velocidad y alcanzaron la estabilidad de germinación en un tiempo más corto.

Es posible que bajo las condiciones a las que se sometieron las semillas no son extremadamente agresivos en el caso de las que son originarias de zonas tropicales como Campeche (C-40) y Yucatán (Y-25) lo que podría explicar su comportamiento, pero no para explicar el comportamiento de semilla proveniente de Malinalco (M-430), Estado de México cuyo clima es templado. La germinación después del envejecimiento acelerado (GDEA) de MM y Y-25 fue más afectado por la prueba de vigor disminuyendo su germinación hasta el 89 y 87 %, respectivamente. Las semillas de MM germinaron con menor duró la prueba.

Cuadro 12. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica de semillas evaluadas de tres genotipos nativos y una variedad de tomate producidas bajo dos condiciones ambientales de crecimiento.

FV	GDEA (%)	VEDEA
Genotipo		
MM	89.3 b	2.76 b
M-430	92.7 ab	3.72 ab
Y-25	87.3 b	3.15 ab
C-40	97.3 a	4.36 a
DMS	6.877	1.324
Temperatura		
TCC	94.3 a	3.19 a
TA	89 b	3.81 a
DMS	3.603	0.694

TCC= Temperatura control continuo; TA: Temperatura alta; GDEA= porcentaje de germinación después del envejecimiento acelerado; VEDEA: Velocidad de emergencia después del envejecimiento acelerado; DMS: diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 13 se puede observar que únicamente el genotipo C-40 no fue afectado por el tratamiento de diferente temperatura. (MM, M-430 y Y-25) la germinabilidad disminuyó en promedio 89 % entre las semillas desarrolladas en TCC y TA.

Cuadro 13. Efecto de la interacción de condiciones de desarrollo del cultivo y la calidad fisiológica de la semilla de tomate.

FV	GDEA (%)
MM_TCC	92.0 abc
MM_TA	86.7 bc
M-430_TCC	98.7 a
M-430_TA	86.7 bc
Y-25_TCC	92.0 abc
Y-25_TA	82.7 c
C-40_TCC	94.7 ab
C-40_TA	100 a
DMS	11.769

TCC= Temperatura control continuo; TA: Temperatura alta; GDEA= germinación después del envejecimiento acelerado; VE: velocidad de emergencia después del envejecimiento acelerado; DMS: diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

4.3.3. Cinética de emergencia

La importancia de conocer la velocidad de emergencia, radica en que muestra el posible potencial de vigor de una semilla para generar una plántula vigorosa, por lo que una germinación lenta y con amplia dispersión en el tiempo, produce plántulas heterogéneas y pequeñas (Matthews y Khajeh-Hosseini, 2006). Las semillas de C-40 y M-430 tanto de TCC y TA iniciaron su germinación a los 3 dds en las dos condiciones de temperatura, pero la mayor germinación acumulada se representó en TA. Y-25 las semillas provenientes de los dos ambientes de temperatura iniciaron su germinación al 4 dds al igual que las semillas de MM (TA). Por el contrario, MM (TCC) inició su germinación hasta los 6 dds siendo el genotipo y el tratamiento con la germinación más lenta. Según Luengwilai *et al.* (2010) y Biais *et al.* (2014) reportan que las semillas de MM tienden a presentar una germinación tardía, iniciando la germinación hasta los 15 dds en temperaturas frescas (mayor 15 °C).

De acuerdo con las recomendaciones de la ISTA (2004), el conteo final de una prueba de VEDEA debe hacerse a los 14 d después de la siembra (dds); en este caso, en el conteo efectuado ese día; en casi todos los genotipos se obtuvo el mayor porcentaje acumulado de germinación de las semillas, sin embargo, MM todavía se detectó aumento de la germinación después de los 14 dds, lo que indicaría que para evaluaciones posteriores podrían considerarse conteos hasta los 18 dds.

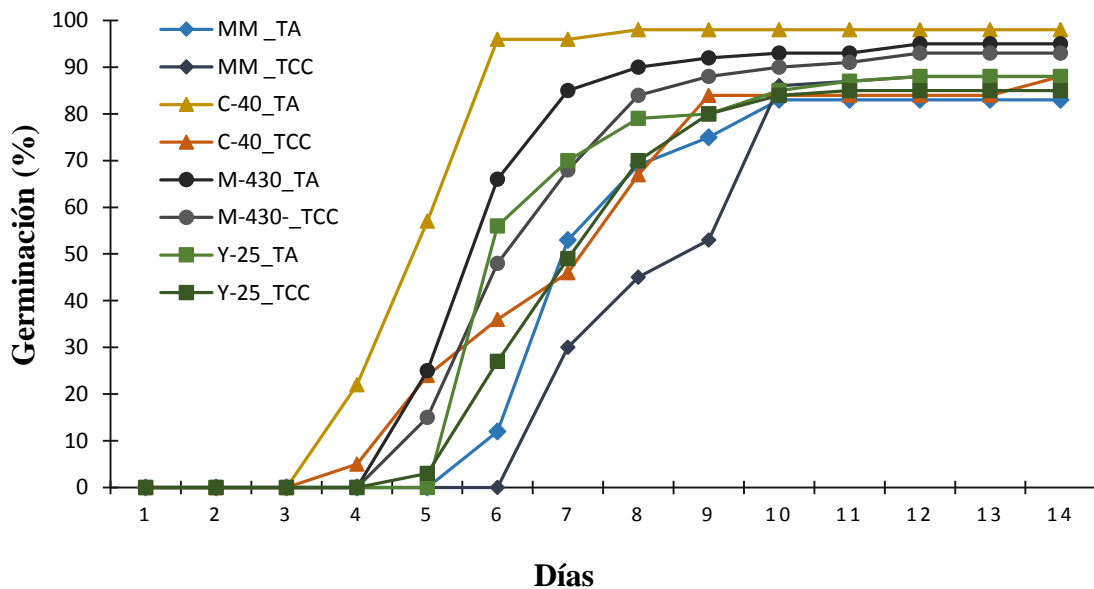


Figura 9. Germinación acumulada de semilla de jitomate.

Los genotipos que provenían de TA germinaron más rápido, lo que podría indicar que, al estar bajo una condición de mayor de temperatura, las semillas adquieren una mayor tolerancia a condiciones extremas de temperatura (Matthews *et al.*, 2006). El proceso de germinación es un evento que se ve altamente relacionado con factores internos y externos de la semilla, entre los factores internos está el estado de madurez, se dice que una semilla es madura cuando alcanza su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico y fisiológico (Salisbury y Ross, 1994). Entre los factores externos que intervienen con la germinación se encuentra la

humedad y temperatura (Matthews *et al.*, 2006; Ohto *et al.*, 2007). La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Del mismo modo, en el proceso de germinación pueden establecerse unos límites similares. Por ello, las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura, las temperaturas compatibles con la germinación varían mucho de unas especies a otras (Salisbury y Ross, 2007).

Doria (2010), señala que las semillas de especies tropicales suelen germinar mejor a temperaturas elevadas, superiores a 25 °C. Las máximas temperaturas están entre 40 y 50 °C (*Cucumis sativus*, pepino, 48 °C). En trabajos con zanahoria Gray *et al.* (1988) encontraron que a temperaturas de 20 °C se observó baja emergencia y a medida que esta temperatura aumentaba se incrementaba el porcentaje de emergencia, lo que podría deberse al efecto de la temperatura en el desarrollo del embrión y en el llenado de la semilla.

4.4. DISCUSIÓN GENERAL

La disponibilidad de semilla de alta calidad representa el principal insumo para garantizar el éxito de un cultivo en campo, la calidad de semilla está determinada por un conjunto de atributos que comprende aspectos genéticos, sanitarios, físicos y fisiológicos; siendo los grandes indicadores de la calidad fisiológica, la capacidad germinativa y el vigor. Factores que se ven principalmente afectados por las condiciones de crecimiento de la planta madre durante el desarrollo de la semilla, el grado de madurez de ésta al momento de la cosecha, la forma de cosechar y las condiciones de beneficio. Cuando la semilla se desarrolla, un factor que influye altamente es la temperatura.

En esta investigación, a considerar el efecto de TA sobre las variables de la calidad física (peso y tamaño) de la semilla y su comportamiento en la germinación (G) se muestra un efecto contrario. De manera general TA aumenta el valor de las características físicas de la semilla, pero disminuye el de germinación, De acuerdo con Taiz *et al.* (2014) cada proceso vegetal podría tener una temperatura máxima fisiológica diferente. Aquí entonces se muestra que el proceso de acumulación de reservas que da como resultado el peso de la semilla, es menos susceptible a la TA que el de la adquisición de la capacidad germinativa. De acuerdo con Ohto *et al.* (2007), el desarrollo de la semilla se divide en tres fases principales: histodiferenciación, acumulación de reservas y adquisición de la tolerancia a la desecación. De acuerdo con Bewley *et al.* (2000) para lograr la máxima calidad de semillas las tres fases deben de transcurrir de manera óptima.

Scott (1973), determinó que el peso de la semilla, afecta la germinación y la emergencia de las plántulas, principalmente porque el peso de la semilla es una expresión indirecta de las reservas disponibles para la geminación. En este trabajo de investigación, el valor de la correlación entre los valores del P1000S y PG (%) fue de -0.15^{ns} , lo que indica la nula correlación entre estas variables, como se expresó en la sección 4.2

Los bajos valores de germinabilidad se pueden explicar, muy probablemente, por la pérdida de la permeabilidad de membrana. De acuerdo con Dunas *et al.* (2003) la actividad antioxidante en el interior del fruto desarrollándose en temperaturas altas se ve aumentada, lo cual afecta la estabilidad de las membranas celulares.

En la prueba de conductividad eléctrica, que evalúa indirectamente el grado de permeabilidad de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición. Los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares (Soto *et al.*, 2011). Como consecuencia de una menor estructura y selectividad de las membranas celulares, las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados (Filho *et al.*, 1987). El valor de la correlación (R^2) entre los valores de germinación y la conductividad eléctrica de la solución de la imbibición (CE) fue de -0.73^* , lo cual puede deberse a que la temperatura alta afectó la estructuración membranal de la semilla, lo que alteró la CE y redujo la capacidad germinativa.

4.5. CONCLUSIONES GENERALES

1. La condición de 37 °C (máxima promedio, TA) no afectó la cantidad total de materia seca acumulada en la planta, pero sí la distribución de esta en los diferentes órganos provocando una acumulación mayor en las raíces de todos los genotipos estudiados. En promedio, 60 % de la materia seca se acumuló en las raíces, 30 % en hojas y 10 % en tallo, comparados con 10, 35 y 55 %, respectivamente, en las plantas creciendo en la temperatura control (máxima promedio 33.5 °C).
2. En las semillas producidas en temperatura alta, el peso de 1000 semillas (P1000S), el largo (LS) y ancho de la semilla (AS) fueron estadísticamente más grandes en 5, 7 y 6.8 %, respectivamente. La población nativa C-40 produjo semillas menos pesadas (P1000S = 2.97 mg) y pequeñas (LS = 3.68 mm; AS = 2.84 mm) que el resto de los genotipos.
3. En los genotipos MM, Y-25 y M-430, la temperatura alta produjo semillas con germinación por debajo de 90 %. El vigor de la semilla se ve igualmente afectado por los tratamientos de temperatura, la velocidad de emergencia de radículas en la prueba de germinación (VE) y la germinación de la semilla después de someterla a envejecimiento acelerado (EA) fueron inferiores en semilla producida bajo TA en 10 y 6 %. La cinética de germinación de la semilla sometida a EA mostró que la semilla producida en TA tiene una germinación más rápida, debido probablemente a su condición de producción. La semilla de la variedad MM germina más lentamente que el resto de genotipos (VE = 3.28 radículas d⁻¹) comparada con M-430 y C-40 (6.42 y 6.28 radículas d⁻¹).
4. La conductividad eléctrica de la solución de imbibición se correlacionó inversamente con el porcentaje de germinación ($R^2 = -0.7^*$), pudiendo indicar que el efecto negativo

de la temperatura alta sobre la calidad fisiológica de la semilla se daría por su efecto en la permeabilidad de las membranas.

5. La población nativa C-40, fue el genotipo menos afectado por TA, pues ni su germinación ni su vigor se vieron afectados por dicho tratamiento.

4.6. PERSPECTIVAS

En este trabajo de investigación, no se dio seguimiento correctamente a la fenología y distribución de materia seca, por lo anterior es de gran importancia realizar un estudio detallado del comportamiento de la distribución de materia seca de la planta entera, incluyendo el fruto y el desarrollo de las semillas en temperaturas altas.

En la sección de calidad física de la semilla se ha indicado que el efecto de la temperatura alta estudiada en el presente experimento fue al parecer positivo, pues produjo semilla más pesada, y se comentó que muy probablemente dicha temperatura fue inferior a la máxima fisiológica para el crecimiento en peso (acumulación de reservas) de la semilla. En estudios posteriores se recomienda estudiar el efecto de temperaturas mayores a las empleadas en esta investigación, considerando además la aplicación según las fases de desarrollo de la semilla: histodiferenciación, acumulación de reservas y adquisición de la tolerancia a la desecación.

Sería de gran valor realizar experimentos para determinar las etapas más sensibles al aumento de temperaturas y experimentar otras reacciones físicas, fisiológicas y bioquímicas, de la planta y de frutos para poder relacionarlo al comportamiento que se obtenga de las semillas en un aspecto más amplio.

En cuanto a la calidad fisiológica de las semillas, otra razón por la cual la germinación y el vigor pueden ser afectados es por la capacidad de uso de sustratos respiratorios de la semilla durante la germinación. En estudios futuros será importante evaluar la respiración y

relacionarla igualmente con la capacidad de velocidad de emergencia de semilla sometida a estrés por TA, después de haber sido producidas en esa condición.

4.7. RECOMENDACIONES

Por lo anterior es de gran importancia realizar un estudio detallado del comportamiento de la distribución de materia seca de la planta entera, incluyendo el fruto y el desarrollo de las semillas en temperaturas altas. En la sección de calidad física de la semilla se ha indicado que el efecto de la temperatura alta estudiada en el presente experimento fue al parecer positivo, pues produjo semilla más pesada, y se comentó que muy probablemente dicha temperatura fue inferior a la máxima fisiológica para el crecimiento en peso (acumulación de reservas) de la semilla. En estudios posteriores se recomienda estudiar el efecto de temperaturas mayores a las empleadas en esta investigación, considerando además la aplicación según las fases de desarrollo de la semilla: histodiferenciación, acumulación de reservas y adquisición de la tolerancia a la desecación. Sería de gran valor realizar experimentos para determinar las etapas más sensibles al aumento de temperaturas y experimentar todas las reacciones físicas, fisiológicas y bioquímicas, de la planta y de frutos para poder relacionarlo al comportamiento que se obtenga de las semillas en un aspecto más amplio.

En cuanto a la calidad fisiológica de las semillas, otra razón por la cual la germinación y el vigor pueden ser afectados es por la capacidad de respiración de la semilla durante la germinación. En estudios futuros será importante evaluar esta variable y relacionarla igualmente con la capacidad de velocidad de emergencia de semilla sometida a estrés por TA, después de haber sido producidas en esa condición.

4.8. LITERATURA CITADA

- Adams, S. R., K. E. Cockshull and C. R. J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 88: 869-877.
- Baskin, C. C. and J. M. Baskin. 1998. *Seeds: ecology, Biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, New York, N. Y.
- Betancourt, P., y F. Pierre. 2013.. Extracción de Macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casas de cultivo en Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 25: 181-188.
- Bewley, J. D and M. Black. 2000. *Seed Technology and its Biological Basis*. *Sheffield Academic Press Ltd*. Sheffield, England. 419p.
- Biais, B., C. Bénard, B. Beauvoit, S. Colombié, D. Prodhomme, G. Ménard, S. Bernillon, B. Gehl, H. Gautier, P. Ballias, J.P. Mazat, L. Sweetlove, M. Génard, and Y. Gibon. 2014. Remarkable Reproducibility of Enzyme Activity Profiles in Tomato Fruits Grown under Contrasting Environments Provides a Roadmap for Studies of Fruit Metabolism. *Plant Physiology*. 164: 1204-1221.
- Bitá, C.E., S. Zenoni, W. H. Vriezen, C. Mariani, M. Pezzotti, and T. Gerats. 2011. Temperature stress differentially modulates transcription in meiotic anthers of heat-tolerant and heat-sensitive tomato plants. *BMJ Genomics* 12:384.
- Cabrera, F. A. V., and Salazar, É. I. E. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. Univ. Nacional de Colombia. 4th ed. 20-345 pp.
- Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 2001. *Principals of Seed Science and Technology*. 4th ed. Burgues Publishing Company. 122-169 pp.
- Delouche, J.C., and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging technique for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1:427-452.
- Demir, I., and R. H. Ellis. 1992. Development of pepper (*Capsicum annuum*) seed quality. *Annals Applied Biology* 121:385-399.
- Doria, J. 2010. Revisión bibliográfica Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31:74-85.
- Filho, M. J., R. V. Carvalho, S. M. Cícero, C. G. B. Demétrio. 1987. Qualidade fisiológica e comportamento de sementes de soja (*Glycine max* L.) no armazenamento e no campo. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz* 42:195-249.

- Gandica, O. H., y H. Peña. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27:111-120.
- Galvez, J. L., y R. M. Peil. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociencia* 11:5-11.
- Gray, D., J. Steckel, J. Dearman, and P. Brocklehurst. 1988. Some effects of temperature during seed development on carrot (*Daucus carota*) seed growth and quality. *Annals of Applied Biology* 112: 367-376.
- Hernández, M., V. Chailloux, M. Moreno, M. Mojena y J. Salgado. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos Tropicales* 30: 71-78.
- Ho, L.C. 1995. Carbon partitioning and metabolism in relation to plant growth and fruit production in tomato. *Acta Horticulturae* 414:396-409.
- Hurd, R. G., and C. J. Graves. 1984. The influence of different temperature patterns having the same integral on the earliness and yield of tomatoes. *Acta Horticulturae* 148: 547-554.
- Jones, J.B. 1998. *Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton. U.S.A. 200p.
- Núñez-Ramírez, F., R. L. Grijalva-Contreras, R. Macías-Duarte, F. Robles-Contreras, and C. Ceceña-Duran. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia* 14:25-31.
- Ohto, M.A., S.L. Stone, and J. Harada. 2007. Genetic control of seed development and seed mass. *In: Seed development, dormancy and germination*. Eds. K. J. Bradford and H. Nonagaki, Blackwell Publishing. Ltd, Oxford, UK. pp: 1-49.
- Ruiz, N. J. M. 2017. Calidad de fruto y semilla de tomate en respuesta a temperaturas altas. Tesis de Doctorado. Programa de recursos genéticos y productividad producción de semillas. Colegio de Postgraduados. Montecillo México 150p.
- Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericano. México. pp. 759.
- Taiz L. and E. Zeiger. 2014. *Plant Physiology*. 5th Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. 764p.

- Pearce, B., R. Grange, and K. Hardwick. 1993. The growth of tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *Journal of Horticultural Science* 68(1): 1.
- Kinet, J., and M. Peet. 1997. *Tomato The physiology of vegetable crops*. Wallingford Cab International. pp: 207-258.
- Luengwilai, K., and D. M. Beckles. 2009. Starch granules in tomato fruit show a complex pattern of degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57:8480-8487.
- Maguire J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Peet, M. M., D.H. Willits, and R. Gardner. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *Journal of Experimental Botany* 48:101-111.
- Pepper, A. E., R. W. Corbett, and N. Kang, N. 2002. Natural variation in Arabidopsis seedling photomorphogenesis reveals a likely role for TED1 in phytochrome signalling. *Plant Cell & Environment* 25:591-600.
- Pichardo-Gonzalez, J. M., O. J. Ayala-Garay, V. A. González-Hernández, and C. M. Flores-Ortiz. 2014. Fatty acids and physiological quality of tomatillo (*Physalis philadelphica* Lam.) seed during natural ageing. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74: 391-396.
- Pichardo-Gonzalez, J. M., O. J. Ayala-Garay, H. V. González-Hernández, C.M. Flores-Ortiz, J. A. Carrillo-Salazar, A. Peña-Lomelí, y A. Robledo-Paz. 2010. Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:231-238.
- Rodríguez-Burgos A, O. J. Ayala-Garay, A. Hernández-Livera, V. M. Leal-León y E. Cortez-Mondaca. 2011. Desarrollo de fruto y semilla de cinco variedades de tomate de cáscara en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 673-687.
- SAS (The SAS System software for Windows 9.0), 2003. User guide. SAS Institute, Cary N.C. USA.
- Scott, R. K., E. A. Ogunremi, J.D. Ivins and N.J. Mendham. 1973. The effect of sowing date and season on growth and yield of oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 81:277-285.
- Shephard, H. L., R. E. L. Naylor and T. Stuchbury. 1995. The influence of seed maturity at harvest and drying method on the embryo - amylase activity and seed vigour in rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology* 23: 487-499.

- Soto, G., L. J., and V. S. Valiengo. 2011. Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa*. *Bosque* 32:197-202
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC*. Lunteren Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Trujillo, K. A. 2005. Evaluación de la influencia de factor térmico de diferentes zonas de producción de semilla de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) y pimiento (*Capsicum annum L.*) sobre la calidad y rendimiento.

4.9. ANEXOS

Cuadro A 14. Temperaturas promedio (°C) diurnas y nocturnas de los invernaderos al inicio del cuarto racimo y durante el crecimiento de los frutos hasta la cosecha.

Periodo	Temperatura	TCC		TA	
		Promedio.	D.E.	Promedio	D.E.
Día	Mínima	15.8	1.77	16.8	1.69
	Media	25.4	2.93	27.6	2.90
	Máxima	33.5	3.37	37.0	4.41
Noche	Mínima	10.0	2.01	11.0	2.11
	Media	12.7	1.31	13.7	1.40
	Máxima	17.0	1.66	17.9	1.63

TCC= Temperatura control, TA= Temperatura alta, D.E.= Desviación estándar

Cuadro A15. Aspectos propios de cada cultivo, fechas de antesis de los materiales y días a madurez para la cosecha.

GENOTIPO	ANTESIS	MADUREZ	
	ddt	Dda	
		TCC	TA
MM	80	72	72
M-430	84	57	59
Y-25	82	62	53
C-40	77	59	47

TA= Temperatura alta, TCC= Temperatura control, ddt= días después del trasplante; dda= días después de antesis.

Cuadro A16. Comparación de medias de los días a cosecha de los cuatro genotipos desarrollados en dos condiciones de temperatura.

FV	DAC
MM	72.07 a
M-430	58.21 b
Y-25	53.36 c
C-40	52.57 c
DMS	4.84
Temperatura	
TCC	58.21 a
TA	59.89 a
DMS	2.59

FV = Fuente de variación; DMS= Diferencias mínimas significativas; DAC= Días a cosecha; Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales.

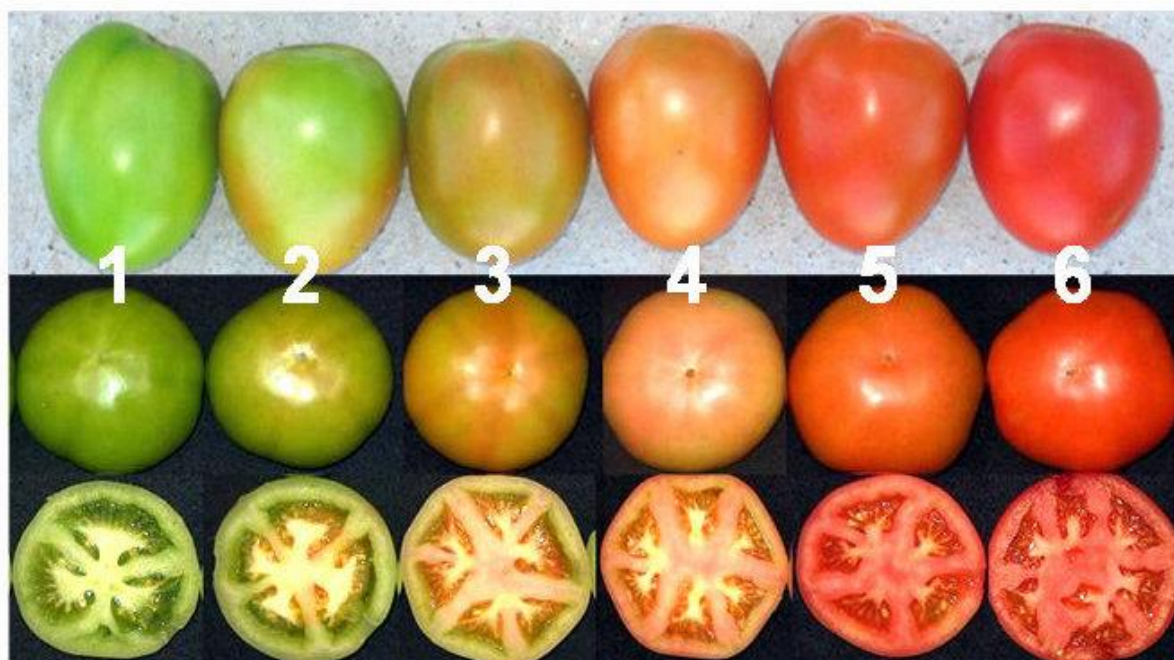


Figura A-10. Grado de madurez de los frutos, Para la evaluación se utilizaron frutos rojo maduro (Grado 6). Tomado de <http://www.horticulturablog.com/2013/09/adelanto-y-retraso-de-la-maduracion-de.html>



Figura A-11. Establecimiento del cultivo: todos los genotipos fueron trasplantados en el invernadero TCC; la mitad de las plantas fueron trasladadas al invernadero con TA al momento de la aparición del cuarto racimo en el 80 % de las plantas.



Figura A-12. Etiquetado de las flores del cuarto racimo en antesis.



Figura A-13. Invernadero TCC complementado con ventilación para lograr bajar la temperatura en el ambiente junto con la manipulación de apertura y cierre de cortinas.



Figura A-14. Frutos de MM del cuarto racimo al que se le dio seguimiento hasta el momento de la cosecha y en las pruebas de semilla obtenida.



Figura A-15. A) dispositivos para registrar las temperaturas, B) Plantas de C-40 trasladadas al ambiente de TA.



Figura A-16. Cosecha de frutos en estado rojo maduro (grado 6).



Figura A-17. Corte de las plantas para obtener porcentaje de materia seca, después de haber sido cosechados los frutos a evaluar.



Figura A-18. Evaluación de frutos cosechados en estado rojo maduro y obtención de semillas.

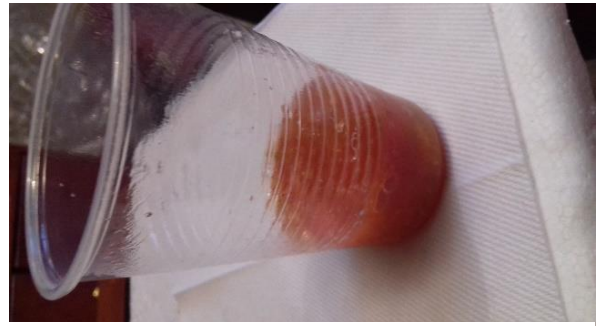


Figura A-19. Obtención de semilla a evaluar de los frutos cosechados por el método de fermentación.



Figura A-20. Materia seca; raíz de C-40 obtenida de las dos condiciones de crecimiento TCC (izquierda). TA (derecha).