



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FISIOLOGÍA VEGETAL**

## **RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATES NATIVOS**

**DEYSI VÁZQUEZ LÓPEZ**

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

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

**2021**

La presente tesis titulada: **RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATES NATIVOS**, realizada por la alumna: **DEYSI VÁZQUEZ LÓPEZ**, 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 EN RECURSOS  
GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. NICACIO CRUZ HUERTA

ASESOR

DR. VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR

DR. OSCAR J. AYALA GARAY

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2021

# RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATES NATIVOS

Deysi Vázquez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

## RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicon* L.) es una de las hortalizas de importancia para la alimentación en el mundo. México es el noveno país a nivel mundial con mayor producción y al mismo tiempo es considerado como centro de domesticación y diversificación del tomate. Los tomates nativos muestran amplia diversidad en características de interés agronómico, genético, bioquímico y comercial. Este estudio evalúa las características agronómicas, de calidad de fruto, rendimiento y calidad de semilla de 27 colectas de tomate y de la variedad comercial Rio Grande. El experimento se realizó en el Colegio de Posgraduados, en dos etapas, la primera consistió en la producción de fruto y semilla en invernadero, la segunda etapa evaluó la calidad de fruto y semilla en laboratorio. En altura de planta sobresalieron las colectas 90, 55, 105, 26. El diámetro de tallo de todas las colectas fue igual o mayor al presentado por el testigo. La acumulación de materia seca presentó una correlación positiva al peso individual de fruto ( $r^2=0.27^*$ ). Al pertenecer a diferentes tipos de fruto, se encontró variabilidad en firmeza, índice de redondez, contenido de sólidos solubles totales y color. El mayor rendimiento de semilla (g/planta) fue obtenido por la colecta 92r (fruto tipo cherry). Se encontró correlación negativa entre el número de semillas por fruto y el tamaño de la semilla (peso de mil semillas,  $r^2=-0.40^{**}$  y área individual de la semilla,  $r^2=-0.35$ ). En cuanto a calidad fisiológica de la semilla, con excepción de las colectas 107 y 109 (tipo silvestre), las colectas nativas y el testigo presentaron valores de 85 a 100% de germinación. Después de la prueba de envejecimiento acelerado, el 70% de las colectas evaluadas tuvieron entre 76 y 99 % de germinación. El tamaño de la semilla (área individual de semilla y peso de 1000 semillas) no tuvieron correlación con el porcentaje de germinación, pero sí una correlación altamente significativa con el índice de velocidad de emergencia de la radícula ( $r^2>0.50$ ).

**Palabras clave:** tomate, diversidad, calidad, fruto, semilla.

# SEED YIELD AND QUALITY IN SEEDS OF MEXICAN TOMATO LANDRACES

Deysi Vázquez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

## ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) is one of the most important vegetable crops in the world. Mexico is the ninth country with the highest production and it is considered as a center for domestication and diversification of tomato. Native tomatoes show wide diversity in characteristics of agronomic, genetic, biochemical and commercial interest. This study evaluated agronomic characteristics, fruit quality, yield and seed quality of 27 tomato accessions and the commercial variety Rio Grande. The experiment was carried out in the Postgraduate College, in two stages. The first stage consisted of the production of fruit and seed in the greenhouse, and the in second stage the quality of fruit and seed were evaluated in the laboratory. In plant height, the accessions 90, 55, 105, 26 stood out. The stem diameter of all the accessions was similar to or greater than that presented by the control. Dry matter accumulation showed a positive correlation with individual fruit weight ( $r^2 = 0.27^*$ ). Due to different types of fruit, variability was found in firmness, roundness index, content of total soluble solids and color. The highest seed yield (g/plant) was found in the accession 92r (cherry-type fruit). There was a negative correlation between number of seeds per fruit and seed size (1000 seed weight,  $r = -0.40^{***}$  and individual seed area,  $r = -0.35^{**}$ ). Regarding seed physiological quality, exception for accessions 107 and 109 (wild-type fruit), the native accessions and the control had between 85 and 100% germination. After the accelerated aging test, 70% of accessions had between 76 and 99% of seed germination. Seed size (individual seed area and 1000 seed weight) did not show a correlation with germination percentage, but it had a significant correlation with the radicle emergence index.

**Keywords:** tomato, diversity, quality, fruit, seed.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el financiamiento para este trabajo de investigación.

Al Colegio de Posgraduados por darme la oportunidad de obtener un posgrado y darme formación académica y profesional

Al Dr. Nicacio Cruz Huerta por su paciencia, dirección y consejos en mi formación académica y en la realización de este proyecto, así como también ser un ejemplo de trabajo, dedicación y responsabilidad para mí.

Al Dr. Víctor Arturo González Hernández por su apoyo y observaciones en esta investigación, por compartir sus conocimientos y por promover siempre la inquietud de obtener conocimiento.

Al Dr. Oscar Javier Ayala Garay por su tiempo, asesoramiento, guía y facilidades otorgadas a este proyecto.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por su tiempo y disponibilidad para la revisión de este trabajo.

A Dios que me concede la vida, llegar a este punto y darme salud.

A todas las personas y personal que colaboraron para que este proyecto ahora sea una realidad.

A mi familia, mis padres Juana López Pérez y Pablo Vázquez Cruzado por ser siempre mi ejemplo a seguir, a mi hermano Daniel Vázquez López por impulsarme a continuar y apoyarme siempre, a mi hermana Nohemí Vázquez que siempre tiene palabras de aliento, a mis sobrinos que son mi adoración, a mi cuñada Marisol Ramos por apoyarme desde hace muchos años, a mis abuelos Porfiria Pérez y Salvador López que impulsan a continuar esforzándome.

A Álvaro Rivera Rojas, por ser una persona muy importante en mi vida, por su apoyo incondicional, amor y palabras de motivación desde el inicio de este proyecto, pero especialmente por creer siempre en mí.

Al personal de Laboratorio de Fisiotecnia, el señor Juan Carlos que me ayudó en las actividades de realización del experimento, al personal del laboratorio de poscosecha por las facilidades brindadas.

A mis amigos y compañeros que colaboraron brindándome amistad y apoyo para que este proyecto llegara a su culminación, a Tsujmeji Gómez y Jorge Alberto les agradezco su amistad, apoyo y compañía, a Esli Velázquez y Luis Cervantes muchas gracias por su amistad, Yazmin Hidalgo gracias por su apoyo, a María Guadalupe Godoy, Jose Luis Mendoza, Norma Cecilia Morales, Salvador Carranza, Alonso Rangel, Christian Ramírez, Rosa María Velázquez y Soledad Trejo gracias. A Francisco Ramos, Denilson Ortiz y Juan Antonio Ramirez quienes colaboraron en el establecimiento del experimento.

A mis amigos Salvador Pérez, Fidel Solís, Claudio Balbuena, Pablo Romero, Martin Tucuch, Francisco Martínez, Bárbara Jiménez, Grissel Sandoval, Israel Ortiz y Monserrat Tejeda quienes a la distancia continúan apoyándome, a Ariel Rodríguez que aprecio mucho, que cree en mí y siempre tiene palabras para animarme.

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor y gran cariño a mis padres

## CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| RESUMEN .....  | iii |
| ABSTRACT .....   | iv  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                    | v   |
| DEDICATORIA.....   | vii |
| LISTA DE CUADROS .....                                   | xi  |
| LISTA DE FIGURAS .....                                   | xii |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                    | 1   |
| Objetivo .....   | 2   |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....                           | 3   |
| 2.1. Recursos genéticos .....                            | 3   |
| 2.1.1. Definición e importancia.....                     | 3   |
| 2.1.2. Conservación de recursos genéticos .....          | 3   |
| 2.1.3. Importancia de poblaciones nativas en México..... | 4   |
| 2.1.4. Poblaciones nativas de tomate en México .....     | 5   |
| 2.2. Cultivo de tomate.....                              | 6   |
| 2.2.1. Producción de tomate .....                        | 6   |
| 2.2.2. Origen .....                                      | 6   |
| 2.2.3. Clasificación taxonómica.....                     | 7   |
| 2.2.4. Descripción morfológica.....                      | 7   |
| 2.2.5. Requerimientos climáticos .....                   | 8   |
| 2.2.6. Requerimientos edáficos.....                      | 9   |
| 2.3. Semilla y su formación.....                         | 10  |
| 2.3.1. Semilla .....                                     | 10  |
| 2.3.2. Formación y desarrollo de la semilla.....         | 10  |
| 2.4. Industria semillera de hortalizas .....             | 12  |
| 2.4.1. Industria semillera en el mundo .....             | 12  |
| 2.4.2. Industria semillera en México.....                | 13  |
| 2.4.3. Sistema de producción de semillas.....            | 14  |
| 2.4.4. Rendimiento de semilla .....                      | 14  |
| 2.5. Calidad de semilla .....                            | 15  |

|   |    |
|---|----|
| 2.5.1. Calidad genética .....   | 15 |
| 2.5.2. Calidad fisiológica .....  | 15 |
| 2.5.3. Calidad física.....  | 16 |
| 2.5.4. Calidad sanitaria .....  | 16 |
| 2.6. Germinación .....  | 16 |
| 2.6.1 Dinámica de la germinación .....  | 17 |
| 2.6.2 Factores del proceso de germinación .....                                   | 17 |
| 2.7. Vigor .....  | 18 |
| 2.7.1. Prueba de conductividad eléctrica .....                                    | 18 |
| 2.7.2. Prueba de tetrazolio .....   | 19 |
| 2.7.3. Prueba de crecimiento de plántula.....                                     | 19 |
| 2.7.4. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total de plántulas .....    | 19 |
| 2.7.5. Prueba de frío .....   | 20 |
| 2.7.6. Prueba de envejecimiento acelerado .....                                   | 20 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 22 |
| 3.1. Material vegetal (tratamientos experimentales) .....                         | 22 |
| 3.2. Diseño experimental .....  | 22 |
| 3.3. Localización del experimento .....   | 22 |
| 3.4. Manejo agronómico del cultivo .....  | 22 |
| 3.3.1. Siembra y trasplante .....   | 22 |
| 3.3.2. Fertirriego.....   | 24 |
| 3.3.3. Labores agronómicas.....   | 24 |
| 3.3.4. Control fitosanitario .....  | 24 |
| 3.3.5. Condiciones ambientales .....  | 25 |
| 3.4. Comportamiento agronómico.....   | 26 |
| 3.4.2 Diseño experimental para variables agronómicas.....                         | 27 |
| 3.5. Rendimiento y calidad de fruto .....   | 27 |
| 3.5.1. Diseño experimental para variables de rendimiento y calidad de fruto ..... | 28 |
| 3.6. Rendimiento y calidad de semilla .....                                       | 28 |
| 3.6.1. Diseño experimental .....  | 31 |
| 3.7. Análisis de resultados .....   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 32 |
| 4.1. Descripción agronómica .....   | 32 |
| 4.1.1. Altura de planta .....   | 32 |
| 4.1.2. Diámetro de tallo .....  | 33 |
| 4.1.3. Materia seca y su distribución .....   | 35 |
| 4.1.4. Rendimiento de fruto por planta .....  | 37 |
| 4.1.5. Peso de fruto.....   | 38 |
| 4.2. Calidad de fruto .....   | 40 |
| 4.2.1. Firmeza del fruto .....  | 40 |
| 4.2.2. Índice de redondez.....  | 42 |
| 4.2.4. Sólidos solubles totales (SST) .....   | 44 |
| 4.2.5. Luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz.....                                   | 46 |
| 4.3 Calidad de semilla .....  | 48 |
| 4.3.1. Rendimiento de semilla obtenida por planta (g) .....                               | 50 |
| 4.3.2. Número de semillas por planta.....   | 52 |
| 4.3.3. Peso de 1000 semillas .....  | 53 |
| 4.3.4. Área de semilla .....  | 54 |
| 4.3.5. Peso volumétrico.....  | 55 |
| 4.3.6. Número de semillas por fruto. ....   | 56 |
| 4.3.7. Porcentaje de germinación.....   | 59 |
| 4.3.8. Velocidad de emergencia de la radícula .....                                       | 60 |
| 4.3.10. Peso seco de plántula.....  | 62 |
| 4.3.11. Porcentaje de germinación de semilla sometida a envejecimiento<br>acelerado ..... | 63 |
| 4.3.12. Índice de emergencia de la radícula sometida a envejecimiento acelerado<br>.....  | 65 |
| 4.3.13. Análisis de coordenadas principales .....   | 66 |
| 4.4. Discusión general .....  | 68 |
| 5. CONCLUSIONES.....  | 71 |
| 6. LITERATURA CITADA.....   | 72 |
| ANEXOS .....  | 82 |

## LISTA DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1. Tipo de fruto de colectas evaluadas, numero de accesión y estado de origen del material vegetal. ....                                     | 23 |
| Cuadro 2. Descriptores estadísticos de variables agronómicas de 27 colectas de poblaciones nativas de tomate y una variedad comercial. ....         | 32 |
| Cuadro 3. Correlaciones de variables agronómicas y calidad de semilla de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial. ....                | 37 |
| Cuadro 4. Descriptores estadísticos de variables de calidad de fruto de 27 colectas de poblaciones nativas de tomate y una variedad comercial. .... | 40 |
| Cuadro 5. Descriptores estadísticos de variables de calidad de semilla de 27 colectas de tomate nativos y una variedad comercial. ....              | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Comportamiento de la temperatura en 24 horas durante cosecha. ....  | 25 |
| Figura 2. Comportamiento de temperatura promedio, mínima y máxima durante cosecha. ....   | 26 |
| Figura 3. Imagen digitalizada de semillas (A) y convertida a formato binario (B). ....  | 29 |
| Figura 4. Comparación de medias de altura de planta de 27 colectas nativas y una variedad comercial. ....   | 33 |
| Figura 5. Comparación de medias de diámetro de tallo de 27 colectas nativas y una variedad comercial. ....  | 34 |
| Figura 6. Materia seca total y su distribución en raíz, tallo y hoja de 27 colectas nativas y una variedad comercial. ....  | 36 |
| Figura 7. Comparación de promedio de rendimiento de fruto por planta. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....   | 38 |
| Figura 8. Peso individual de fruto de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....                               | 39 |
| Figura 9. Firmeza de fruto en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....                                       | 42 |
| Figura 10. Índice de redondez en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....                                    | 43 |
| Figura 11. Tipos de frutos en las colectas de tomates nativos: silvestre (A), ojo de venado (B), cherry (C), pera (D), calabaza (E), riñón (F), pimiento (G), bola plana (H) y saladette (I). ....  | 44 |
| Figura 12. Contenido de sólidos solubles totales de fruto en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....        | 45 |
| Figura 13. Ubicación para 27 colectas de tomate nativo y la variedad comercial Río Grande en el espacio cromático ( $a^*$ y $b^*$ ). ....   | 47 |
| Figura 14. Ubicación para 27 colectas de tomate nativo y la variedad comercial Río Grande en el espacio cromático ( $L^*$ ). ....   | 48 |
| Figura 15. Luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz de frutos de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. .... | 49 |
| Figura 16. Rendimiento de semilla por planta de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales  |    |

|  |    |
|--|----|
| (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....   | 51 |
| Figura 17. Número de semillas por planta en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....  | 52 |
| Figura 18 . Peso de mil semillas en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.....   | 54 |
| Figura 19. Área individual de semilla 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.....   | 55 |
| Figura 20. Peso volumétrico de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande. ....   | 56 |
| Figura 21. Número de semillas por fruto A) Media general, B) En cada racimo cosechado, de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.....                                     | 58 |
| Figura 22. Porcentaje de germinación de 27 colectas nativas y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.....   | 60 |
| Figura 23. Índice de velocidad de emergencia de la radícula (A) y Comportamiento de porcentaje de germinación acumulado (B) de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande..... | 62 |
| Figura 24. Peso seco de plántula de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande. ....   | 63 |
| Figura 25. Porcentaje de germinación de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. ....  | 64 |
| Figura 26. Índice de velocidad de emergencia de la radícula 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.....   | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 27. Dendograma generado a partir de datos obtenidos en rendimiento, calidad física y fisiológica de semillas de 27 colectas nativas de tomate y la variedad comercial Rio Grande..... | 68 |
| Figura 28. Análisis de coordenadas principales de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial, con agrupamiento sobrepuesto. ....   | 68 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicon* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia para la alimentación a nivel mundial, que en 2019 ocupó un área sembrada de 5,030,545 ha en las que se produjeron 180 766 329 t. México es el noveno país a nivel mundial con mayor producción, con 87 917 hectáreas sembradas y un rendimiento de 48.59 toneladas por hectárea (FAO 2020a).

México es uno de los países con mayor diversidad biológica en el mundo (Gervacio-Canales 2017), que se considera centro de origen, domesticación y diversificación de diferentes hortalizas importantes a nivel nacional e internacional, entre las que destacan chile (*Capsicum annuum* L.), tomate, papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.) y chayote (*Sechium edule* L.) (SIAP 2015). A la agro diversidad del tomate que representa una fuente de germoplasma (Hoyt, 1992; Vera *et al.* 2016) se deben agregar los tipos silvestres porque constituyen una fuente adicional de variabilidad genética para incluir en los programas de mejoramiento del cultivo (Bonilla-Barrientos *et al.* 2014).

Las poblaciones nativas cultivadas son de importancia para la agricultura del país, cuyos atributos agronómicos, nutricionales y otros valores de uso, podrían ser aprovechados a través de su mejoramiento (Gervacio-Canales 2017). Por consiguiente, es importante garantizar su conservación efectiva y eficiente, tanto *ex situ* en bancos de germoplasma como *in situ* en sus hábitats naturales. La conservación *ex situ* implica la reproducción periódica de semilla, para así mantener el germen de la vida y poder reproducir y aprovechar su genoma. La conservación de la diversidad biológica es una necesidad global (Squeo *et al.* 2001).

La mayor diversidad de tomate nativo está representada en las variedades locales, que poseen los pequeños agricultores (Vera-Sánchez *et al.* 2016), de las cuales se han realizado varias colectas entre las que destacan la de un proyecto realizado por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo, profesor del Colegio de Postgraduados, durante el periodo de 2009 a 2013. Mediante dicho proyecto intitulado “Valoración Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate mexicano (*Lycopersicon esculentum* L.)”, que fue

financiado con apoyo económico de CONACYT, se logró obtener más de 600 accesiones mexicanas.

De esta colección se han realizado diversos estudios que muestran la amplia diversidad en características morfológicas de planta, flor, y aún en características determinantes de la calidad del fruto (Maldonado-Peralta 2017). También se ha identificado colectas de tomate como alternativa para usarse como porta injertos para estrés salino (Sanjuan-Lara 2003), con resistencia a bajas temperaturas (Gervacio-Canales 2017, Ramírez-Villa 2018, Javier-Espinoza 2016), con resistencia a sequia (Maldonado-Peralta 2017), con rendimientos de campo y calidad de frutos superior a variedades comerciales (Sandoval-Ceballos 2018; Maldonado- Peralta *et al.* 2016).

La producción de tomate en sistema tradicional y tecnificado requiere tener plántulas con características para un desarrollo vegetativo adecuado donde la calidad física y fisiológica de la semilla son determinantes, se ha identificado colectas de tomate nativo con calidad similar a variedades comerciales, que pueden ser usadas en la producción intensiva de tomate (Berrospe *et al* 2015).

En muchas ocasiones se desconoce el grado de diversidad y la relación existente entre materiales, lo que impide su utilización óptima (Onora-Castro *et al.* 2004), por lo que el análisis de su diversidad genética genera la necesidad de realizar estudios de caracterización de estos recursos desde el punto de vista agronómico, fisiológico y reproductivo. Por eso en este trabajo se caracterizaron 27 colectas de tomate de manera agronómica, en calidad de fruto y calidad de semilla.

## **Objetivo**

El objetivo de esta investigación fue analizar la variación agronómica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) perteneciente a colectas nativas bajo condiciones controladas, y evaluar el rendimiento y la calidad de la semilla para su reproducción y preservación.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Recursos genéticos**

#### **2.1.1. Definición e importancia**

Se considera como recurso genético a especies cultivadas y especies silvestres que poseen genes de interés para introducir un nuevo carácter o una mejora de los caracteres de un cultivo en particular (Pezoa-Cancino 2001). Los recursos genéticos encierran la clave para incrementar el rendimiento de los cultivos, y con ello garantizar la seguridad alimentaria. Esto es de particular importancia en zonas geográficas marginales o pobres ya que permite mejorar la condición humana de sus habitantes. La diversidad genética de estos recursos permite a la especie en cuestión adaptarse a diferentes ambientes y condiciones de crecimiento. La capacidad de una determinada variedad de resistir la salinidad, la sequía o la inundación, crecer en suelos pobres o ricos, resistir a plagas o enfermedades, dar mayores rendimientos proteicos, o producir un alimento con mejor sabor son rasgos que se heredan a través de sus genes (Bastías-Marín 2008).

Se ha documentado la pérdida de diversidad en los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, tanto en cultivos, recursos forestales, animales domésticos y marinos. Las variedades de alto rendimiento y altos insumos han reemplazado a las razas locales y variedades criollas, y por tanto la pérdida de esta diversidad genética es uno de los principales incentivos para los esfuerzos de conservación (Granados-Sánchez *et al.* 2009).

#### **2.1.2. Conservación de recursos genéticos**

La conservación de la diversidad biológica es un problema global. Una conservación efectiva y eficiente, requiere aplicar la conservación *ex situ*, en bancos de germoplasma, y la conservación *in situ*, en los hábitats de las especies (Pezoa-Cancino 2001). El esfuerzo por la conservación se está realizando por universidades, organizaciones no gubernamentales, diferentes niveles de gobierno, entre otras. Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura hace su parte mediante el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación

y la Agricultura cuyos objetivos son la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos vegetales, que incluye su conservación, exploración, recolección, caracterización, evaluación y documentación para la alimentación y la agricultura, así como la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización (FAO 2020b).

México enfrenta varios problemas de conservación de recursos fitogenéticos. Uno de ellos es la erosión de diversidad genética por pérdida del hábitat, prácticas de manejo inadecuadas y porque los agricultores, quienes utilizan y generan dicha diversidad están abandonando el campo. Otro problema es que no existe una estrategia clara de programas de conservación (in situ y ex situ), y por tanto no se aprovecha el potencial de la diversidad genética (Mastretta *et al.* 2019).

### **2.1.3. Importancia de poblaciones nativas en México**

México se caracteriza por su amplia y rica variación geológica, orográfica, ambiental, y es uno de los países con mayor diversidad biológica en el mundo. El desarrollo de esta riqueza en un paisaje megadiverso dió lugar también a un aprovechamiento heterogéneo de los recursos locales que condujo a la generación de por lo menos 100 especies cultivadas, muchas de las cuales tienen presencia actual en diferentes ámbitos tanto mundial como nacional. En esta presencia, los cultivos que resaltan son el maíz, el cacao, la papaya, el nopal, el jitomate, el tabaco, la vainilla, el algodón, los magueyes, el frijol, el tomate, entre otros. Las poblaciones nativas son de gran importancia para la agricultura del país, ya que el conocimiento de los atributos agronómicos, nutricionales y otros valores de uso, puede optimizar el aprovechamiento del jitomate a través de su conservación y mejoramiento (Gervacio-Canales 2017).

La mayor diversidad está representada en las variedades locales, que poseen los pequeños agricultores, y de las cuales se carecen de estadísticas oficiales. Esta agrobiodiversidad representa una importante fuente de genes para la obtención de nuevas variedades, y que permitan conducir a avances en la medicina o en la industria, así como a mejoras agrícolas por medio de la investigación científica y tecnológica (Vera-Sánchez *et al.* 2016).

#### **2.1.4. Poblaciones nativas de tomate en México**

Las poblaciones mexicanas de tomate presentan amplia diversidad en cuanto a características de interés agronómico (Maldonado-Peralta *et al.* 2016). Algunas poblaciones pueden ser usados directamente como variedades comerciales o incorporadas a programas de mejoramiento como fuente de germoplasma para generar variedades o híbridos (Bonilla-Barrientos *et al.* 2014). El tomate se utiliza como alimento, básicamente en la elaboración de salsas y también como medicinal para humanos y animales. Crecen de manera espontánea en milpas o en la vecindad de las comunidades rurales. Los principales riesgos para su conservación son el uso continuo y constante de los herbicidas en las áreas cultivadas, quemas de pastizales, cambios en hábitos de consumo por el incremento de productos alternativos y no se fomenta su conservación o aprovechamiento. El tomate (jitomate) silvestre ha mostrado amplia capacidad para dispersarse y conquistar áreas perturbadas. Así mismo, existe un nicho de mercado entre los consumidores que los prefieren por su sabor y aroma. Las formas silvestres son un recurso genético poco apreciado y en riesgo de erosión en la región centro-occidente de México (Vera-Sánchez *et al.* 2016).

Un proyecto realizado de 2009 a 2013 “Valoración Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate mexicano (*Lycopersicon esculentum* L.)” que se realizó en el Colegio de Postgraduados con apoyo económico del CONACYT, tiene 600 accesiones colectadas en México. Derivado de esta colección se han realizado diversos estudios que muestran la amplia diversidad en características morfológicas de planta, flor y fruto de tomate, y aún en características determinantes de la calidad del fruto (Maldonado-Peralta 2017).

Debido a la reducida variabilidad genética de los cultivares modernos de tomate, sus parientes silvestres son una fuente importante de genes de interés agronómico, como resistencia a factores bióticos y abióticos, base para el mejoramiento genético de la especie cultivada (Flores-Hernández *et al.* 2017).

## **2.2. Cultivo de tomate**

### **2.2.1. Producción de tomate**

Es una de las hortalizas de mayor importancia para la alimentación a nivel mundial y por su superficie sembrada, volumen, valor de producción en el mercado, y los empleos que genera lo es a nivel nacional (Velasco-Hernández *et al.* 2011; Hernández-Leal *et al.* 2013).

El tomate en México ocupó 87 917 ha sembradas en 2019 con un rendimiento de 48.59 toneladas por hectárea (FAO 2020a).

### **2.2.2. Origen**

Los parientes silvestres del tomate cultivado son nativos del oeste de América del Sur, se distribuyen a lo largo de la costa y altos Andes desde el centro de Ecuador a través de Perú, hasta el norte de Chile y en las Islas Galápagos. México es considerado como centro de domesticación (Peralta y Spooner 2007).

El antepasado más probable de los tomates cultivados es el tomate cherry silvestre (generalmente identificado como *Lycopersicum var. cerasiforme*) que está más extendido y quizás más recientemente distribuido en México, Colombia, Bolivia y otros países de América del Sur (Rick y Holle 1990, citado por Peralta y Spooner 2007).

### 2.2.3. Clasificación taxonómica

|             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| Reino       | Plantae                        |
| División    | Traqueofitas                   |
| Subdivisión | Espermatofitina                |
| Clase       | Magnoliopsida                  |
| Superorden  | Asteranae                      |
| Orden       | Solanales                      |
| Familia     | Solanáceas                     |
| Género      | Solanum L.                     |
| Especie     | <i>Solanum lycopersicum</i> L. |

Fuente: ITIS, 2020

### 2.2.4. Descripción morfológica

Tallo. El tomate es una planta herbácea, de tallo semileñoso. Generalmente mide entre 2 y 4 cm de diámetro en la base de la planta y es más delgado en la parte superior, donde se están formando nuevas hojas y racimos florales. El tallo también está conformado por epidermis, que contiene pelos glandulares, corteza, cilindro vascular (xilema) y tejido medular (Escobar y Lee 2009).

Raíz. El sistema radicular está compuesto por una raíz principal de corta extensión ramificada en numerosas raíces secundarias. En la parte superior, al nivel del suelo, se desarrollan raíces adventicias que ayudan a mejorar el anclaje de la planta al sustrato (López-Marín 2017).

Flor. La flor del tomate es perfecta, con órganos femeninos y masculinos funcionales. En cada inflorescencia o racimo se forman varias flores y una sola planta de crecimiento indeterminado puede producir 20 o más inflorescencias sucesivas durante un ciclo de cultivo, bajo condiciones de invernadero (Escobar y Lee 2009).

Hojas. Las hojas del tomate son imparipinadas, compuestas por folíolos alternos e impares que terminan en un folíolo individual en su parte apical. El número de hojas por tallo y la frecuencia de aparición de hojas están determinados principalmente por el tipo de hábito de crecimiento de la planta y por la temperatura (Escobar y Lee 2009).

Fruto. Es una baya bilocular o plurilocular, sub esférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que puede alcanzar 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. Existen cultivares de tomate con frutos de color amarillo, rosado, morado, naranja y verde, entre otros (López-Marín 2017). El fruto del tomate está constituido por un 94-95% de agua. El restante 5-6% es una mezcla compleja en la que predominan los constituyentes orgánicos, los cuales dan al fruto su sabor característico y su textura. El fruto tarda de 60 a 70 días desde la antesis (cuajamiento) hasta el momento de la cosecha (Escobar y Lee 2009).

Semilla. En el cultivo de tomate la semilla tiene forma lenticular, con unas dimensiones de 5x4x2 mm y está constituida por el embrión, endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión está constituido por la yema apical, dos cotiledones, hipocótilo 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 (Bewley y Black 1982).

### **2.2.5. Requerimientos climáticos**

El tomate es una hortaliza de gran adaptación climática. Los factores climáticos que más afectan a las diferentes fases del cultivo son temperatura, luminosidad y humedad relativa. Cuando la temperatura esta fuera de los límites requeridos por la planta se presentan alteraciones fisiológicas, que causan anomalías o desordenes que pueden comprometer significativamente la producción del cultivo (Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar 2004).

Radiación. La radiación limitada reduce la fotosíntesis neta, lo que causa mayor competencia por los asimilados, con incidencia negativa en el desarrollo y producción (Aung 1976). Valores de radiación total diaria en torno a 0.85 MJ/m<sup>2</sup> son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor iluminación

en menor periodo de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo (Kinet 1977).

Temperatura. El tomate es una planta termo periódica (Went 1994). Durante la fase de crecimiento vegetativo una temperatura alta (25°C) favorece el crecimiento foliar, a expensas del ápice, mientras que a una temperatura baja (15°C) ocurre lo contrario (Calvert 1966). Bugbee y White (1984) sugieren temperaturas de 25°C en el día y 20°C en la noche como temperaturas idóneas para el cultivo.

Humedad relativa. El desarrollo del tomate requiere que la humedad relativa oscile entre 60% y 80% (Torres, 2017), humedad relativa inferior a 90% es deseable, pues valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades (Harper *et al.* 1979).

#### **2.2.6. Requerimientos edáficos**

Suelo. En cuanto a tipo de suelos, el tomate requiere de suelos bien drenados y profundos, siendo las texturas francas, franco-limosas, franco-arenosas, y limosas las más adecuadas (Seminis 2017).

pH. El pH es muy importante en la producción de tomate, ya que de acuerdo con su valor se aumenta o se disminuye la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. El pH óptimo para la producción de tomate esta entre 6.2 y 6.8 (Escobar y Lee 2009).

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica es un índice utilizado para expresar la concentración de sales en la solución del suelo. Se expresa en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ó  $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ . A medida que el cultivo comienza a ser fertilizado mediante el sistema de riego, la CE del suelo comienza a subir por efecto de la concentración de sales fertilizantes, pudiendo presentarse problemas como la dificultad de la planta para absorber agua del suelo. La CE óptima para el desarrollo del tomate en suelo está entre 1.5 y 2.0  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en extracto (Escobar y Lee 2009).

## **2.3. Semilla y su formación**

### **2.3.1. Semilla**

La semilla se forma a partir del rudimento seminal, localizado en el ovario de las flores, tras producirse la fecundación por los granos de polen (Megias *et al.* 2019). Las semillas son fundamentales para la producción de cultivos, la nutrición humana y la seguridad alimentaria. (Finch y Bassel 2016).

La FAO (2020c) se refiere a las semillas como la base principal para el sustento humano. Son las depositarias del potencial genético de las especies agrícolas y sus variedades resultantes de la mejora continua y la selección a través del tiempo.

### **2.3.2. Formación y desarrollo de la semilla**

La semilla se forma mediante una embriogénesis zigótica que comprende los cambios morfológicos, estructurales y de expresión génica que tienen lugar desde la formación del cigoto hasta el final del desarrollo y la maduración del embrión. Éste podrá germinar cuando las condiciones endógenas y medioambientales sean las apropiadas (Azcon-Bieto y Talón 2003).

Cuando el tubo polínico alcanza el saco embrionario del rudimento seminal, en el ovario del pistilo, se produce la fecundación doble. Uno de los núcleos de las células generativas se fusionará con el ovulo y el otro de la otra célula generativa con la célula central. Ovulo y célula central pertenecen al gametofito femenino. Se produce por tanto una doble fecundación, que es una de las características más destacadas de la fecundación de las angiospermas. El cigoto, resultante de la fusión del ovulo con una célula generativa dará lugar al embrión, mientras que la célula central más la otra célula generativa dará lugar al endospermo (Megias *et al.* 2019).

Para estudiar mejor el desarrollo de la semilla se ha dividido en varias fases: histodiferenciación, expansión, maduración y desecación:

Fase de histodiferenciación, también llamada período embriogénico temprano o inicial se caracteriza por una alta tasa de divisiones nucleares y por la formación concomitante de

paredes celulares. Todo ello trae consigo un aumento notable del número de células en el embrión. Debido al reducido tamaño de la semilla, en esta fase, es muy complicado aislar las diferentes partes de que consta y proceder a la cuantificación hormonal. Los datos de que se dispone en la actualidad indican que las auxinas y las citoquininas son las fitohormonas predominantes.

Fase de expansión celular, el crecimiento por división celular desaparece y es sustituido por un crecimiento debido, preferentemente, a la elongación celular. En este período existe un contenido elevado de auxinas en sus formas libre y conjugada. Asimismo, las giberelinas libres y conjugadas también aumentan, las citoquininas tienden a desaparecer. Durante la fase de expansión se acumulan las sustancias de reserva de las semillas. La embriogénesis provoca la aparición de tejidos muy bien organizados para desempeñar funciones muy concretas en la semilla. La síntesis coordinada y la acumulación, en su caso, de proteínas, lípidos e hidratos de carbono en diferentes períodos de la embriogénesis y en diversos órganos de la semilla (cotiledones y endospermo) (Azcon-Bieto y Talón 2003).

Fase de maduración y desecación, la estimulación de la expresión de un inhibidor de una quinasa dependiente de la ciclina provoca la paralización del ciclo celular. Durante este período se detecta la presencia de niveles elevados de ABA-libre, un descenso en el peso fresco de la semilla debido a una notable pérdida de agua, la tolerancia a la desecación, y la ausencia de alteraciones en el peso seco. Se completa el programa de desarrollo de la semilla.

El ABA es el responsable de que, en la planta madre, la semilla no pase directamente de la embriogénesis a la germinación y, por consiguiente, de que adquiera y mantenga la dormición primaria. Además, el ABA también es el responsable de la morfogénesis del embrión y de la tolerancia a la desecación.

A medida que esta fase embriogénica avanza, las capas más externas de la semilla (como la cubierta seminal) se endurecen a causa de un enriquecimiento en sustancias ceras, cutina o lignina. Asimismo, las etapas finales del desarrollo seminal se caracterizan por la inhibición de un gran número de procesos metabólicos, entre ellos la

actividad respiratoria, la cual adquiere niveles apenas detectables con el fin de mantener a una serie de orgánulos de la semilla (p. ej., mitocondrias), y a la propia semilla, en un estado metabólico «basal» que algunos autores denominan quiescente. A diferencia de la semilla durmiente, la semilla quiescente puede germinar si se dan las condiciones óptimas para ello. Al comenzar la desecación de la semilla el suspensor degenera, y desaparece la conexión con la planta madre (Azcon-Bieto y Talón 2003).

## **2.4. Industria semillera de hortalizas**

### **2.4.1. Industria semillera en el mundo**

Se estima que el mercado mundial de semillas de hortalizas ronda los 4.7 millones de dólares estadounidenses. Las semillas de hortalizas normalmente tienen un valor elevado y representan una participación mucho mayor del mercado mundial de semillas en valor de lo que cabría esperar de sus volúmenes relativamente modestos. Dentro de las semillas de hortalizas, se estima que el 43% del mercado consiste en semillas de solanáceas, una categoría de cultivo que incluye tomates, pimientos y berenjenas (OECD 2018).

En el caso de las semillas de hortalizas, los principales exportadores son Francia, Italia, Países Bajos, Nueva Zelanda, Ucrania y Estados Unidos de América, que representan el 52.81% de las exportaciones (ISF 2017a). Curiosamente, existe una superposición considerable entre la lista de los principales importadores y exportadores (OECD 2018). Los principales países importadores para los cultivos de hortalizas son China, Italia, Países Bajos y Estados Unidos de América (ISF2017b). Este patrón se explica por un alto grado de reexportación, ya que la cadena de valor de las semillas puede cruzar fronteras varias veces (OECD 2018).

Sin embargo, en muchos países en desarrollo los agricultores aún no se benefician de las ventajas del uso de semillas de calidad debido a una combinación de factores que incluyen la producción ineficiente de semillas, los sistemas de distribución y de garantía de calidad, así como la falta de políticas correctas de semillas y otros instrumentos normativos (FAO 2020c).

## 2.4.2. Industria semillera en México

La creciente demanda de alimentos ha creado la necesidad de desarrollar tecnología agrícola que permita hacer un uso más eficiente de los insumos agrícolas, entre ellos agua y suelo, y particularmente la semilla, que es la base de la producción agrícola (Robledo-Torres *et al.* 2010).

En 2017, México exportó 740 toneladas de semillas de hortalizas con un valor de 17 millones dólares en exportación (ISF 2017a), e importó 1,862 toneladas con un valor de 323 millones de dólares (ISF 2017b). De lo anterior se desprenden dos aspectos desfavorables para México: una balanza comercial negativa (en 304 millones de dólares) y el precio de venta de la semilla exportada es mucho más bajo que la semilla importada (US\$ 22,972 por tonelada exportada vs. US\$ 175,543 por tonelada importada).

México ha tenido un déficit de semillas certificadas en cultivos básicos, que no se ha atendido aún con las reformas de la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas de 2007; de ahí la importancia de impulsar el acceso y la demanda de semillas de calidad, en especial a pequeños y medianos agricultores con acciones focalizadas hacia la conversión productiva (CEDRSSA 2015).

En México el mercado de semillas ha sido regulado desde 1961 cuando se promulgó la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, que se ha venido modificando hasta la ley actual que tiene como principal objetivo regular la producción de semillas de calidad a través de esquemas de certificación (Domínguez-García *et al.* 2019).

Los distribuidores en México manejan primordialmente semillas de: maíz, sorgo, calabacita, lechuga, tomate, chile, cebolla, pepino, pimiento, melón, zanahoria, sandía, brócoli, espinaca, coliflor y cilantro. Estos distribuidores tienen una cobertura nacional y en muchos casos utilizan un eslabón adicional que son los subdistribuidores en las zonas más alejadas (CEDRSSA 2015).

México cuenta con el marco regulatorio suficiente en materia de producción, certificación, comercio de semillas y protección a la propiedad de los obtentores de variedades

vegetales; no obstante, este marco está diseñado para el denominado sistema formal de producción de semillas, lo que ha dejado desatendida la producción y comercio de semillas criollas (Domínguez-García *et al.* 2019). Por tanto es importante que en México se desarrolle la tecnología necesaria para producir semilla de hortalizas de alta calidad (Robledo-Torres *et al.* 2010).

#### **2.4.3. Sistema de producción de semillas**

Un sistema de semillas se puede definir en términos generales como la combinación de componentes, procesos y su organización para la producción y comercialización de una o más especies de semillas (Loch and Boyce 2003).

Se identifica dos sistemas de producción, el sistema formal que provee semillas de variedades uniformes que han sido evaluadas para su adaptación a ciertos sistemas y bajo ciertas condiciones de cultivo (García-Rodríguez *et al.* 2018) y el sistema informal o local de semillas hace referencia a la producción de semillas que realizan los agricultores con base en los recursos genéticos disponibles de sus propias cosechas, lo que da lugar al uso de variedades de cultivos locales, los que mediante procesos empíricos de mejoramiento y selección se adaptan a condiciones agro-climatológicas locales y a las necesidades de uso de los agricultores y sus familias, hay una gran contribución de los agricultores tradicionales en la formación, mejora y conservación de los cultivos más importantes que proporcionan alimento a los habitantes de todo el planeta (Sangermán *et al.* 2018).

#### **2.4.4. Rendimiento de semilla**

El rendimiento de semilla y la calidad del tomate depende principalmente de la variedad seleccionada para la producción de semillas (George 1999). Rashid y Singh (2000) mencionan que hay una relación positiva y lineal entre rendimiento de semilla versus el número de frutos por planta, rendimiento de frutos por planta y número de semillas por fruto. El rendimiento de semillas no era el resultado de un solo carácter, sino más bien la combinación de caracteres contribuyo a incrementar el rendimiento de semillas.

## **2.5. Calidad de semilla**

El uso de semillas de alta calidad es uno de los más importantes elementos en el aumento de la producción agrícola en cualquier agricultura sistema. Este elemento se ha vuelto más crucial que nunca para proporcionar suficiente seguridad alimentaria para el creciente número de personas en el mundo, que se espera supere los nueve mil millones por año 2050 (Sabry 2018).

Se pueden identificar explícitamente cuatro atributos clave: calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Bishaw *et al.* 2007).

Muchos factores influyen en la calidad de la semilla. Interacciones complejas de carácter genético, ambiental, fisiológico, bioquímico, citológico, y factores patológicos influyen en la expresión de la calidad de la semilla. Los factores bajo control genético pueden incluir, entre otros aspectos, sobre el tamaño y el color de la semilla, la composición química, la dureza de semillas, el vigor híbrido, y la susceptibilidad a daños mecánicos y a enfermedades resistencia (Sabry 2018).

### **2.5.1. Calidad genética**

Es el potencial genético inherente de la variedad para lograr mayores rendimientos, y mayor tolerancia a estreses bióticos o abióticos (Bishaw *et al.* 2007).

Se debe lograr y mantener un alto nivel de pureza genética en las variedades de cultivos para el rendimiento agronómico. La calidad genética muestra la pureza de los atributos genéticos específicos que se relacionan con la calidad del grano o con la resistencia a plagas o herbicidas introducidos en las variedades (Smith y Register 1998).

### **2.5.2. Calidad fisiológica**

Es el potencial de germinación y vigor que conduce a posterior emergencia de plántulas y establecimiento de cultivos (Bishaw *et al.* 2007) y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. En el momento que la semilla madura llega a la máxima vitalidad; a partir de ese momento comienza a envejecer o perder vigor, porque la misma sigue respirando y gastando energía para mantener sus funciones vitales (Terenti 2004).

### **2.5.3. Calidad física**

Característica de la semilla exenta de contaminación con otras semillas de cultivos, semillas de malezas nocivas o parasitarias, daños mecánicos, decoloración, y con tamaño y peso de semilla uniformes (Bishaw *et al.* 2007).

Entre las pruebas más importantes se encuentran las siguientes.

Prueba de pureza: La prueba de pureza tiene como objetivo determinar la proporción de los distintos elementos que componen la muestra objeto de análisis. Se refiere a la mezcla normal de semillas puras con impurezas como pueden ser polvo, ramitas, hojas, semillas de otras especies, y todo aquello que no sea semilla pura (Poulsen 1999).

Peso de semillas: su objetivo es determinar el peso de 1000 semillas. Esto permite el cálculo del número de semillas por kilogramo, lo cual es una información muy importante en las operaciones del vivero y para determinar el rendimiento de las plantas (Poulsen 1999).

Análisis de contenido de humedad: determina la actividad fisiológica y bioquímica de la semilla. Por lo tanto, la determinación del contenido de humedad de la semilla es de vital importancia para las operaciones de manejo (Stubsgaard 1990, citado por Poulsen 1999).

### **2.5.4. Calidad sanitaria**

Calidad sanitaria es la ausencia de infección / infestación con plagas transmitidas por semillas (hongos, bacterias, virus, nematodos, insectos, etc.) (Bishaw *et al.* 2007).

## **2.6. Germinación**

La germinación es el proceso que se inicia con la toma de agua por la semilla seca (imbibición) y termina cuando una parte de ésta (eje embrionario en dicotiledóneas o radícula en monocotiledóneas y gimnospermas) atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) (Azcón-Bieto y Talón 2003).

### **2.6.1 Dinámica de la germinación**

Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas (Chong *et al.* 2002) y en el proceso de la germinación comprende tres etapas sucesivas que superponen parcialmente absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y ruptura final de la testa; inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión, crecimiento y división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. En la mayoría de las semillas, el agua penetra inicialmente por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula (Koornneef *et al.* 2002). La imbibición es la toma de agua por parte de la semilla seca, sin importar si ésta se encuentra viable o no, y la emergencia es el proceso por el cual el eje embrionario en especies dicotiledóneas o radícula en monocotiledóneas crece, se extiende y atraviesa las estructuras que lo rodean (Azcón-Bieto y Talón 2003).

La primer etapa dura 12 horas, se produce una rápida absorción de agua por la semilla, le sigue un período de reposo de unas 40 horas durante el cual no se observa ningún cambio en la anatomía, ni en la actividad metabólica de la misma y posteriormente la semilla comienza a absorber agua de nuevo, iniciándose la etapa de crecimiento asociado con la emergencia de la radícula (Bewley y Black 1982).

### **2.6.2 Factores del proceso de germinación**

La calidad de las semillas es un factor importante para el proceso de germinación al depender significativamente del grado de maduración que tengan estas en el momento de la colecta de los frutos, del proceso de obtención y de un manejo posterior (Welbaum *et al.* 1998). Dentro de los factores abióticos que controlan la germinación la luz (Vázquez-Hernández *et al.* 1990; Baskin y Baskin 1998; Kyereh *et al.* 1999; Pons 2000; Daws *et al.* 2002) y la temperatura (Bell *et al.* 1995; Baskin y Baskin 1998; Probert 2000) aparecen como dos de los más relevantes, aunque su importancia relativa podría depender del ecosistema.

## **2.7. Vigor**

En la industria de las semillas el porcentaje de germinación, es el parámetro más importante para evaluar los lotes de producción de semilla, ya que este valor es utilizado para la certificación y comercialización del producto como punto de referencia de la calidad del lote en cuestión. Las pruebas de germinación se hacen normalmente bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, motivo por el cual muchas veces los resultados de estas pruebas no corresponden a los resultados obtenidos en campo; de esta forma, se ha optado por implementar paralelamente a la germinación, pruebas de vigor para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica de un lote de semillas (Martínez-Solís *et al.* 2010).

El vigor representa “la suma de las propiedades que determinan la actividad y desempeño de los lotes de semillas para una germinación aceptable en un amplio rango de ambientes” (ISTA 2017).

Las pruebas de vigor se han utilizado principalmente para identificar diferencias asociadas al rendimiento de la semilla durante almacenamiento o después de la siembra, tratando de resaltar más lotes eficientes para el establecimiento del stand bajo amplia variación de las condiciones ambientales (Marcos-Filho *et al.* 2009).

Existen diversas técnicas para determinar su evaluación, incluidas aquellas que evalúan directa o indirectamente el estado metabólico actual de la semilla para establecer una relación con la emergencia y almacenabilidad de las plántulas; esas pruebas incluyen (i) conductividad eléctrica, (ii) tetrazolio y (iii) pruebas que evalúan el crecimiento de las plántulas. Por el contrario, algunas pruebas se realizan con el objetivo de identificar la tolerancia de la semilla al estrés (s); las pruebas de estrés más importantes comprenden la prueba en frío, el envejecimiento acelerado y el deterioro controlado (Marcos-Filho 2015).

### **2.7.1. Prueba de conductividad eléctrica**

El test de conductividad eléctrica (CE) evalúa el grado de daño en las membranas celulares como resultado del deterioro de las semillas (ISTA 2017).

Marcos *et al.* (1987, citados por Soto y Valiengo, 2011) mencionan que la prueba de conductividad eléctrica evalúa indirectamente el grado de estructuración 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. Las semillas se sumergen en un determinado volumen de agua, bajo temperatura controlada durante un periodo de tiempo determinado. Como consecuencia de una menor estructura y selectividad de las membranas celulares, las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados.

### **2.7.2. Prueba de tetrazolio**

El tetrazolio es una prueba rápida para estimar la viabilidad y el vigor de la semilla basada en las alteraciones del color de los tejidos vivos de la semilla en contacto con una solución de cloruro de 2,3,5 trifenil tetrazolio, reflejando así el grado de actividad del sistema enzimático deshidrogenasa estrechamente relacionado con la respiración de la semilla y viabilidad (Marcos- Filho 2015).

### **2.7.3. Prueba de crecimiento de plántula**

La prueba se basa en que las semillas vigorosas son capaces de sintetizar más eficientemente nuevos materiales nutritivos y transferir rápidamente estos nuevos productos al eje embrionario en crecimiento, resultando en acumulaciones de peso seco. Siendo la tasa de crecimiento el estándar que se relaciona con los procesos bioquímicos que intervienen en el vigor. Esto permite correlacionar la tasa de crecimiento con el desarrollo vegetativo en campo, lo que hace posible observar efectos de deterioro rápido, algunos períodos de almacenamiento y diferencias genéticas sobre el vigor (Copeland y McDonald 1985).

### **2.7.4. Índice de velocidad de emergencia y emergencia total de plántulas**

Se obtiene a través del conteo diario de las plántulas emergidas a partir de la siembra, tomando como plántulas emergidas a las que sobresalgan del sustrato. El índice de

velocidad de emergencia IVE se calcula mediante la expresión propuesta por Maguire (1962, citado por García-López *et al*, 2014).

$$IVE = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVE = índice de velocidad de emergencia;  $X_i$  = Número de plántulas emergidas por día;  $N_i$  = Número de días después de la siembra;  $n$  = Número de conteos 1, 2, ...,  $n$  conteos

Se puede obtener el porcentaje total de emergencia (ET), el cual consiste en contabilizar cada una de las plántulas emergidas hasta el último día de la evaluación y el resultado se obtiene dividiendo el número total de plántulas emergidas, entre el número total de semillas sembradas y se multiplica por cien (García-López *et al*. 2014).

### **2.7.5. Prueba de frío**

El procedimiento tiene como objetivo evaluar la respuesta de muestras de semillas sometidas a una combinación de baja temperatura, alto contenido de agua del sustrato y, si es posible, presencia de patógenos. Estas condiciones contribuyen a reducir la velocidad y el porcentaje de germinación o emergencia de las plántulas, según el procedimiento adoptado para realizar la prueba. En consecuencia, el vigor de un lote de semillas es proporcional al grado de supervivencia de las semillas cuando se expone a un entorno tan desfavorable (Marcos-Filho 2015).

### **2.7.6. Prueba de envejecimiento acelerado**

La prueba de envejecimiento acelerado proporciona información valiosa sobre el almacenamiento y el potencial de emergencia de las plántulas en el campo. Las semillas se hidratan a un nivel específico cuando se exponen a temperaturas relativamente altas (40 a 45°C, generalmente 41°C) y humedad (alrededor del 100% de humedad relativa).

Después de este tratamiento de envejecimiento, las semillas se someten a una prueba de germinación y superior. Los lotes de semillas de vigor toleran mejor esta condición de envejecimiento que los lotes de semillas de menor vigor y producen un mayor porcentaje de plántulas normales (Baalbaki *et al.* 2009).

La prueba de envejecimiento acelerado se realiza a 41°C porque es la temperatura máxima tolerada por las proteínas hidratadas. Las temperaturas más altas en lugar de causar estrés pueden promover la desnaturalización de las proteínas y la muerte de las semillas, por lo que el uso de temperaturas entre 43°C y 45°C para el envejecimiento de las semillas suele provocar una inactivación metabólica completa, especialmente en semillas menos vigorosas de algunas especies (Marcos-Filho 2015).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material vegetal (tratamientos experimentales)**

Se estudiaron 27 accesiones de tomates nativos colectados en seis estados del país: Estado de México, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Yucatán, más una variedad comercial usada como testigo (Cuadro 1). Los materiales vegetales correspondientes a los tomates nativos son parte de la colección del proyecto “Valoración Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate Mexicano” que resguarda el Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Posgraduados-Campus Montecillo.

#### **3.2. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones de cada colecta, y cada repetición constó de cuatro plantas. La aleatorización para el acomodo de macetas por tratamientos se hizo en el programa R.

#### **3.3. Localización del experimento**

El trabajo experimental se realizó en el invernadero tipo túnel de Fisiotecnia Vegetal del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Edo de México. Ubicado a 19° 27' 51" latitud norte, 98° 54' 15" longitud oeste, y altitud de 2250 msnm.

#### **3.4. Manejo agronómico del cultivo**

##### **3.3.1. Siembra y trasplante**

Desde la siembra, los 28 tomates estudiados crecieron en un invernadero tipo túnel, con ventila cenital y cubierta de polietileno blanco lechoso. Se sembraron 20 semillas de cada colecta, las cuales se desinfectaron con Captan® (5 g L<sup>-1</sup>) y se sometieron a un tratamiento pregerminativo en caja petri con nitrato de potasio al 0.2% (2 g L<sup>-1</sup> de agua) durante 48 h. Una vez que emergió la radícula, las plántulas se colocaron en charola de poliestireno de 128 cavidades (vol. 46 mL), rellenas con turba orgánica (Peet moss Kekkilâ®) como sustrato. Las charolas se colocaron en cuarto oscuro durante tres días,

y posteriormente se pasaron al invernadero. La plántula fue regada con solución Steiner (1984) al 25 % a partir de la aparición de la primera hoja verdadera.

Cuadro 1. Tipo de fruto de colectas evaluadas, número de accesión y estado de origen del material vegetal.

| Número | Tipo de fruto | Número de accesión | Edo. de origen     |
|--------|---------------|--------------------|--------------------|
| 1      | Silvestre     | 40                 | Puebla             |
| 2      |               | 31                 | Chiapas            |
| 3      |               | 107**              | Puebla             |
| 4      |               | 123**              | Puebla             |
| 5      |               | 109**              | Puebla             |
| 6      |               | 300****            | Guerrero           |
| 7      | Ojo de venado | 94***              | Puebla             |
| 8      |               | 112*               | Puebla             |
| 9      |               | 90***              | Puebla             |
| 10     |               | 367****            | Veracruz           |
| 11     | Cherry        | 92a                | Estado de México   |
| 12     |               | 92r                | Estado de México   |
| 13     | Pera          | 55                 | Puebla             |
| 14     | Riñón         | 100***             | Puebla             |
| 15     |               | 102**              | Puebla             |
| 16     |               | 122**              | Puebla             |
| 17     |               | 119**              | Puebla             |
| 18     |               | 130                | Oaxaca             |
| 19     | Calabaza      | 131                | Oaxaca             |
| 20     |               | 83***              | Guerrero           |
| 21     |               | 63                 | Yucatán            |
| 22     | Pimiento      | 56***              | Puebla             |
| 23     |               | 36                 | Veracruz           |
| 24     |               | 105**              | Puebla             |
| 25     |               | 78***              | Guerrero           |
| 26     | Bola plana    | 26                 | Yucatán            |
| 27     |               | 64                 | Yucatán            |
| 28     | Saladette     | Rio Grande         | Variedad comercial |

\* Materiales identificados como alternativa para usarse como portainjertos contra estrés salino (Sanjuan-Lara, 2013), \*\* Familias derivadas de poblaciones nativas originadas de plántulas sobrevivientes a una helada (Gervacio-Canales, 2017), \*\*\* Materiales con tolerancia a bajas temperaturas (Ramírez-Villa, 2018), \*\*\*\* Materiales que sobrevivieron a exposición de temperaturas congelantes de -8 °C (Javier-Espinosa, 2016).

El trasplante a macetas se realizó a los 36 días después de siembra (34 días después de la protrusión de la radícula) en macetas de polietileno de 40 x 40 cm (~10 L de volumen) rellenas con tezontle con dimensiones  $\leq 9$  mm. Se colocó una planta por

maceta y se proveyó de agua y nutrientes mediante riego por goteo (fertirriego). La densidad utilizada fue de 4.6 plantas m<sup>-2</sup> de invernadero, con distancia de 40 cm entre macetas y 1.1 m entre dobles hileras.

### **3.3.2. Fertirriego**

El equipo utilizado fue un tanque con capacidad de 1000 L para preparación de la solución nutritiva Steiner, una bomba Siemens de 0.5 caballos de fuerza (HP), manguera de riego de 16 mm, tubin de 5 mm, goteros autocompensables de 8 L h<sup>-1</sup>, distribuidor de 4 salidas por gotero, una piqueta por maceta y un temporizador marca Steren para el control del tiempo de riego.

La solución nutritiva utilizada durante todo el ciclo del cultivo fue Steiner (1984) a un pH de 5.5. La programación de riegos se hizo con dosis iniciales de 250 mL diarios de solución nutritiva por planta hasta la aparición del tercer racimo, y posteriormente se aumentó a 1.5 L por planta; estas cantidades fueron distribuidas durante el día de acuerdo al pronóstico del clima.

### **3.3.3. Labores agronómicas**

El manejo agronómico se basó en tutoreo a un solo tallo, más eliminación periódica de brotes axilares y de hojas senescentes. Para asegurar la polinización en ausencia de abejas, la rafia que sostenía los tallos se sacudió diariamente durante el periodo de floración a las 10 h, cuando el polen se podía desprender fácilmente.

La cosecha de frutos se realizó cuando éstos iban alcanzando la madurez de consumo, al lograr un color rojo intenso. De los frutos cosechados se extrajo la semilla para llevar a cabo los estudios de calidad de semilla.

### **3.3.4. Control fitosanitario**

A partir de los 106 días después de trasplante se presentó incidencia de la plaga llamada mosquita blanca, que se controló mediante aplicación del insecticida Movento® 150 O-Teq (i. a. Spirotetramat 15%, Bayer® CropScience) a dosis de 1.5 mL L<sup>-1</sup>, dos aplicaciones con intervalo de 12 días.

De enfermedades hubo presencia y dispersión de cenicilla (*Leveillula taurica*), la cual fue controlada con el fungicida Rally® 40W (i. a. Myclobutanil 40%, Dow Agrosiencas) a dosis de 0.62 g L<sup>-1</sup> de agua, se realizaron 2 aplicaciones con intervalo de 7 días.

### 3.3.5. Condiciones ambientales

La temperatura del aire (°C) se registró con un sensor Hobo Onset®, programado para tomar la medida cada 15 minutos y se sacó el promedio de la temperatura por día.

Durante cosecha (septiembre 2019-enero 2020) la temperatura promedio fue de 16.3±0.2°C, con variación de 8.9 a las 7 horas a 26.3 °C entre 14 y 16 horas (Figura 1). Las temperaturas mínimas diarias oscilaron entre 1.6 y 15.2°C (promedio 8.4±0.3°C), en tanto que las máximas oscilaron entre 22.2 y 39.9°C (promedio 29.2±.3°C) (Figura 2).

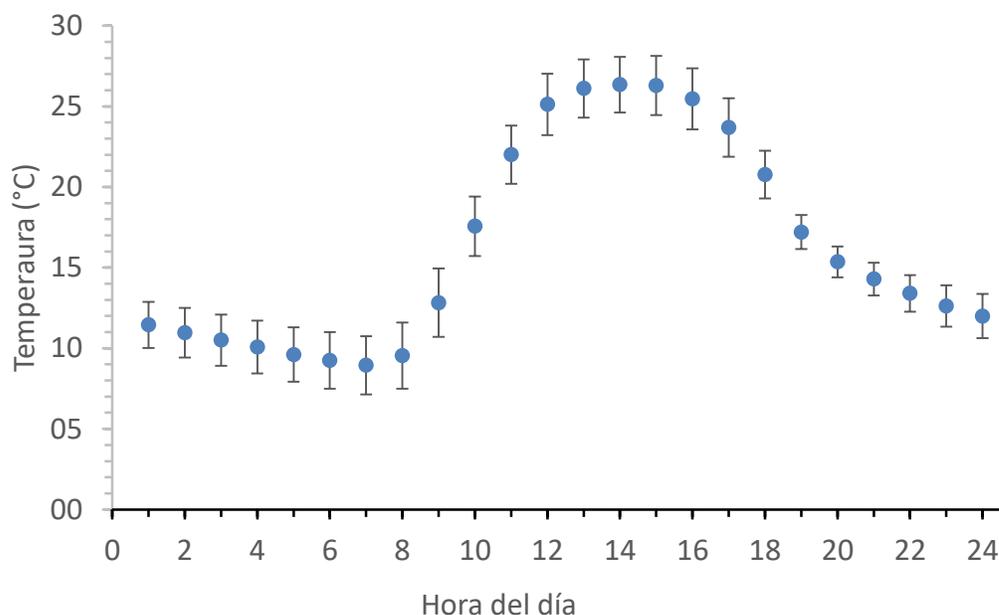


Figura 1. Comportamiento de la temperatura en 24 horas durante cosecha.

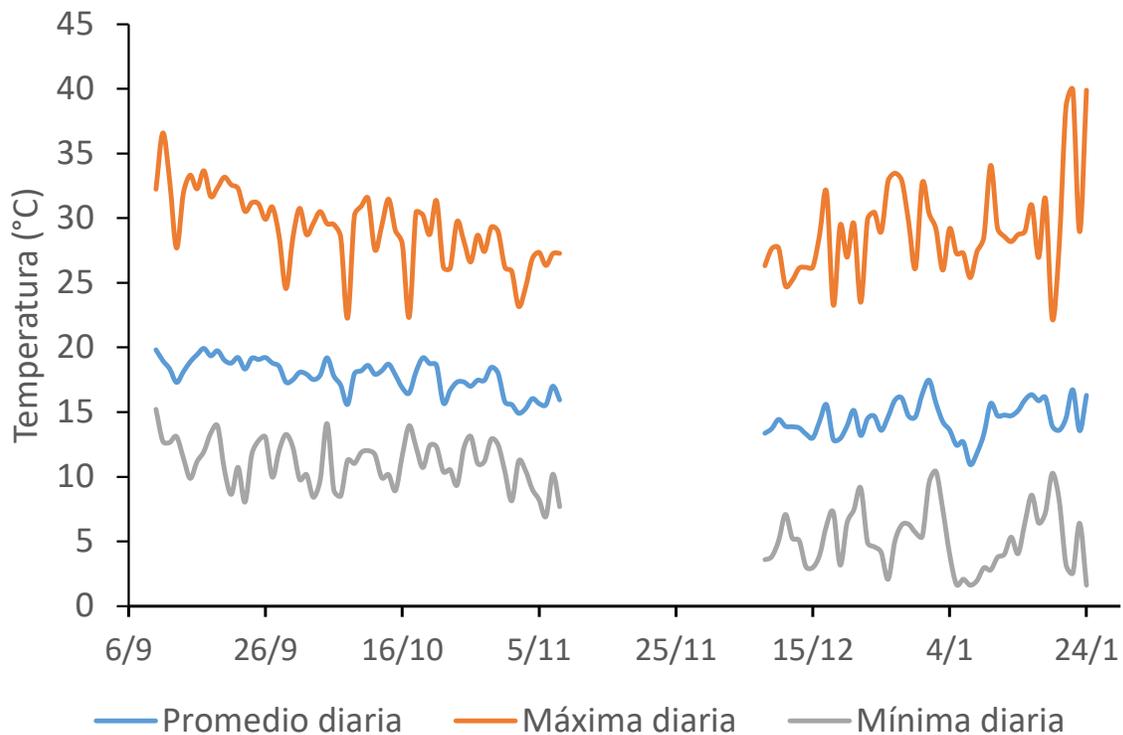


Figura 2. Comportamiento de temperatura promedio, mínima y máxima durante cosecha.

\* Nota: del 9 de noviembre al 8 de diciembre falló el sensor de temperatura.

### 3.4. Comportamiento agronómico

Se evaluó el comportamiento agronómico y el rendimiento de semilla de 27 colectas nativas y una variedad comercial como testigo (Cuadro 1). Cada accesión y la variedad comercial se consideró un tratamiento. Las variables agronómicas evaluadas fueron:

Altura de planta (cm). La altura de planta se midió con un flexómetro marca Truper desde el nudo cotiledonar de la planta hasta la inserción del octavo racimo.

Diámetro de tallo (mm). Se tomó la medida con un vernier digital, marca Truper a 10 cm arriba del nudo cotiledonar.

Materia vegetativa seca total y su distribución (g). Cada planta fue extraída de su maceta y disecada en raíz, tallo y hojas. Aquí no se consideró el peso del fruto. Las muestras se secaron en un horno de secado marca Riossa (modelo HCF D-82) por 72 h a 70 °C y fueron pesadas en báscula digital Sartorius 1475 MP8-2.

Rendimiento de fruto por planta (g). El rendimiento de fruto por repetición se obtuvo para del conjunto de plantas cosechadas en cada corte de tomate maduro completamente rojo: el dato por repetición, el total se dividió entre el número de plantas en cada repetición y se reportó como rendimiento de frutos por planta. Para el registro del peso se utilizó una báscula digital Noval Th I Ek.

Peso individual de fruto (g). El peso individual se obtuvo a dividir del peso registrado por repetición entre el número de frutos cosechados.

### **3.4.2 Diseño experimental para variables agronómicas**

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, se utilizaron cuatro plantas de cada colecta para las variables altura de planta, diámetro de tallo y distribución de materia seca total, y tres repeticiones para rendimiento de fruto por planta y peso individual de fruto.

### **3.5. Rendimiento y calidad de fruto**

La calidad de fruto se evaluó en el laboratorio de Poscosecha del Colegio de Posgraduados, en frutos de cada colecta cosechados al azar del experimento en invernadero.

Las variables evaluadas fueron:

Firmeza (N). La firmeza (resistencia a la penetración) fue obtenida con un penetrómetro MODEL FDV-30, se hizo en dos puntos extremos del eje ecuatorial en cada fruto. Índice de redondez. Se tomó la medida de diámetro ecuatorial y polar a cada fruto, con un vernier digital marca Truper. Con los datos obtenidos de diámetro se calculó el índice de redondez, el cual define la forma del fruto, y corresponde a la relación entre el diámetro ecuatorial y diámetro polar.

$$IR = \frac{Dp}{De}$$

Donde: IR = índice de redondez, Dp = diámetro polar, De = diámetro ecuatorial.

Sólidos solubles totales (°Brix). Los sólidos solubles se midieron en el jugo de frutos molidos, con un refractómetro digital tipo paleta ATAGO: PR-32  $\alpha$ .

Luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz. Se obtuvieron mediante un colorímetro (MiniScan AZ 4500 L C/Sotware espectrofotométrico), que proporciona los valores de color mediante la escala CIELAB. Las mediciones se hicieron en dos puntos de la epidermis del fruto en la zona ecuatorial. El equipo proporciona valores de L\*, a\* y b\*; donde: L\* representa la variación de brillantez o luminosidad; a\* denota las tonalidades de verde a rojo; y b\* los tonos de azul a amarillo. Posteriormente, con los valores de a\* y b\* se calculó el ángulo de matiz [ $H^\circ = \arctan(b^*/a^*)$ ] y el índice de saturación de color o cromaticidad [ $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ] (McGuire, 1992).

### **3.5.1. Diseño experimental para variables de rendimiento y calidad de fruto**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 10 repeticiones para firmeza, índice redondez y las variables pertenecientes a color, y 3 repeticiones para grados brix, un fruto se consideró una repetición.

### **3.6. Rendimiento y calidad de semilla**

Para extraer la semilla de los frutos cosechados en estado maduro por cada repetición, cada fruto se partió por la mitad y se retiró la semilla con una cuchara. Esta semilla fue colocada en bolsa de plástico para dejarla fermentar por 48 h y facilitar el lavado del mucilago con agua corriente. Fueron cosechados 8 racimos en la mayoría de las colectas, y la semilla obtenida se expuso a temperatura ambiente para secarla, y posteriormente se guardó en bolsas de plástico Ziploc® etiquetadas y se resguardaron en cuarto refrigerado a 5 °C.

La evaluación de calidad de semilla se realizó en el Laboratorio de Fisiotecnia, para variables de calidad física, mientras que la evaluación de la calidad fisiológica se realizó

en el Laboratorio de Semillas, ambos laboratorios pertenecientes al Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos. Las variables evaluadas fueron:

Rendimiento de semilla por planta (g). Se midió el peso total de semilla (a los nueve meses de estar resguardada) de cada repetición en campo, en una balanza analítica Sartorius Handy. Para calcular el rendimiento por planta, el total de semilla obtenido (g) por repetición se dividió entre el número de plantas que la conformaron.

Peso volumétrico aparente ( $\text{kg hL}^{-1}$ ). Se midió en la semilla total obtenida en cada repetición, con una probeta de 10 mL. Posteriormente se hizo la conversión a  $\text{kg hL}^{-1}$ .

Área, peso de 1000 semillas y número de semillas por fruto. Tres muestras de semilla de ~0.5 g, extraídas del cuarto racimo de cada colecta, fueron esparcidas en la cama de un escáner, evitando contacto entre las semillas, para la obtención de una imagen (Figura 3A) que posteriormente fue analizada con el programa de procesamiento digital ImageJ (Schneider *et al.* 2012) para la obtención del área individual y el número de semillas por muestra (Figura 3B). Con estos datos se calculó el peso de mil semillas y el número de semillas por fruto (lo que permitió obtener el número de semillas producidas por fruto en los 8 racimos cosechados); este último se obtuvo al dividir el total de semilla obtenida entre el número de frutos cosechados.

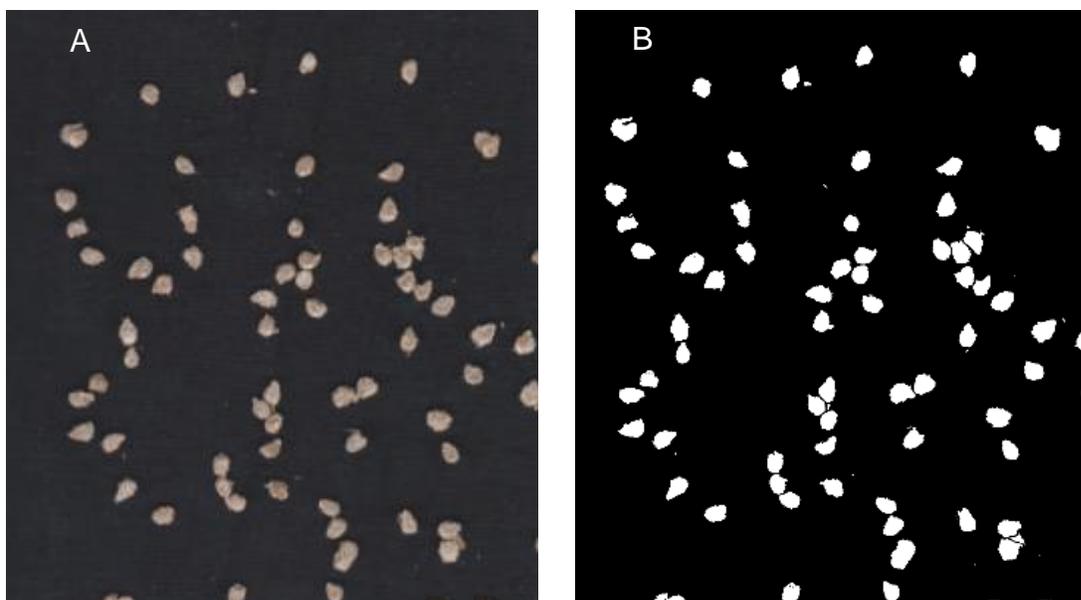


Figura 3. Imagen digitalizada de semillas (A) y convertida a formato binario (B).

Prueba de germinación. Las semillas fueron previamente desinfectadas con cloro (Cloralex®) a una concentración de 2% del producto comercial (20 mL en 1 L de agua) durante 15 segundos. Las semillas tratadas se sembraron sobre toallas de papel 'sanitas' y en cajas de plástico tipo "sandwichera" de 13 x 12 x 7 cm (largo x ancho x altura). Las cajas fueron colocadas en una cámara de germinación (Low Temp, Incubador modelo IL-21A) a temperatura constante de 24 °C con 16 h de luz y 8 horas de oscuridad.

Velocidad de emergencia de la radícula. En la prueba de germinación se contó diariamente el número de radículas emergidas para calcular velocidad de emergencia de la radícula. Se utilizó 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 número de radículas por día;  $X_i$ = 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.

Peso seco de la plántula. Tras la prueba de germinación y transcurridos 16 días después de siembra, las plántulas fueron colocadas en horno de secado marca Riossa (modelo HCF D-82) por 48 h a 70 °C, y su peso se midió con una balanza analítica Sartorius Handy.

Porcentaje de germinación e índice de velocidad de radícula después de prueba de envejecimiento acelerado. Las semillas se sometieron a temperatura de 42 °C y humedad relativa de 100 % durante 72 h en la misma cámara utilizada en la prueba estándar de germinación, las semillas fueron colocadas en recipientes de plástico con tapa hermética que contenían 150 mL de agua destilada y una malla ubicada encima del nivel del agua como medio de soporte de las semillas

Después de ser sometidas a envejecimiento acelerado, las semillas se desinfectaron y se sembraron en las mismas condiciones de la prueba estándar de germinación.

Se contó cada 48 horas el número de radículas emergidas para calcular la velocidad de emergencia de la radícula con la fórmula de Maguire (1962) y se obtuvo el porcentaje de germinación final.

### **3.6.1. Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, para las variables rendimiento de semilla por planta y las registradas en las pruebas físicas de calidad, se utilizaron tres repeticiones correspondientes a las mismas repeticiones que se tenían en la etapa de producción de planta y de semilla en invernadero. Para las pruebas fisiológicas se utilizaron 4 repeticiones con 25 semillas en cada una, las semillas utilizadas se tomaron a partir de una muestra compuesta de las repeticiones en campo.

### **3.7. Análisis de resultados**

Los análisis de varianza de cada variable evaluada se hicieron con el programa estadístico R, así como las respectivas pruebas para la comparación de medias mediante Tukey ( $p < 0.05$ ). Con el mismo programa estadístico se hizo además un análisis de correlación simple entre las variables agronómicas y calidad de semilla, mediante el coeficiente de correlación Spearman porque son variables que no cumplen con normalidad. Además, con el programa Primer v7 se realizó un análisis de componentes principales para determinar patrones de agrupación entre las poblaciones y un dendograma para clasificar las colectas por similitud.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Descripción agronómica

Los principales descriptores estadísticos de las variables agronómicas medidas evaluadas se observan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Descriptores estadísticos de variables agronómicas de 27 colectas de poblaciones nativas de tomate y una variedad comercial.

| Variable                        | Valor P      | Media | DHS    | DE   | CV (%) | n   | Min. | Max.  |
|---------------------------------|--------------|-------|--------|------|--------|-----|------|-------|
| Altura (cm)                     | 2e-16 ***    | 182   | 56.5   | 25   | 14     | 164 | 90   | 307   |
| Diámetro basal (mm)             | 1.15e-10 *** | 15.9  | 5.3    | 2.4  | 15.0   | 164 | 7.9  | 26.2  |
| Materia seca total (g)          | 3.5e-09 ***  | 285.6 | 152.8  | 55.6 | 19     | 110 | 139  | 567.7 |
| Rendimiento de fruto (g/planta) | <2e-16 ***   | 1835  | 1781.4 | 550  | 29.9   | 82  | 42   | 6227  |
| Peso de fruto (g)               | <2e-16 ***   | 43.9  | 24.8   | 7.6  | 17.4   | 82  | 2.6  | 167.7 |

\*\*\* =  $P < 0,001$ , DHS= Diferencia honesta significativa, DE= desviación estándar, CV= coeficiente de variación, n= número de repeticiones, Min= valor mínimo y Max= valor máximo

#### 4.1.1. Altura de planta

Los materiales evaluados presentaron igual o mayor altura que el híbrido comercial (Figura 4), la colecta 26 obtuvo mayor altura fue con un valor de 273.1 cm. No se encontró diferencia estadística entre las colectas cuyo fruto son de tipo silvestre, cuya altura varía entre 135 y 154 cm. La colecta 367 del tipo ojo de venado, todos los tomates tipo riñón, las colectas 83 y 63 de fruto tipo calabaza, la colecta 64 (bola plana) y el testigo Río Grande, presentaron los valores de altura más bajos entre un rango de 124 y 179 cm, sugiriendo menor distancia entre racimos y facilitando el manejo de tutoreo, pues plantas compactas puede considerarse un rasgo agronómico deseable en el manejo de un cultivo

(Sun *et al.* 2020), principalmente en cultivos con crecimiento indeterminado y en invernadero, lo cual puede reducir mano de obra en el manejo (Juárez-López *et al.* 2012). De acuerdo con Carrillo y Chávez (2010) la variable altura de planta puede ser importante porque el correcto conocimiento del proceso de crecimiento de un cultivo en un determinado ambiente representa una ventaja para su manejo agronómico. Las colectas con mayor altura fueron la 55 (de fruto tipo pera), 105 y 78 (de fruto tipo pimiento), y 26 (de fruto tipo bola plana) con valores de 211 a 273 cm y por lo tanto mayor distancia entre racimos florales.

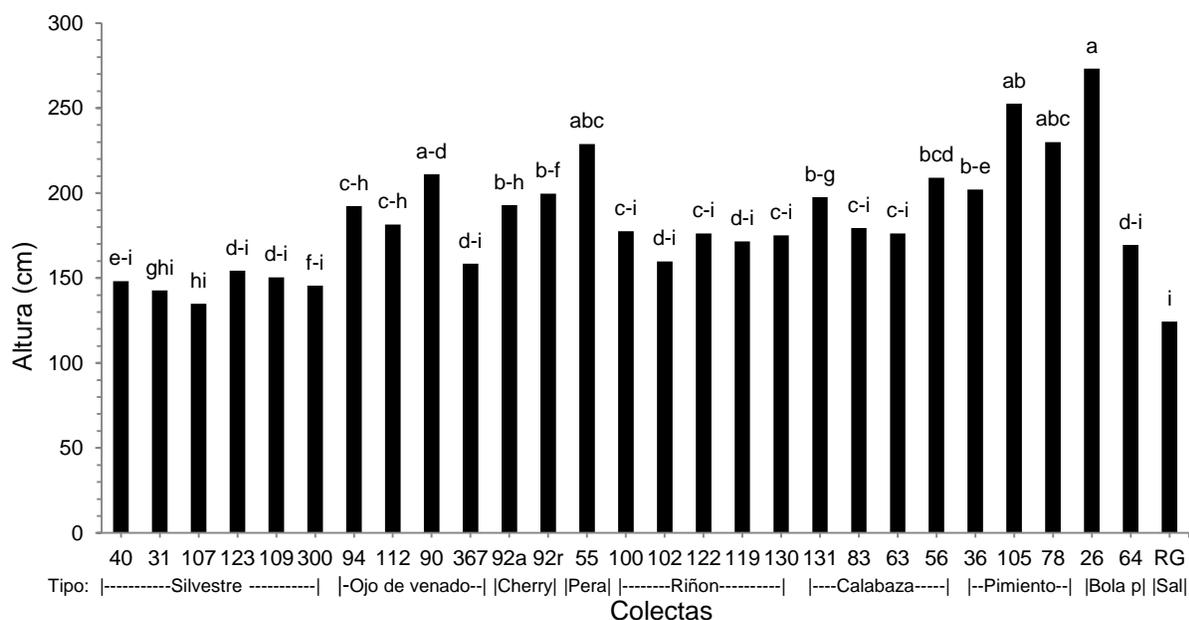


Figura 4. Comparación de medias de altura de planta de 27 colectas nativas y una variedad comercial. Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### 4.1.2. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo (Figura 5) entre las colectas clasificadas en cada tipo de tomate (silvestre, ojo de venado, cherry, riñón, calabaza, pimiento y bola plana) fue estadísticamente igual. Los valores más altos de esta variable se encontraron en un

intervalo de 14.5 a 19.7, intervalo correspondiente a 22 colectas, las cuales son 31, 107 y 123 de fruto tipo silvestre; 94, 90 y 367 de fruto tipo ojo de venado, 55 de fruto tipo pera, todas las colectas con fruto tipo riñón, las colectas del fruto tipo calabaza, las pertenecientes al fruto tipo pimiento y las de fruto tipo bola (26 y 64). Las colectas con fruto tipo pimiento y arriñonado son considerados como colectas de diámetro con valor superior a genotipos comerciales (Bonilla-Barrientos *et al.* 2014). Un diámetro de tallo es un buen indicador de vigor, al reflejar la acumulación de fotosintatos, los cuales posteriormente pueden traslocarse a los sitios de demanda (Liptay *et al.* 1981).

El testigo se encontró en el grupo con menor diámetro con 10.5 mm, por lo que el 81% del total de colectas de plantas de tomate nativo evaluadas presentan un mayor diámetro que la variedad comercial Rio Grande, resultado que difiere de Juárez *et al.* (2012) donde el testigo, un híbrido comercial H-790 presentó el mayor grosor con 18.1 mm en comparación con los genotipos evaluados, cabe mencionar que colectas de este trabajo presentaron valores similares al híbrido comercial mencionado.

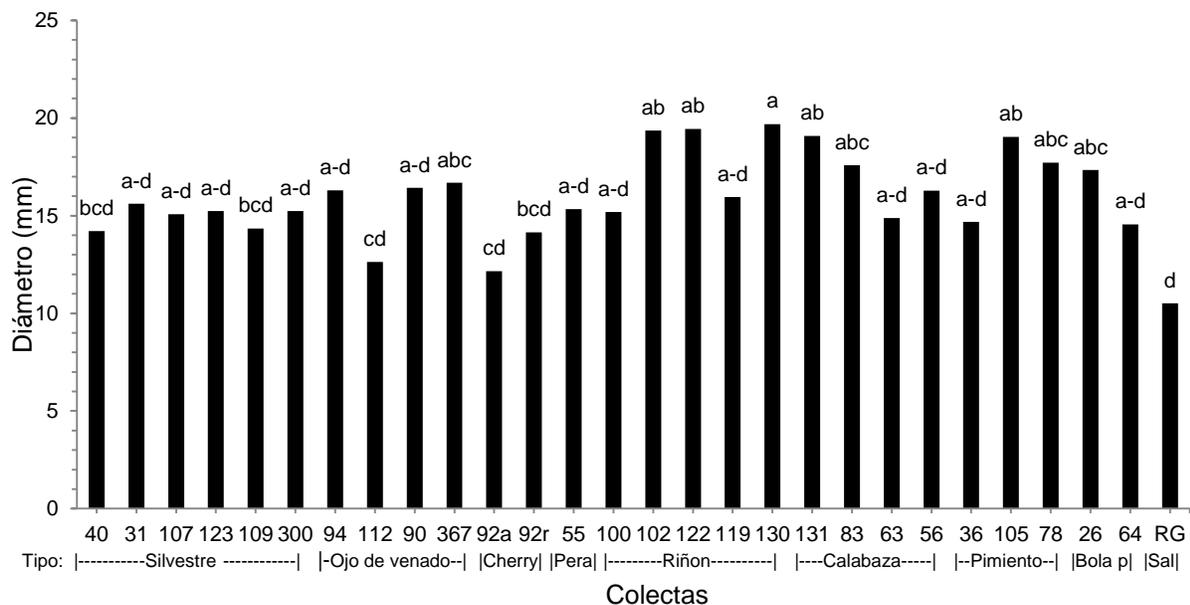


Figura 5. Comparación de medias de diámetro de tallo de 27 colectas nativas y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

Todos los tipos de tomate evaluados se encontraron en un rango de 12.16 a 19.69 mm, siendo estos valores superiores a los reportados por Carrillo y Chávez (2010) para tomates nativos donde los tallos presentaron un promedio de 10 mm de diámetro.

#### **4.1.3. Materia seca y su distribución**

Las colectas con mayor peso seco total fueron las colectas 300 (con fruto tipo silvestre); 94, 112, 90, 367 (tipo ojo de venado), 92 color rojo (tipo cherry), 55 (tipo pera), 100, 119 y 130 (tipo riñón), 131, 83 y 56 (tipo calabaza), 36, 105, 78 (tipo pimiento) y 26 (tipo bola plana), su rango de peso fue de 265.4 a 407.2 g (Figura 6).

El tipo bola plana fue el único tipo de tomate que tiene diferencia estadística entre las colectas que lo conforman, por ejemplo la colecta 26 tiene el doble de materia seca que la colecta 64, teniendo 388.45 y 183.80 g respectivamente.

El testigo se encuentra en los valores más bajos de materia seca con 196.20 g, su valor estuvo por debajo de los 397.9 g por planta encontrado por Fayad *et al.* (2001) para cultivares comerciales en condiciones de agricultura protegida.

Los flujos diferenciales de fotoasimilados dan como resultado patrones de distribución de materia seca entre los órganos de las plantas y en las primeras etapas de crecimiento hay producción de biomasa en los órganos en el orden de hojas>tallo>fruto>raíz, posteriormente a los 112 días (etapa productiva) el orden es fruto>tallo>hoja>raíz en genotipos comerciales (Gandica y Peña 2015). En el presente trabajo no se tomó peso seco de fruto y el orden de etapa productiva fue hoja>tallo>raíz, esto orden debido a que la toma de materia seca se llevó a cabo a los 200 días después de trasplante y no a los 112 días en inicios de etapa reproductiva y al estar en fase de senescencia se produce una exportación masiva de carbono de la hoja, que va acompañada por un descenso gradual de la actividad fotosintética (Dale y Milthorpe 1983; mencionado por Gálvez 2005).

Las raíces forman, frecuentemente, una pequeña fracción de la materia seca total de los cultivos desarrollados bajo invernadero (Marcelis y De Koning 1995 mencionado por Gálvez 2005). En el caso del tomate, la fracción de materia seca destinada a las raíces

varía entre un 17% y un 20% en el estadio inicial; y entre un 1% y un 10% en el estadio generativo (Ehret y Ho, 1986 mencionado por Gálvez, 2005). Las colectas que sobresalen por destinar un mayor porcentaje de biomasa a raíz fueron la colecta 300 (de fruto tipo silvestre) con 11.7% de su total, la colecta 94 (de fruto tipo ojo de venado) con 11.15 %, la colecta 100 (fruto tipo riñón) con 10.76% y la colecta 56 (fruto tipo calabaza) con 10.6%, estas diferencias de raíces respecto a las demás colectas pueden dar lugar a diferencias en la absorción de nutrientes (Genc *et al.* 2007) y podrían ser usadas como porta injertos por proporcionar apoyo físico a la planta con la raíz principal y la producción preferencial de raíces laterales que resulta en un movimiento general del sistema de raíces para la absorción de agua (Malamy and Benfey 1997).

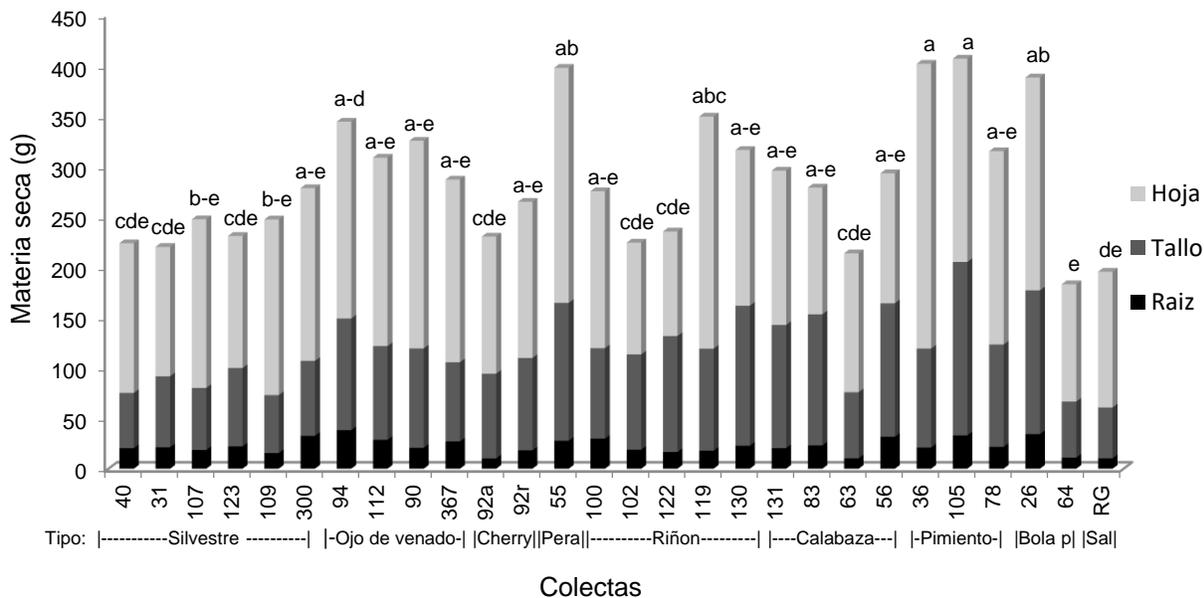


Figura 6. Materia seca total y su distribución en raíz, tallo y hoja de 27 colectas nativas y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

De manera general esta variable presentó una correlación positiva de 0.37 y significativa a peso de fruto (Cuadro 3), pues la materia seca tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo, ya que el rendimiento de éste viene dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha (Gandica y Peña 2015).

Cuadro 3. Correlaciones de variables agronómicas y calidad de semilla de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial.

|       | NFP    | MST         | PV          | AIS         | P1000    | NSF         | PG          | IVER        | PSP         | PGE         | IVERE |
|-------|--------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| PIF   | -0.22* | 0.27*       | 0.48<br>*** | 0.8<br>***  | 0.78 *** | -0.12       | 0.06        | 0.6***      | 0.67<br>*** | 0.16        | 0.47  |
| IVERE | 0.08   | 0.03        | 0.34<br>**  | 0.34<br>**  | 0.33**   | 0.04        | 0.30<br>**  | 0.67<br>*** | 0.32<br>**  | 0.71<br>*** |       |
| PGE   | 0.17   | 0.25*       | 0.30<br>**  | 0.13        | 0.18     | -0.18       | 0.41<br>*** | 0.25*       | 0.20        |             |       |
| PSP   | 0.01   | 0.33<br>**  | 0.52<br>*** | 0.67*<br>** | 0.74***  | 0.37*<br>** | 0.27<br>*   | 0.44<br>*** |             |             |       |
| IVERE | -0.01  | 0.07        | 0.38<br>*** | 0.54*<br>** | 0.5***   | 0.1         | 0.33<br>**  |             |             |             |       |
| PG    | 0.17   | 0.22*       | 0.21*       | 0.17        | 0.17     | -0.31<br>** |             |             |             |             |       |
| NSF   | -0.07  | -0.4<br>*** | -0.24<br>*  | -0.35<br>** | -0.4***  |             |             |             |             |             |       |
| P1000 | -0.08  | 0.37<br>*** | 0.55<br>*** | 0.91<br>*** |          |             |             |             |             |             |       |
| AIS   | -0.13  | 0.38<br>*** | 0.44*<br>** |             |          |             |             |             |             |             |       |
| PV    | 0.1    | 0.20<br>*** |             |             |          |             |             |             |             |             |       |
| MST   | 0.02   |             |             |             |          |             |             |             |             |             |       |

PIF= Peso individual de fruto, NFP= Numero de semillas por fruto, MST=Materia seca total, PV=Peso volumétrico, AIS= Área individual de semilla, P1000= Peso de mil semillas, NSF=Numero de semillas por fruto, PG= Porcentaje de germinación, IVER= Índice de velocidad de emergencia de la radícula, PSP= peso seco de plántula, PGE= Porcentaje de germinación después de la prueba de envejecimiento e IVERE= Índice de velocidad de emergencia de la radícula después de la prueba de envejecimiento. Los asteriscos señalan el nivel de significancia de la prueba: \* = P < 0,05; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001.

#### 4.1.4. Rendimiento de fruto por planta

Los consumidores del mercado de frutas frescas eligen frutas principalmente siguiendo criterios relacionados con el aspecto externo, sin embargo el rendimiento para determinar la capacidad productiva de la planta (Borrego *et al.* 2001), por lo que determinar el rendimiento es relevante. Se observó gran variabilidad en rendimiento de las colectas

evaluadas (Figura 7), sobresaliendo las colectas 92 de fruto tipo cherry de color rojo y las colectas 105 y 78 de fruto tipo pimientito con mayor rendimiento obtenido, todas las colectas de tipo silvestre y ojo de venado se encontraron en las medias más bajas al producir frutos de menor tamaño y peso. La descripción del rendimiento permite estimar el rendimiento a nivel comercial de un tipo de fruto específico.

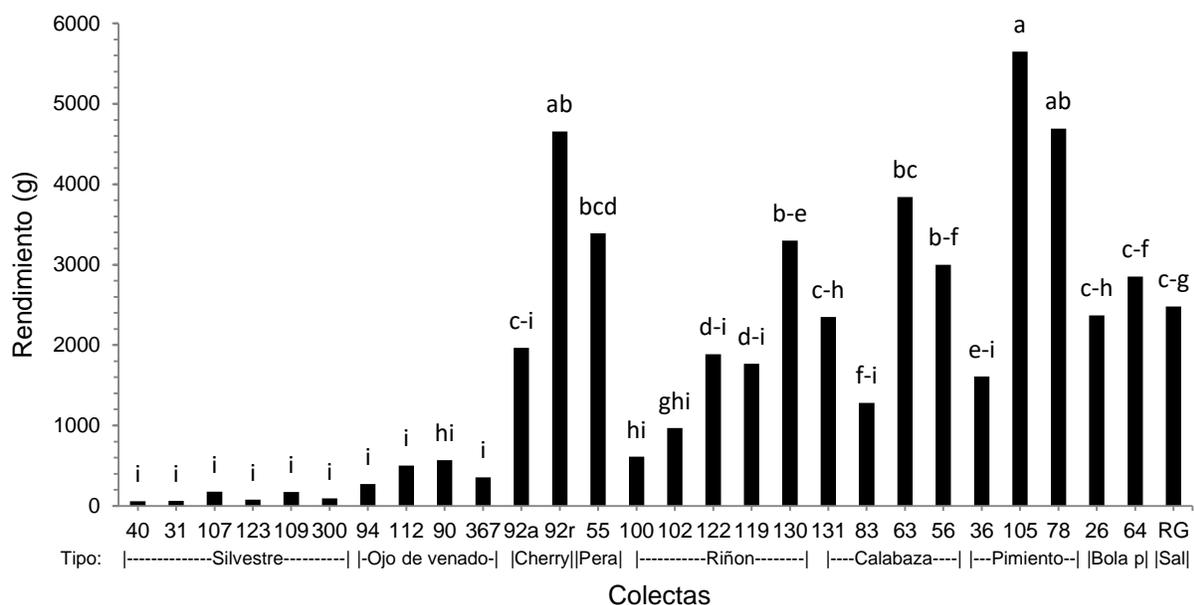


Figura 7. Comparación de promedio de rendimiento de fruto por planta. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### 4.1.5. Peso de fruto

De acuerdo con la literatura, existe una amplia variabilidad en el peso de tomates nativos (Juárez-López *et al.* 2012, Maldonado-Peralta *et al.* 2016), lo cual se confirma en esta investigación (Figura 8). Las colectas con mayor peso de fruto fueron la colecta 26 (fruto tipo bola plana) con 152.76 g y las colectas 105 y 78 (fruto tipo pimientito) con 129.24 y 130.69 g respectivamente. La colecta 55 (de fruto tipo pera) tuvo un promedio de 96.10 g, peso que supera el rango de 28.33 a 31.67 g reportado por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en este tipo de tomate.

Los frutos con menor peso y sin diferencia estadística entre tipo de fruto estuvieron en las colectas de tipo silvestre, ojo de venado, cherry, las 100 y 102 del tipo riñón), y la colecta 36 de tipo pimiento, estas colectas presentaron pesos de fruto en un rango de 2.3 a 26.5 g.

Juárez-López *et al.* (2012) reportan un rango de peso por fruto 3.6 a 51 g de la colecta tomates nativos en condiciones de invernadero e hidroponia, sin embargo, en la presente evaluación el intervalo fue más amplio, de 2.29 g a 152.76 g, mostrando una mayor variabilidad.

Los frutos de tomates tipo cherry con peso de 18.78 g para el color amarillo y 26.60 para el color rojo, se encontraron en el rango de 15 a 40 g, reportados por Córdoba-Novoa *et al.* (2018).

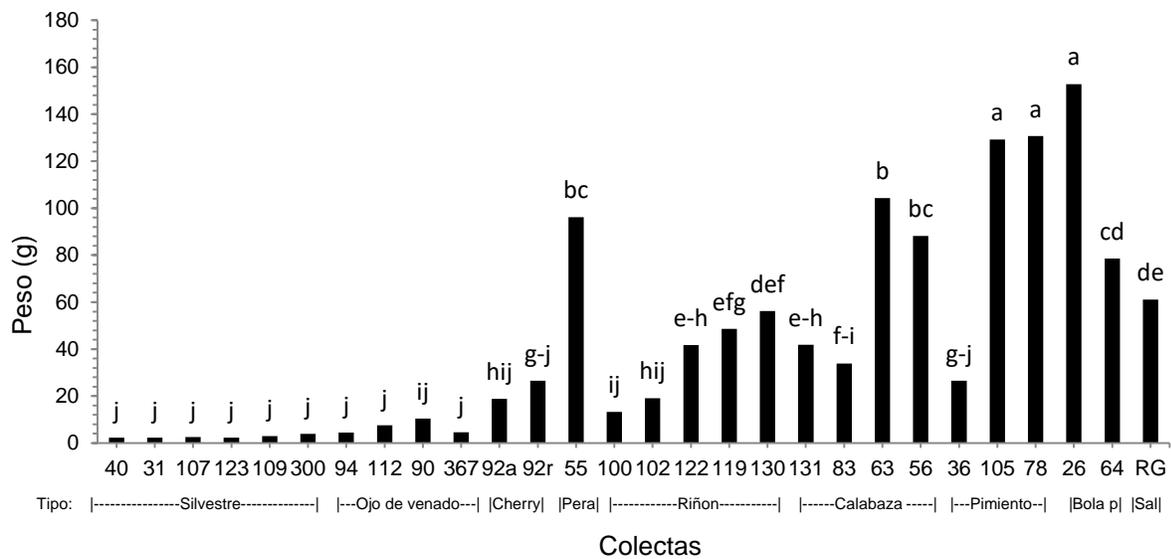


Figura 8. Peso individual de fruto de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

## 4.2. Calidad de fruto

En las variables de calidad se pudo observar variabilidad entre las colectas evaluadas, en el cuadro 3 se muestra las variables evaluadas indicando sus descriptores estadísticos.

Cuadro 4. Descriptores estadísticos de variables de calidad de fruto de 27 colectas de poblaciones nativas de tomate y una variedad comercial.

| Variable           | Valor P    | Media | DH  | DE  | CV (%) | n   | Min  | Max  |
|--------------------|------------|-------|-----|-----|--------|-----|------|------|
| Firmeza (N)        | 2e-16 ***  | 0.2   | 0.1 | 0.1 | 41.0   | 280 | 0.1  | 0.9  |
| Índice de redondez | 2e-16 ***  | 0.8   | 0.1 | 0.1 | 14.2   | 280 | 0.3  | 1.8  |
| SST (° Brix)       | 2e-16 ***  | 5.0   | 0.7 | 0.2 | 4.4    | 84  | 2.8  | 8.2  |
| Luminosidad        | <2e-16 *** | 34.7  | 4.8 | 2.8 | 8.2    | 280 | 5.8  | 43.3 |
| Cromaticidad       | <2e-16 *** | 31.2  | 6.5 | 3.8 | 12.4   | 280 | 9.1  | 50.9 |
| Ángulo de matiz    | <2e-16 *** | 37.6  | 6.5 | 3.8 | 10.3   | 280 | 24.8 | 70.1 |

\*\*\* =  $P < 0,001$ , DHS= Diferencia honesta significativa, DE= desviación estándar, CV= coeficiente de variación, n= número de repeticiones, Min= valor mínimo, Max= valor máximo

### 4.2.1. Firmeza del fruto

Las evaluaciones de firmeza de fruto presentan variaciones importantes (Monge, 2015), los frutos maduros de tomate muy firmes, tienen un periodo mayor de vida de anaquel (Castellanos 2009), por lo que la firmeza se considera como una característica importante para la comercialización en fresco del tomate (Ramos-García *et al.* 2010) determinando calidad (Batu 2004).

En este estudio, las colectas con mayor firmeza (Figura 9) fueron la colecta 92 cherry rojo, la 55 de fruto tipo pera y la colecta 56 de fruto tipo calabaza con valores de 0.49,

0.65 y 0.51 N respectivamente. La colecta 55 podría presentar larga vida de anaquel sin embargo mostró la fisiopatía de “blossom-end rot” lo que disminuiría su rendimiento para venta y consumo en fresco, esta fisiopatía se caracteriza por la aparición de un tejido necrótico en la parte distal del fruto resultado de la expresión de algunos genes en condiciones de estrés, (Paiva *et al.* 1998). Los tomates tipo cherry mostraron diferencias estadísticas entre sí (Tukey 0.05), mostrando menor firmeza en el tomate de color amarillo (0.13 N). La colecta 92 tipo cherry color rojo con 0.49 N muestra firmeza similar a un genotipo cherry evaluado por Monge (2015), que presentó 0.46 N.

Todas las colectas que conforman el tipo silvestre no tuvieron diferencia estadística entre sí y se encuentran entre los frutos de tomate con menor firmeza, mismo comportamiento tuvieron los frutos tipo ojo de venado, tales resultados coinciden con lo mencionado por Bonilla- Barrientos *et al.* (2014) quienes reportan que los valores más bajos en la variable firmeza corresponden a tipos de fruto ojo de venado, además de frutos silvestres ceraciformes.

Las colectas cuyo fruto se clasifica como tipo riñón son estadísticamente iguales en firmeza; en las colectas con fruto tipo calabaza destaca la colecta 56 con 0.56 N valor superior al resto de colectas clasificadas en este mismo tipo que estuvieron en un rango de 0.2 a 0.3 N. Las colectas de fruto tipo pimiento se encontraron en un rango de 0.2 a 0.4 N. Las colectas que conforman el tipo de fruto bola plana pertenecen al segundo grupo estadístico con mayor firmeza y no hay diferencia estadística entre ellas.

Juárez-López *et al.* (2009) argumentan que los frutos de genotipos nativos tienen menor firmeza y vida de anaquel que los híbridos comerciales. En este caso, el testigo tipo tomate saladette es una variedad comercial, que se encontró también en el segundo grupo estadístico, por lo que al menos el 29 % de las colectas de tomates nativos evaluados en esta investigación, presentan igual o mayor firmeza que el testigo comercial.

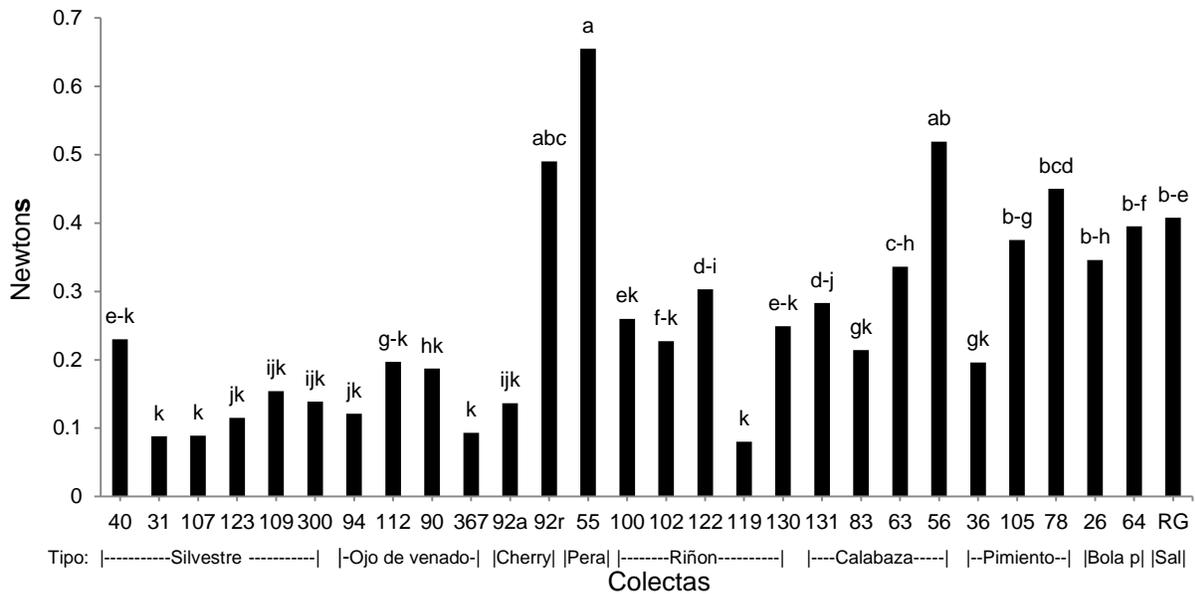


Figura 9. Firmeza de fruto en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### 4.2.2. Índice de redondez

El índice de redondez indica una alta tendencia a la forma esférica, esta propiedad es un parámetro indispensable para procesos de selección y clasificación, así como para el diseño de empaques, equipos y sistemas de limpieza (Parra-Coronado *et al.* 2007).

Las colectas que presentan un índice de redondez superior a uno, es decir, que son de fruto alargado son la 109 (frutos tipo silvestre), 55 (frutos tipo pera), 105 (fruto tipo pimiento), así como el testigo Río Grande (Figura 10), los tipos de fruto pueden ser observados en la Figura 11. No hubo diferencias estadísticas entre los miembros de los frutos clasificados como tipo silvestre, ojo de venado, cherry, riñón, calabaza y bola plana. Las colectas 41, 31, 107 (frutos de tipo silvestre), 92a, 92r (frutos de tipo cherry) y 78 (frutos de tipo pimiento) presentan valores cercanos a uno (redondos) y las colectas con menor índice de redondez fueron 94, 112 (frutos tipo ojo de venado), las colectas de fruto tipo riñón y tipo calabaza, con valores entre 0.43 y 0.72 (Figura 10). Los valores descritos muestran similitud a estudio previo (Maldonado *et al.* 2016) donde se evaluó

100 colectas de tomates nativos y presentó variabilidad en el índice de redondez en un intervalo de 0.5 a 1.5.

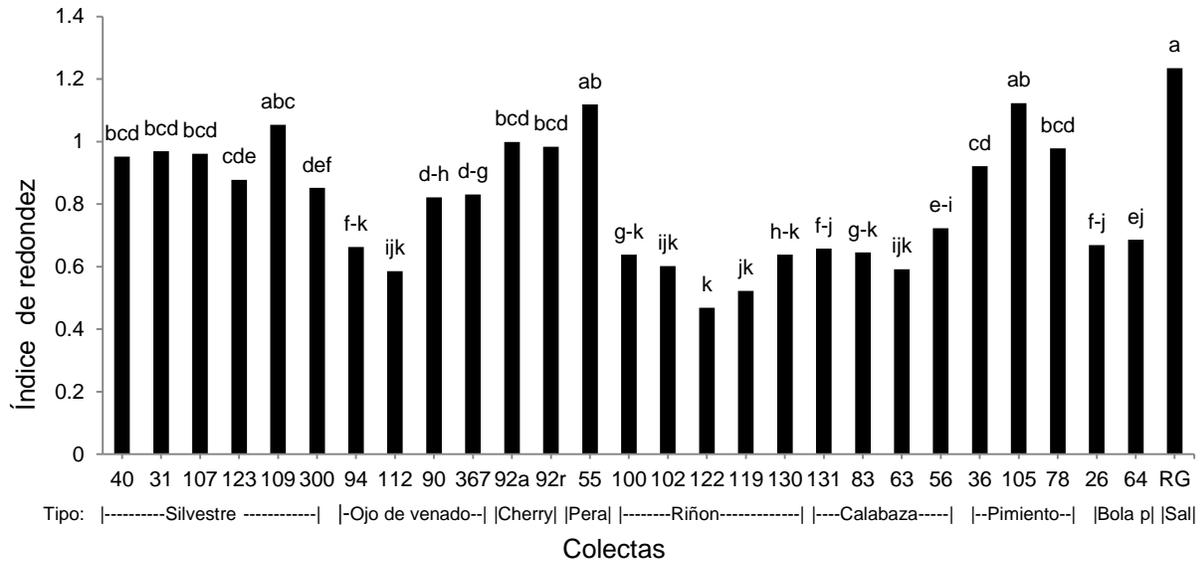


Figura 10. Índice de redondez en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

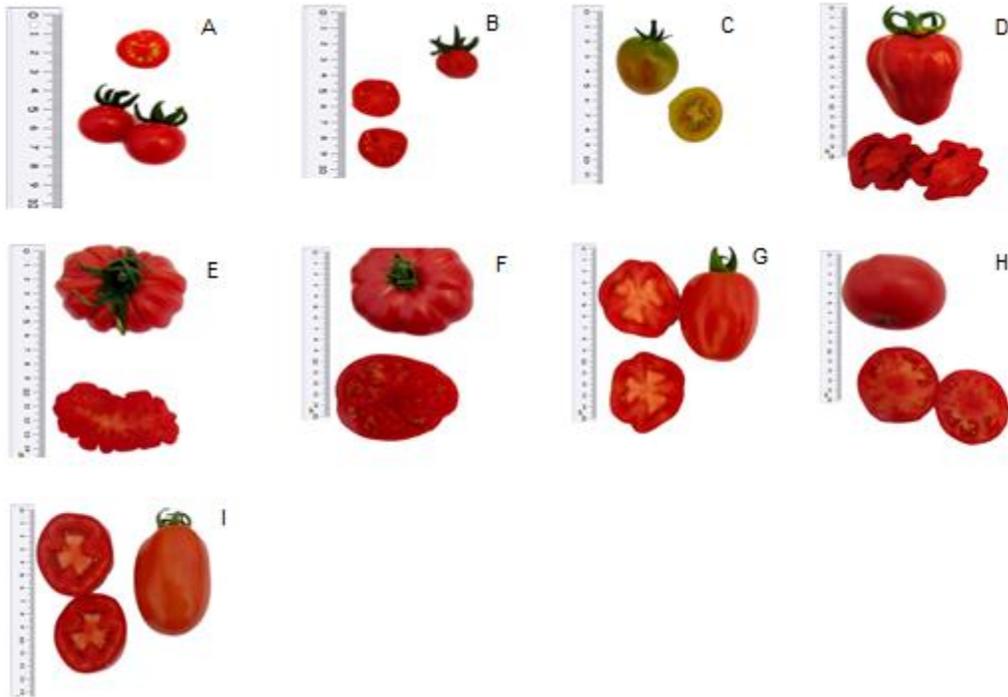


Figura 11. Tipos de frutos en las colectas de tomates nativos: silvestre (A), ojo de venado (B), cherry (C), pera (D), calabaza (E), riñón (F), pimiento (G), bola plana (H) y saladette (I).

#### 4.2.4. Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles es importante para definir las diferencias en el sabor entre cultivares de tomate, los azúcares constituyen el 60% de los sólidos solubles en los que predominan glucosa y fructosa (Jones *et al.* 1984).

Las colectas 31 (fruto de tipo silvestre) y 92r (frutos de tipo cherry color rojo) presentaron el mayor contenido de SST (Figura 12). Esto coincide con lo reportado por Causse *et al.* (2003) donde los tomates cherry presentan un mayor contenido de sólidos solubles (7.2°Brix), en comparación con tomates medianos y grandes. Dentro de cada tipo, las colectas con mayores grados brix fueron: la colecta 31 para el fruto tipo silvestre, la colecta 90 para el fruto de tipo ojo de venado, en los frutos tipo cherry la colecta 92r, la colecta 100 en los frutos de tipo riñón, las colectas 83, 63 y 56 para frutos de tipo calabaza, la colecta 36 del tipo pimiento y la colecta 26 del tipo bola plana.

Martínez -Barajas (2003) y Tochiuitl-Martíñón *et al.* (2017) señalan que genotipos nativos de tomate producen frutos con una concentración de sólidos solubles mayor a la de las variedades cultivadas, cuyo contenido oscila de 3.9 a 5 °Brix, en condiciones de invernadero (Santiago *et al.* 1998). En esta investigación se observa que hay frutos de colectas nativas que poseen mayor o igual contenido de sólidos solubles totales que el testigo (Río Grande), el cuál presentó una media de 5.23 °Brix (contenido superior a 4 grados Brix para el Río Grande, reportado por Santiago *et al.* 1998) por lo que son sobresalientes en sabor para consumo en fresco, además de que podrían ser destinados a la industria procesadora que requiere un mínimo de 4.5 °Brix en tomates (Yara, 2020).

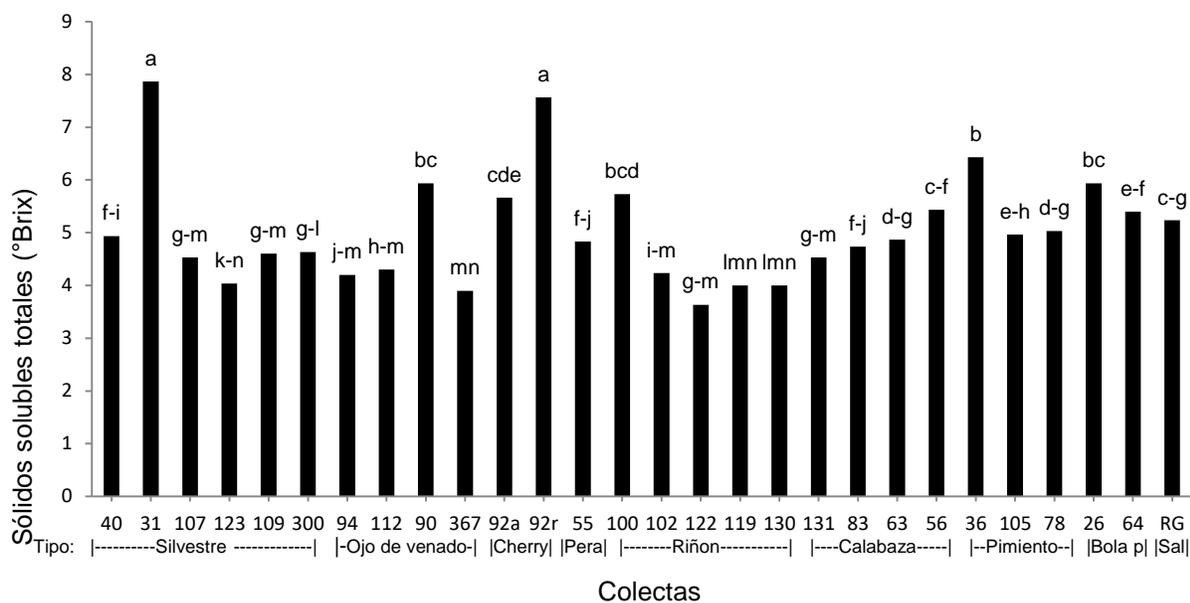


Figura 12. Contenido de sólidos solubles totales de fruto en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### 4.2.5. Luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz

El color en el tomate es la característica externa más importante para evaluar la madurez y la vida poscosecha y es un factor importante en la decisión de compra del consumidor. El color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de licopeno y otros carotenoides, el mayor contenido de carotenoides consiste principalmente en licopeno y  $\beta$ -caroteno (Fraser *et al.* 1994).

Los valores obtenidos para  $a^*$  y  $b^*$  son positivos, debido a que se cosecharon frutos maduros, por lo tanto, la ubicación de las colectas evaluadas y el testigo se determinó en el cuadrante rojo-amarillo del espacio cromático (Figura 13).

Se presentaron diferencias estadísticas (Tukey, 0.05) en luminosidad, cromaticidad y el ángulo de matiz.

En luminosidad las colectas nativas y el testigo se encontraron en un rango de 22.5 a 42.2 en el espacio cromático ( $L^*$ ) (Figura 14) y se presentó diferencia estadística entre colectas (Figura 15). De las 27 colectas evaluadas y la variedad Rio Grande, 23 colectas se encontraron con luminosidad entre 32.1 y 36 siendo estadísticamente iguales y cercanos a la media de 34 encontrada por Maldonado *et al.* (2016), media que a su vez es preferida en productos industrializados (Intelmann *et al.* 2005). La colecta 40 de fruto tipo silvestre se encontró con la media más baja (22.5), sobresalen con las medias más altas las colectas 122 (fruto de tipo riñón), 56 (fruto de tipo calabaza), la colecta 64 (fruto de tipo bola plana) y la colecta 92 (fruto de tipo cherry color amarillo), esta última también se sitúa como el genotipo con mayor ángulo de matiz tendiente al color amarillo con 65.48 ° (Figura 13).

En cromaticidad (Figura 15), el testigo se encontró en el grupo con valor de media más alto (siendo la única variable de color en la que se encontró en el grupo estadístico mayor) junto con la colecta 55 y supero el intervalo obtenido por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) de 22.36 a 39 para tomates nativos. Las demás colectas se encontraron dentro del intervalo antes mencionado con las siguientes particularidades: no hubo diferencias entre colectas que conforman los tomates con fruto tipo ojo de venado, cherry, calabaza,

pimiento y bola plana, en el tomate tipo silvestre sobresalen las colectas 31 y 123 con 37.7 y 35.8 respectivamente.

Las medias de ángulo de matiz obtenido (Figura 15) por las colectas de color rojo, así como el testigo fueron similares a lo obtenido por Maldonado-Peralta *et al* (2016) de 16 a 48° para tomates nativos. Con los menores ángulos (28 a 33.6) y tendientes al eje color rojo se encuentran las colectas 102, 119, 130 (frutos de tipo riñón), 131, 83, 63, 56 (frutos de tipo calabaza), 78 (fruto de tipo pimiento), 26 y 64 (fruto tipo bola plana), todas correspondientes a colectas de frutos de mayor tamaño, lo cual podría ser orientado a un uso industrial que en general prefiere salsa cátsup con un ángulo de tono menor a 35 (Intelmann *et al.* 2015).

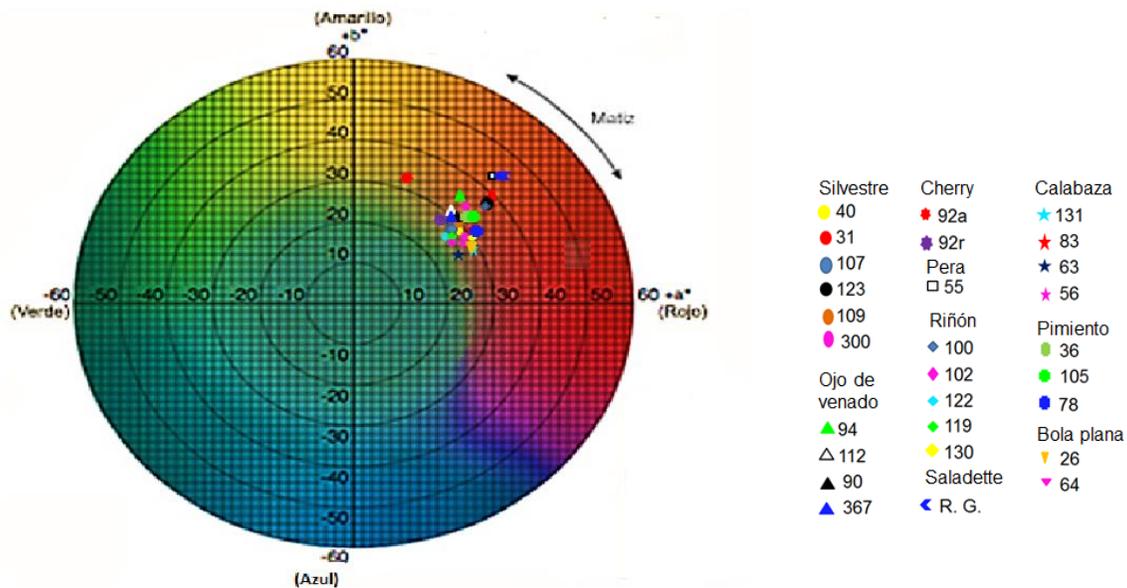


Figura 13. Ubicación para 27 colectas de tomate nativo y la variedad comercial Rio Grande en el espacio cromático (a\* y b\*).

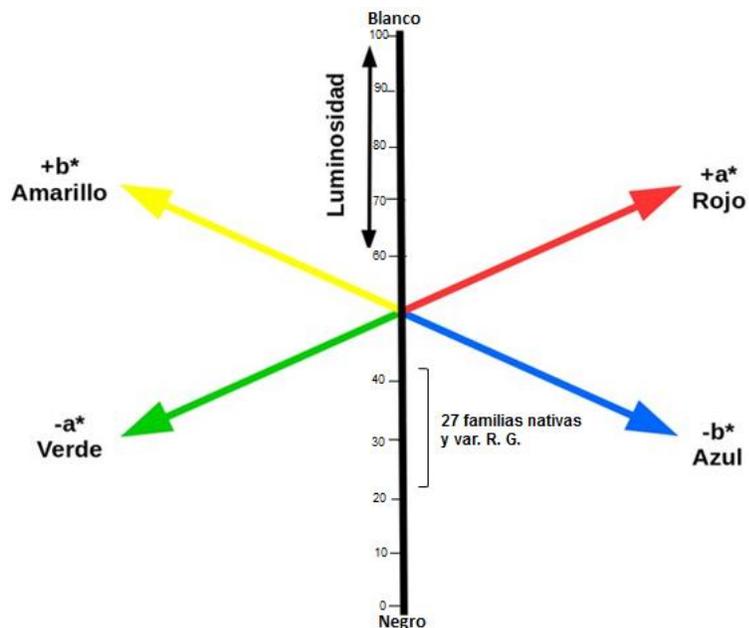


Figura 14. Ubicación para 27 colectas de tomate nativo y la variedad comercial Rio Grande en el espacio cromático (L\*).

### 4.3 Calidad de semilla

El rendimiento de semilla (g) y el número de semilla por planta presentaron una alta variabilidad (C.V. >30%, Cuadro 5), pero la variabilidad fue menor en el peso de mil semillas. Esto indica que la variabilidad en el rendimiento de semilla por planta está mejor explicado por el número de semillas, que por el peso de la semilla. Por otro lado, la variabilidad en la germinación fue baja (6.6%), aunque el índice de emergencia de la radícula fue más variable, lo que significa que las colectas tienen diferentes dinámicas de germinación.

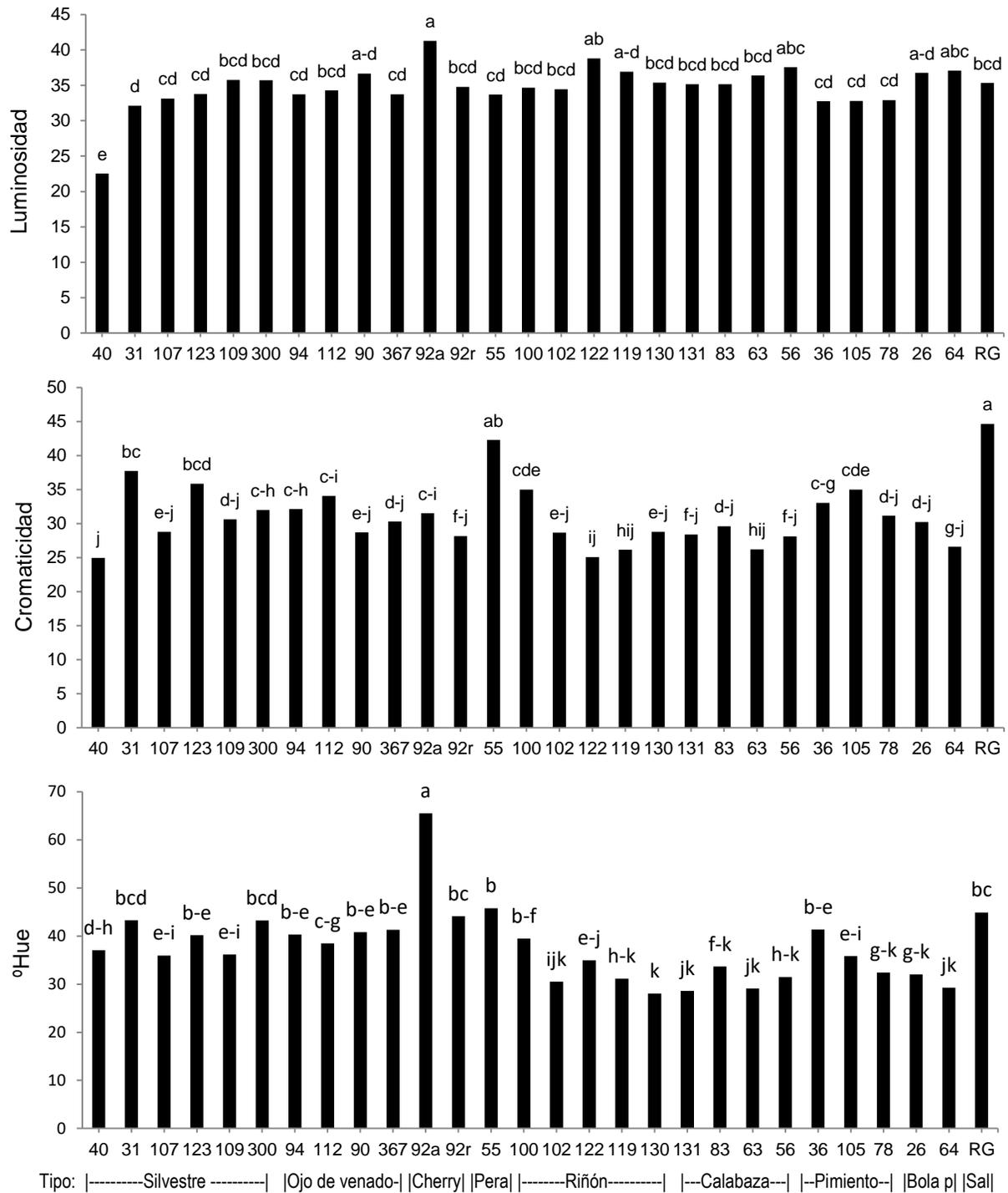


Figura 15. Luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz de frutos de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

Cuadro 5. Descriptores estadísticos de variables de calidad de semilla de 27 colectas de tomate nativos y una variedad comercial.

| Variable | Valor P      | Media  | DHS  | DE    | CV (%) | n   | Min   | Max  |
|----------|--------------|--------|------|-------|--------|-----|-------|------|
| RSP      | 2e-16 ***    | 2.4    | 2.8  | 0.8   | 36.6   | 82  | 0.08  | 13.2 |
| P1000    | 2e-16 ***    | 2.5    | 1.2  | 0.3   | 15.7   | 82  | 1.0   | 4.4  |
| AIS      | <2e-16 ***   | 6.0    | 1.9  | 0.6   | 10.0   | 82  | 3.3   | 8.2  |
| PV       | 0.000193 *** | 25.5   | 11.4 | 3.5   | 13.8   | 82  | 16.4  | 42.7 |
| NSP      | <2e-16 ***   | 1082.5 | 17.3 | 353.7 | 32.6   | 82  | 92.3  | 4833 |
| PG       | <2e-16 ***   | 92.2   | 16.6 | 6.1   | 6.6    | 112 | 24    | 100  |
| IVER     | <2e-16 ***   | 7.9    | 2.9  | 1.1   | 14.9   | 112 | 1.0   | 12   |
| PSP      | 2.25e-10 *** | 0.01   | 0.01 | 1.3   | 25.4   | 112 | 0.005 | 0.03 |

\*\*\* =  $P < 0.001$ , DHS= Diferencia honesta significativa, DE= desviación estándar, CV= coeficiente de variación, n= número de repeticiones, Min= valor mínimo y Max= valor máximo. RSP: Rendimiento de semilla por planta (g); P1000: Peso de 1000 semillas (g); AIS: Área individual de la semilla ( $\text{mm}^2$ ); PV: Peso volumétrico ( $\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ ); NSP: Número de semillas por planta; PG: Germinación (%); IVER: Índice de velocidad de emergencia de la radícula; PSP: Peso seco de plántula (g).

#### 4.3.1. Rendimiento de semilla obtenida por planta (g)

La colecta 92 (rojo) tipo cherry con 11.92 g, obtuvo el mayor rendimiento presentando diferencia estadística respecto a las otras colectas (Figura 16), esta capacidad de producir una gran cantidad de semillas exhibe capacidad de colonización (Coomes and Grubb, 2003). El siguiente grupo estadístico lo conforma las colectas 64, 92 (amarillo), 107, 122 y 56, corresponden a tipos bola plana, cherry rojo, silvestre, riñón, y calabaza respectivamente, con rendimientos que van desde 3.10 hasta 6.16 g. No hubo diferencia estadística en las colectas dentro del grupo de tomate tipo silvestre, dentro del grupo tipo ojo de venado, tipo calabaza, tipo pimiento y tipo bola. El rendimiento más bajo se obtuvo en el tipo pera, con 1.41 g. Dentro del tipo riñón, el rendimiento más alto lo obtuvo las colectas 122 del estado de Puebla. El testigo, la variedad comercial Rio Grande se

encontró entre los rendimientos más bajos con 1.94 g, por lo que colectas de tomates nativos producen igual o mayor rendimiento de semilla por planta (g), esta obtención de buena cantidad de semilla es una de las características de mayor importancia para empresas semilleras, debido a que disminuye la necesidad de producir semillas cada temporada (FAO 2019).

Es importante mencionar que el rendimiento de semilla es afectado por las condiciones de producción (temperatura y humedad) (Castañeda *et al.* 2009), por lo que, si el experimento se llevara a cabo en campo abierto, probablemente el rendimiento obtenido podría ser menor. George (1989) señaló que los cultivares de invernadero alcanzan un peso de 1 g por 1000 semillas sobre la mayoría de los producidos en campo, lo cual indica que bajo sistema hidropónico se obtiene más semilla de calidad.

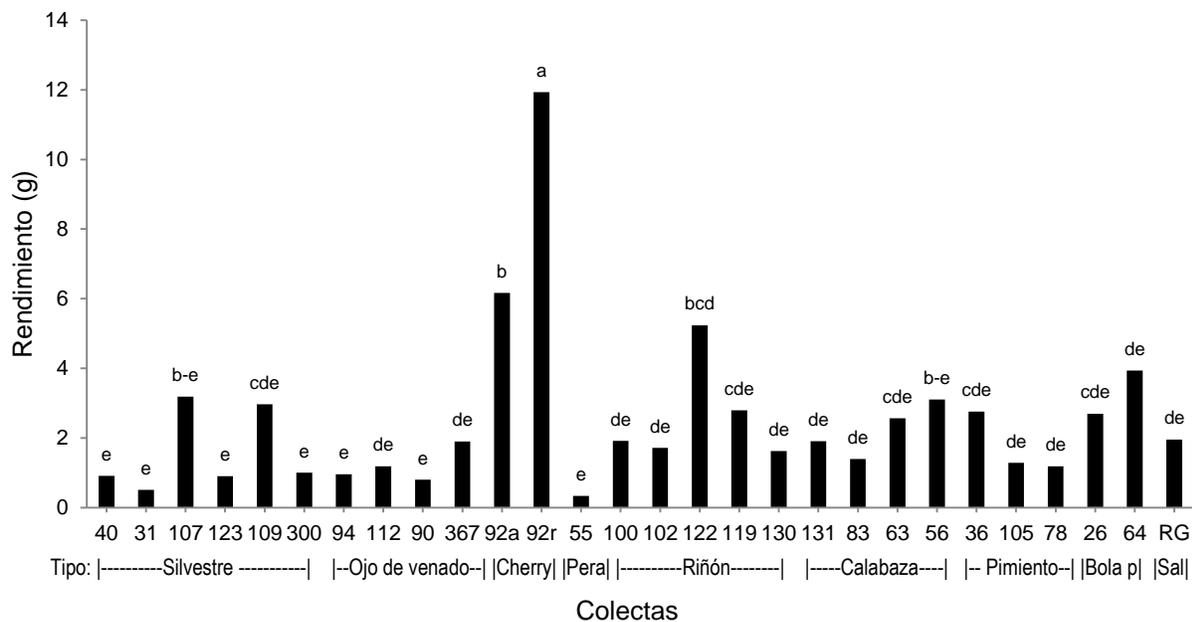


Figura 16 . Rendimiento de semilla por planta de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

### 4.3.2. Número de semillas por planta

El número total de semilla por planta presentó tres grandes grupos: la colecta 92 tipo cherry con fruto rojo presentó el mayor número de semillas, con 4,823 semillas por planta, incluso resultó superior a misma colecta de color amarillo (Figura 17). Dentro del tipo silvestre las colectas 107 y 109 produjeron los mayores números con 2,764 y 2,765 unidades. En el tipo riñón, la colecta 122 del estado de Puebla presentó los valores más altos con 2,154 unidades, que representan más del doble que el resto de colectas que integran el tipo riñón. La colecta con fruto tipo pera, los tipos calabaza, pimiento, bola plana y la variedad Rio Grande presentan el número menor de semillas y sin diferencias estadísticas entre ellas.

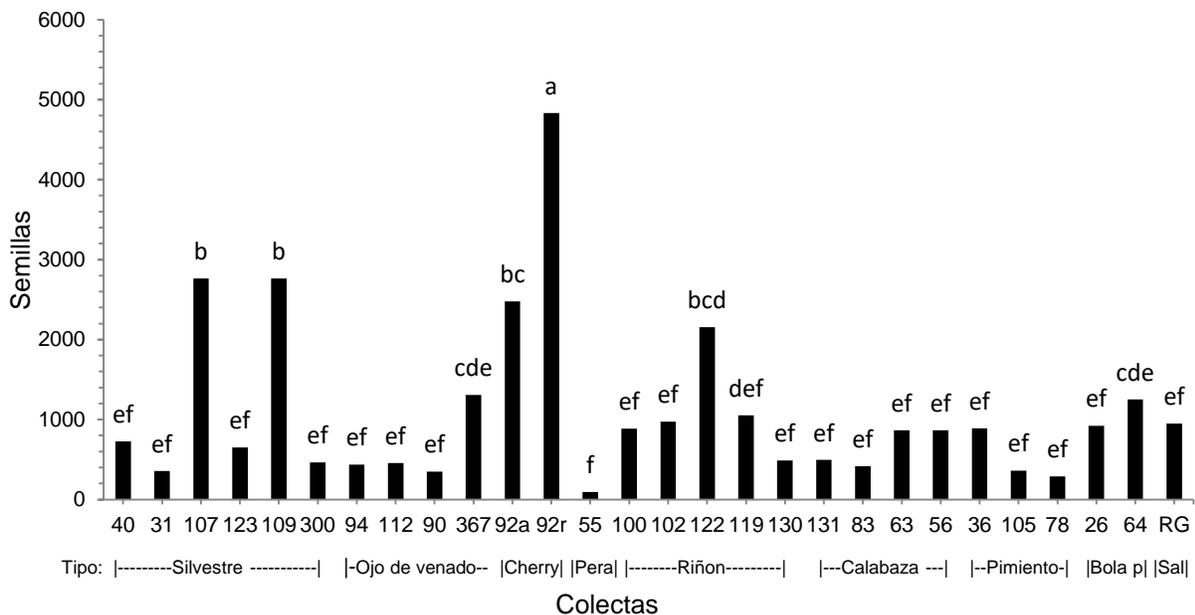


Figura 17. Número de semillas por planta en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

### 4.3.3. Peso de 1000 semillas

El peso puede afectar la velocidad de germinación. El peso de semillas se asocia positivamente con la supervivencia de las plántulas, porque las semillas más grandes generalmente se convierten en plántulas más grandes, que son potencialmente más capaces de resistir la falta de recursos (luz o nutrientes) o los diversos peligros que enfrentan (períodos de sequía, daño parcial, etc.) (Coomes and Grubb 2003).

En la Figura 18 se puede observar que los tratamientos que obtienen el mayor peso son las colectas son 55 (fruto tipo pera), 130 (fruto riñón del estado de Oaxaca), 131 (tipo calabaza del estado de Oaxaca), 83 (tipo calabaza del estado de Guerrero), 56 (tipo calabaza del estado de Puebla), los tipo pimiento (las colectas 36, 105 y 78) y los tomates tipo bola plana (colectas 26 y 64) con pesos desde 3.04 a 4.20 g por mil semillas (de 3 a 4.2 mg por semilla), indicando que en este grupo se encuentran las colectas con semillas de mayor tamaño y que corresponde a tipos de fruto grande. Entre los tipos cherry no existe diferencia estadística, dentro del tipo ojo de venado la colecta 112 presentó mayor peso teniendo diferencia estadística respecto a los otros miembros del grupo tipo ojo de venado (40, 31, 107, 123, 109 y 300), estos últimos se encontraron entre los valores más bajos y sin diferencia estadística entre ellos al igual que los tipos tipo silvestre (40, 31, 107, 123, 109 y 300), tipo riñón (102) y la variedad comercial Rio Grande, estos valores bajos van de 0.95 g a 2.29 g.

Los resultados descritos indican una gran variabilidad entre colectas, coincidiendo con Obeso (1993), Kosiński (2008) y Hernández (2010) que afirman el peso de la semilla varía ampliamente entre poblaciones.

Los resultados obtenidos mostraron que el peso se correlacionó negativamente (-0.41\*\*) con el número de semilla y positivamente (0.74\*\*) con la biomasa de plántula a los 16 días después de siembra (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo que coincide con lo mencionado por Coomes y Grubb (2003), que consideran que el peso de semillas de una planta se correlaciona negativamente con la cantidad de semillas que puede producir y se asocia positivamente con la supervivencia de las plántulas, por lo que las semillas más grandes generalmente se convierten en plántulas más grandes.

En cuanto a la relación peso de semillas y germinación, la correlación no fue significativa y este comportamiento es similar a lo obtenido en un estudio de variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre (Hernández-Verdugo *et al.* 2010).

La masa de semillas se considera fundamental para la aptitud de una planta debido a su influencia en la cantidad de semillas que puede producir y con la supervivencia de las plántulas (Coomes and Grubb 2003).

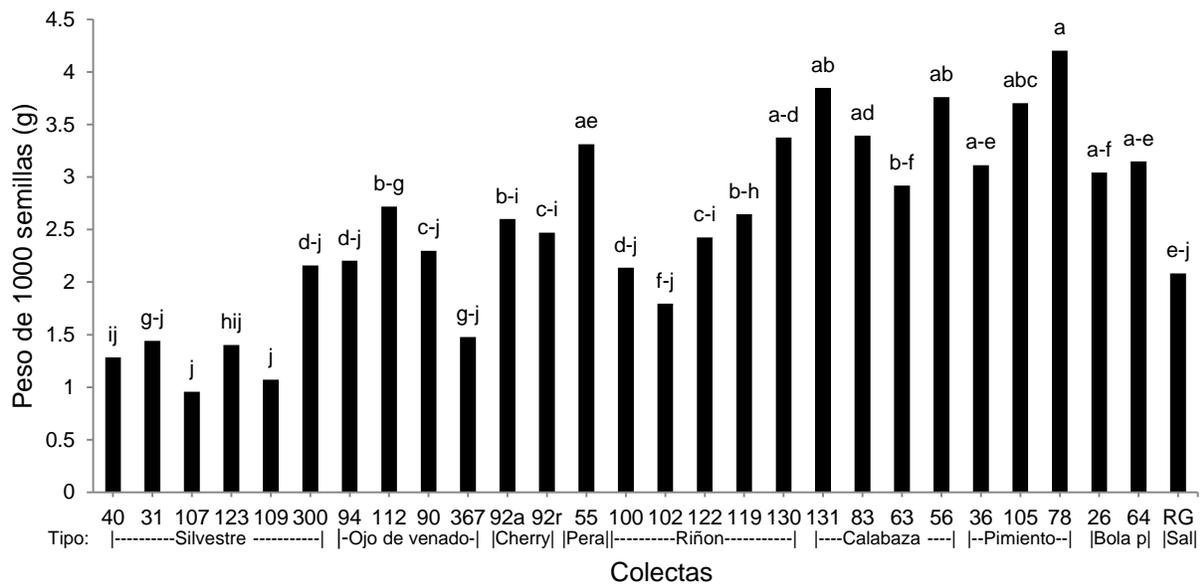


Figura 18 . Peso de mil semillas en 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

#### 4.3.4. Área de semilla

El área de la superficie que proporciona contacto con el ambiente externo, (Bu *et al.* 2016), esta variable presentó variación entre colectas (Figura 19) y una tendencia similar al peso de semilla (hay correlación positiva de 0.91\*\*) (Cuadro 3).

Las colectas 130 (fruto tipo riñón), 131, 83, 63, 56 (fruto tipo calabaza), 36, 105, 78 (fruto tipo pimiento), 26 y 64 (fruto tipo bola plana) se encontraron como las semillas de mayor tamaño presentándose como una ventaja pues semillas más grandes producen plántulas

con mayor vigor (Poorter and Rose 2005; Coomes and Grubb 2003), al contener una mayor cantidad relativa y total de proteína (Khan 2003), además que semillas más largas pueden desarrollar tallos más largos porque el eje del embrión está directamente relacionado con el largo de la semilla (Valdés *et al.* 2018).

Las colectas 40, 31, 107, 123, 109, 300 (con fruto silvestres) y 367 (con fruto tipo ojo de venado) se clasificaron como las semillas de menor tamaño con áreas de 3.35 a 4.25 mm<sup>2</sup>.

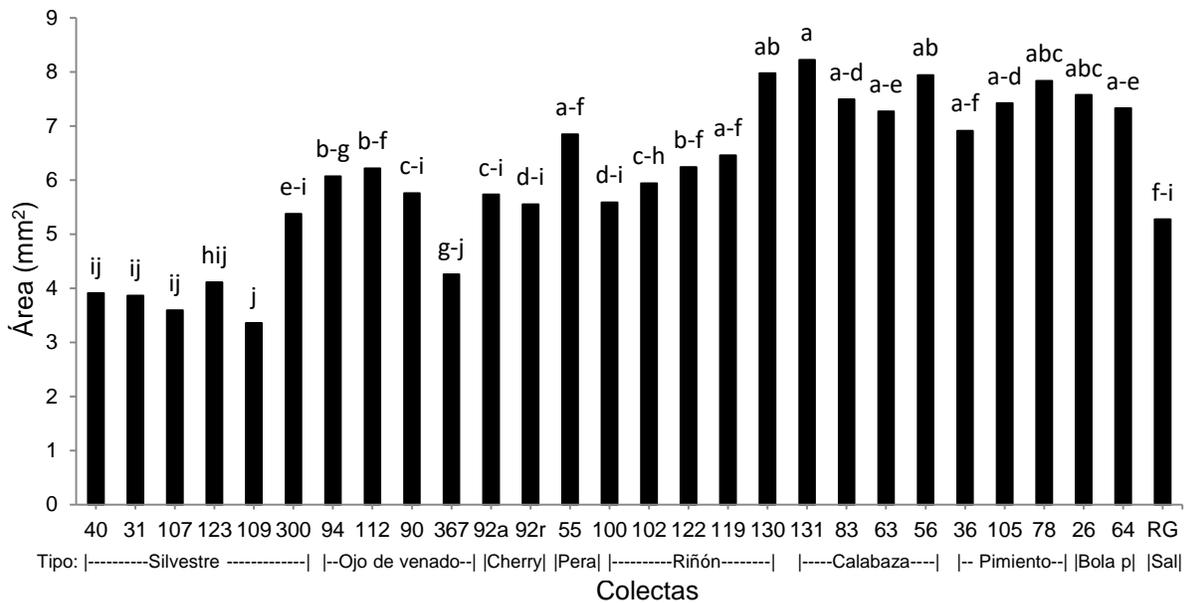


Figura 19. Área individual de semilla 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

#### 4.3.5. Peso volumétrico

El volumen de las semillas es uno de los rasgos funcionalmente importantes que están asociados con la germinación de las semillas pues da una medida de la disponibilidad de recursos (Bu *et al.* 2016), es dependiente de la forma y dimensiones (Sanchez *et al.* 2002). El peso volumetrico de las colectas evaluadas va de 19.25 a 32.21 kg.hL<sup>-1</sup>, las

colectas 106 y 78 correspondientes a tomate tipo pimiento mostraron diferencia estadística respecto a las colectas 40, 107 y 109 de tipo silvestre (con los valores de medias mas bajas), pero no mostraron diferencia al resto de colectas ni al testigo (Figura 20).

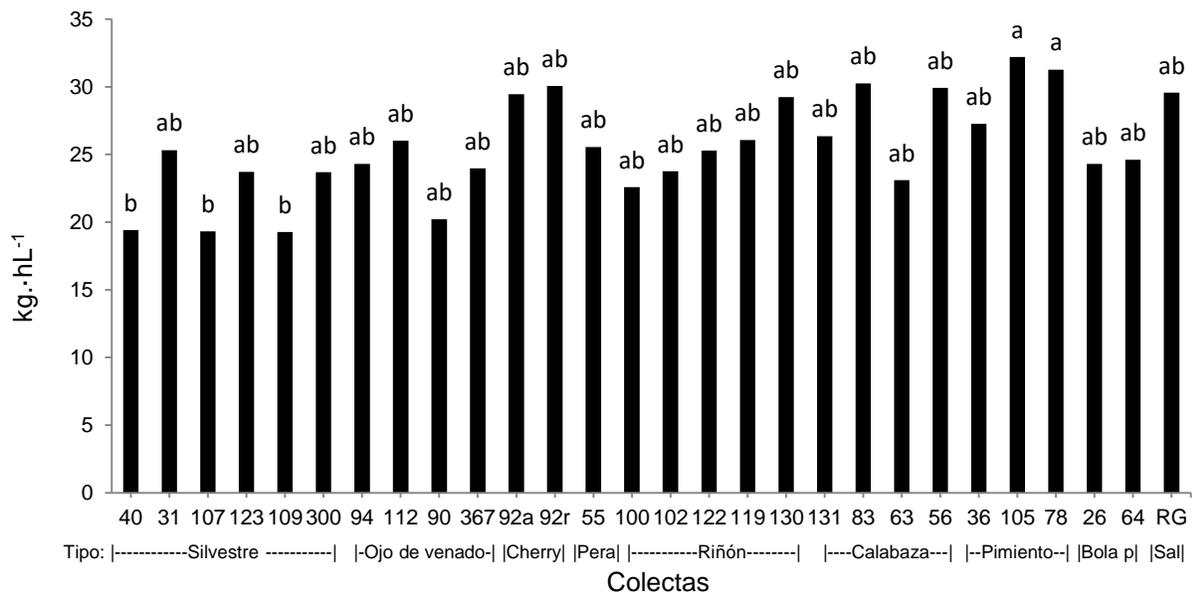


Figura 20. Peso volumétrico de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

Las reservas de alimentos en semillas aumentan con el volumen de semillas (Khan y Shankar 2011), proporcionando energía para la germinación de semillas y crecimiento más temprano de las plántulas. Por lo tanto, el volumen de semillas juega un papel importante en el establecimiento de etapas tempranas de la vida (Grubb and Coomes 1997), por lo que demuestra una correlación positiva y altamente significativa respecto variables como area de semilla (0.44), peso de semilla (0.55), velocidad de emergencia (0.38) y el peso seco de plantula (0.52) (Cuadro 3).

#### 4.3.6. Número de semillas por fruto.

Se presentó variabilidad en la cantidad promedio de semillas obtenidas por fruto (Figura 21A), las colectas 109 (tipo silvestre), 122 (tipo riñón) y 26 (tipo bola plana) tuvieron en

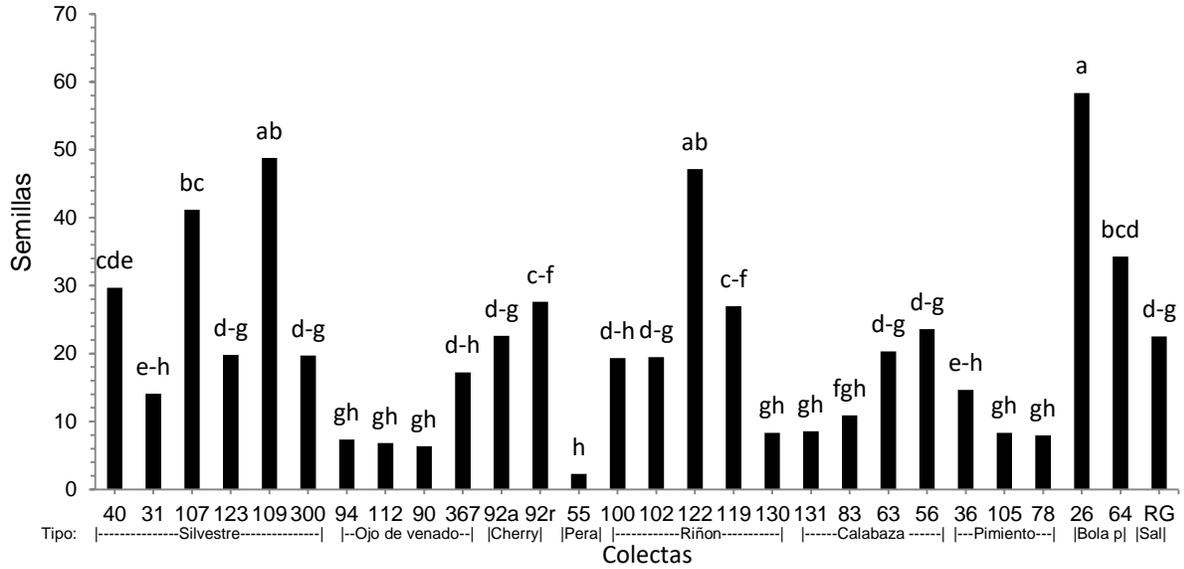
promedio el mayor número de semillas por fruto de 48.79, 47.14 y 58.37 respectivamente, esta capacidad de producir una gran cantidad de semillas exhibe una mayor probabilidad de dispersión (Coomes and Grubb, 2003) respecto a las demás colectas evaluadas. Las colectas con menor número de semillas fueron las colectas 94, 112, 90, 367 (fruto tipo ojo de venado), 55 (fruto tipo pera), 100, 130 (fruto tipo riñón), 131, 83 (fruto tipo calabaza), 36, 105 y 78 (fruto tipo pimiento).

Durante el experimento se observó uniformidad en el contenido de semillas de los tipos silvestres y los tipos cherry, pues todos los frutos cosechados contenían semilla a diferencia la colecta 55 (de fruto tipo pera) que se encuentra entre el grupo con la media más baja de semillas por planta y se puede observar que es la única colecta en la que en un racimo (racimo 2) de todos los frutos cosechados no se obtuvo ninguna semilla (Figura 21B).

Se observó variabilidad en la cantidad de número de semillas por fruto cosechado en diferentes racimos, esto en todas las colectas evaluadas, así como el testigo (Figura 21B). Aya y Tanaka (1981) mencionan que la posición del racimo puede influir en el número de semillas por fruto y una reducción a partir del sexto racimo, sin embargo, solo nueve de las colectas evaluadas mostraron una reducción en el sexto racimo, el resto de colectas mostraron variación que también puede ser influenciado por variación en la temperatura (Delgado, 2017).

El número de semillas por fruto se correlaciono negativamente con el área de semilla (-0.35), peso de semilla (-0.41), porcentaje de germinación (-0.31) y el peso seco de la plántula (-0.37) a los 16 días después de siembra (Cuadro 3) demostrando que la habilidad de reproducción, adaptación y colonización de una especie no depende solo de la cantidad de semillas que produce (Coomes and Grubb, 2003).

A)



B)

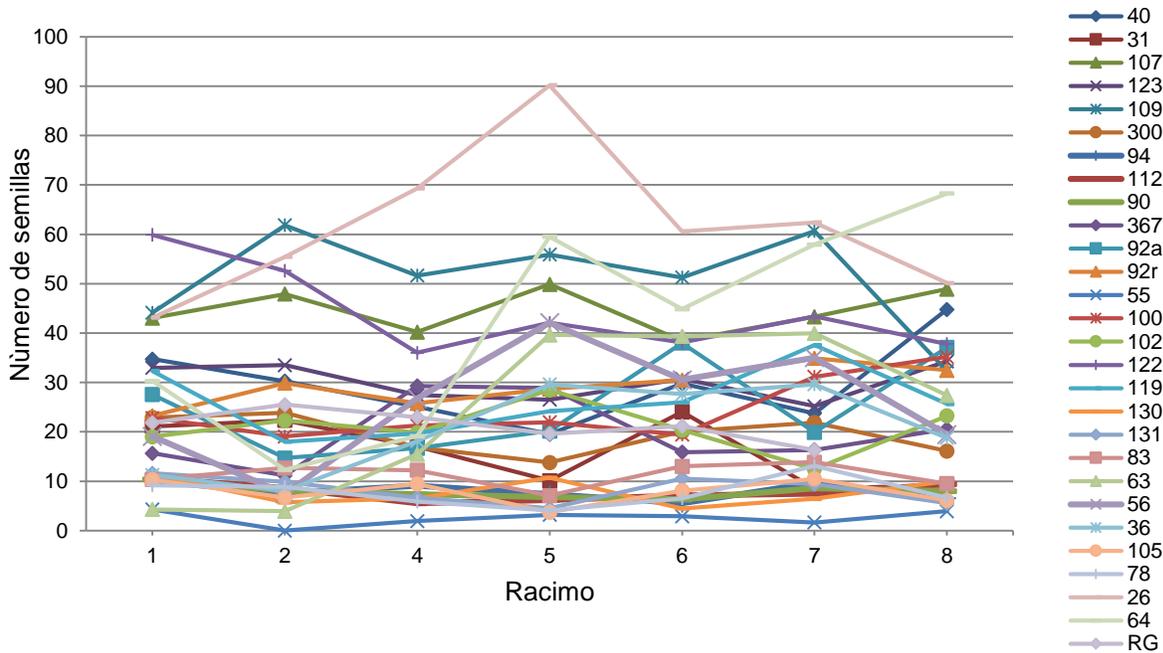


Figura 21. Número de semillas por fruto A) Media general, B) En cada racimo cosechado, de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

### 4.3.7. Porcentaje de germinación

En la industria de semillas el porcentaje de germinación, es el parámetro más importante para evaluar los lotes de producción de semilla, es el valor utilizado para la certificación y comercialización del producto como punto de referencia de la calidad del lote en cuestión (Martínez *et al.* 2010).

Dentro de los tomates tipo silvestre se encontraron los porcentajes de germinación más bajos los cuales fueron 61% correspondiente a la colecta 107, seguido de un 30% de la colecta 109, ambos de fruto tipo silvestre. El resto de los frutos tipos silvestres, así como los demás tipos de tomate y el testigo Rio Grande no mostraron diferencias estadísticas entre sí, con valores de 85 a 100% de germinación (Figura 22), resultados que coinciden con lo reportado por Berrospe *et al.* (2015) quienes evaluaron el comportamiento agronómico de plántulas de poblaciones nativas de jitomate en producción intensiva en invernadero y donde las poblaciones nativas evaluadas no mostraron diferencias estadísticas (tukey 0.05) con los testigos (híbridos comerciales) en porcentaje de germinación. Por lo se puede afirmar que la semilla proveniente de tomates nativos posee calidad fisiológica en cuanto a germinación igual o similar a semilla comercial.

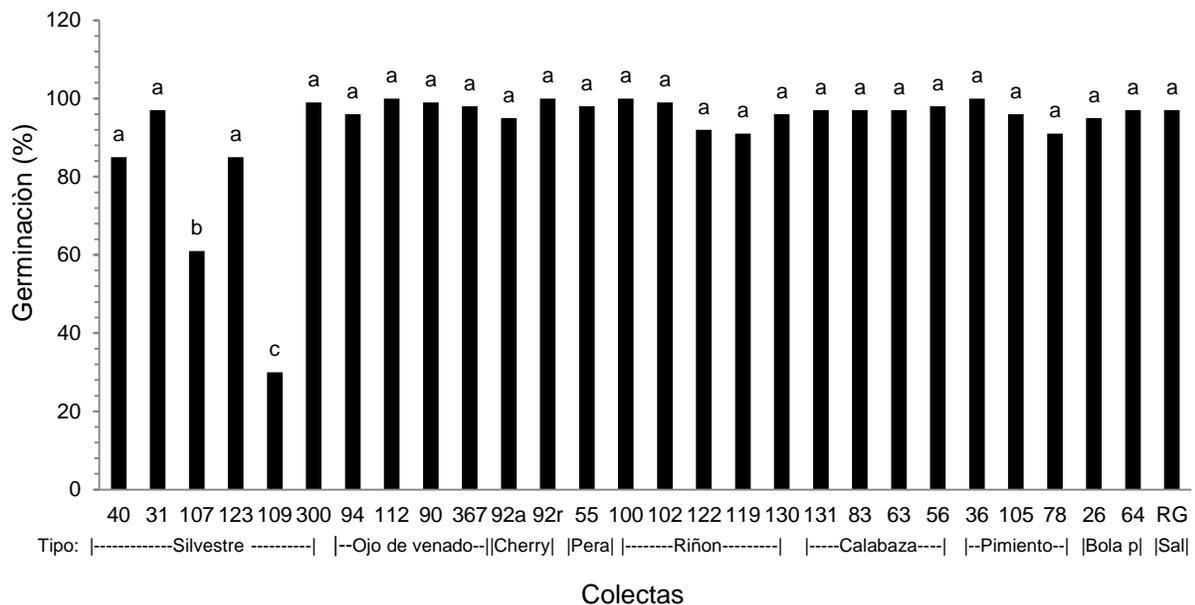


Figura 22. Porcentaje de germinación de 27 colectas nativas y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

#### 4.3.8. Velocidad de emergencia de la radícula

La prueba de velocidad de emergencia propuesta por Maguire (1962), permite obtener un estimador de vigor de las plántulas para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético (Martínez *et al.* 2010), por lo que se estima que las colectas que poseen mayor vigor son: la 112 para el tomate tipo ojo de venado, ambas colectas (92 a y 92r) del tipo cherry, la colectas 55 tipo pera que se encontró en el grupo más alto de índices, todas las colectas pertenecientes al tipo riñón, todas las colectas del tipo calabaza, del tipo pimiento las colectas 105 y 78, las colectas pertenecientes al grupo de tipo bola plana, así como el testigo que no difiere estadísticamente de las mencionadas anteriormente (Figura 23).

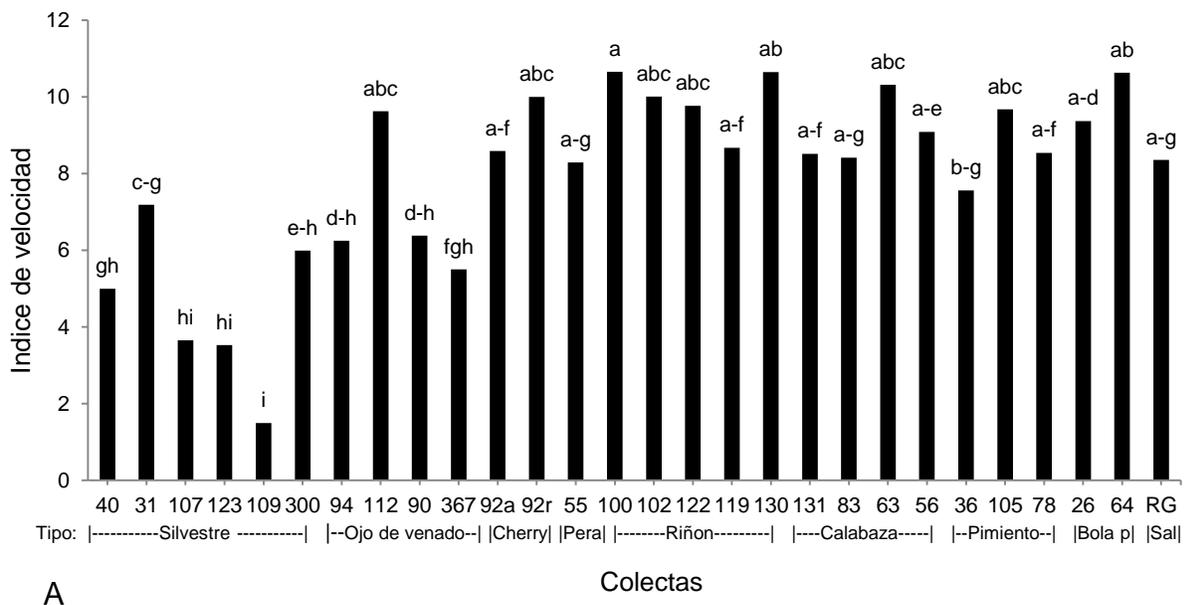
Los índices más bajos de velocidad de emergencia de la radícula lo presentaron los tomates de las colectas 107, 123 y 109 pertenecientes al tipo silvestre con índices de 3.65, 3.52 y 1.49 respectivamente, considerándolos como las colectas con menor vigor. Estos índices pertenecen a semillas de menor peso lo que difiere con Delgado *et al.* (2008) que mencionan se ha reconocido que en ciertas especies las semillas más ligeras germinan más rápido para poder establecerse antes y mejorar sus expectativas de vida en relación con sus pares más pesadas.

La velocidad de emergencia mostro correlación positiva y altamente significativa a área de semilla (0.54), peso de semillas (0.50) y peso volumétrico (0.38), por lo que un mayor peso y tamaño exhibe una mayor velocidad de emergencia y por lo tanto un mayor vigor, estas semillas generalmente se convierten en plántulas más grandes (Coomes and Grubb, 2003), esto último coincide con la correlación positiva (0.44) a peso seco de plántula obtenido (Cuadro 3).

Las colectas que pueden considerarse más precoces en germinación son las 92 tipo cherry color rojo, 100 tomate tipo riñón y 63 con fruto tipo calabaza, quienes desde el segundo día alcanzaron porcentajes de 97%, 86% y 95% respectivamente. La colecta 55 de tipo pera presento su mayor porcentaje (98 %) a los 16 días, siendo ésta la colecta que requirió mayor tiempo.

Dentro de los tipos pimiento la colecta 36 presento el menor tiempo requerido con tan solo 4 días, la colecta 105 y 78 alcanzo el mayor porcentaje a los 12 y 14 días. Los tomates tipo bola 26 y 64 requirieron 8 y 12 días. El testigo emergió en un tiempo efectivo de 6 días desde la siembra, obteniendo un 97% de germinación.

Estos resultados muestran que, en condiciones adecuadas de crecimiento, las plántulas obtenidas de semillas de frutos de poblaciones nativas de jitomate pueden presentar periodos de emergencia similares a híbridos comerciales (Berrospe *et al.* 2015).



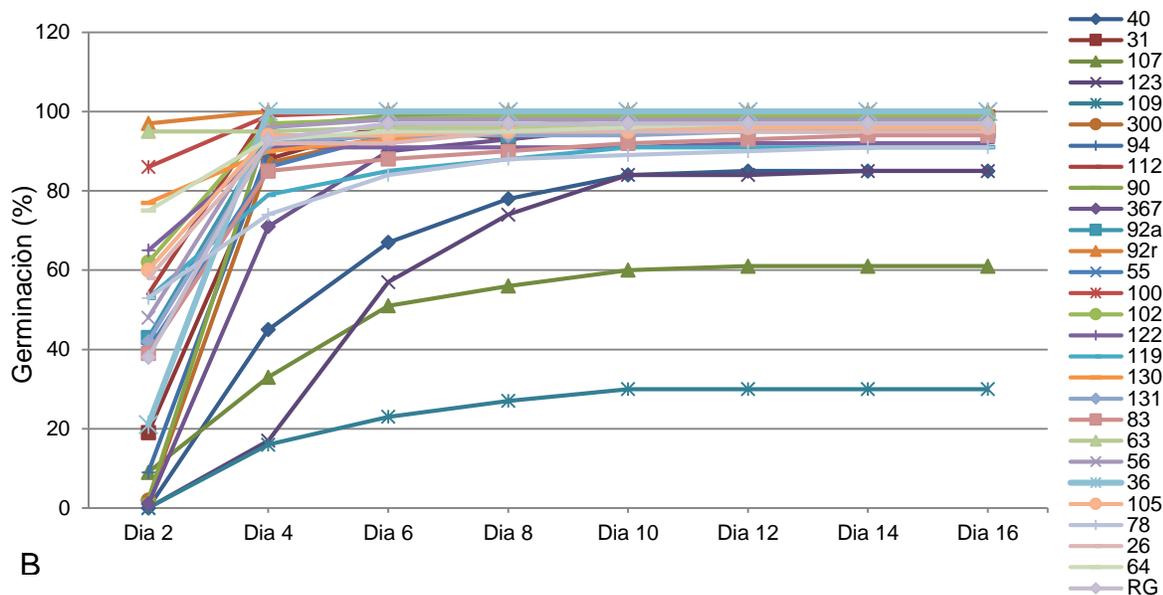


Figura 23. Índice de velocidad de emergencia de la radícula (A) y Comportamiento de porcentaje de germinación acumulado (B) de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

#### 4.3.10. Peso seco de plántula

No se encontró alta variabilidad en peso seco total de plántula (raíz y vástago) de todas las colectas evaluadas (Figura 24) comportamiento que fue similar a lo obtenido por Berrospe *et al.* (2015), pero sí diferencia estadística de las colectas 92 rojo (fruto tipo cherry), 130 (fruto tipo riñón), 131, 83, 56 (fruto tipo calabaza) y 105 (fruto pimienta) (que se encontraron en el grupo con mayor peso seco de 0.0221 a 0.0249 g) respecto a las colectas 40, 107, 123, y 109 correspondientes a fruto tipo silvestre en un rango de 0.0068 a 0.0082 g que poseen el tamaño y peso de semilla más bajo de las colectas evaluadas, lo que coincide con lo indicado por Laynez *et al.* (2017) hay mayor relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula para las plántulas provenientes de semillas grandes y medianas, estadísticamente iguales entre sí, y superiores al valor de las plántulas originadas de semillas pequeñas. No se encuentre diferencia estadística del peso seco de plántula del testigo sobre colectas nativas.

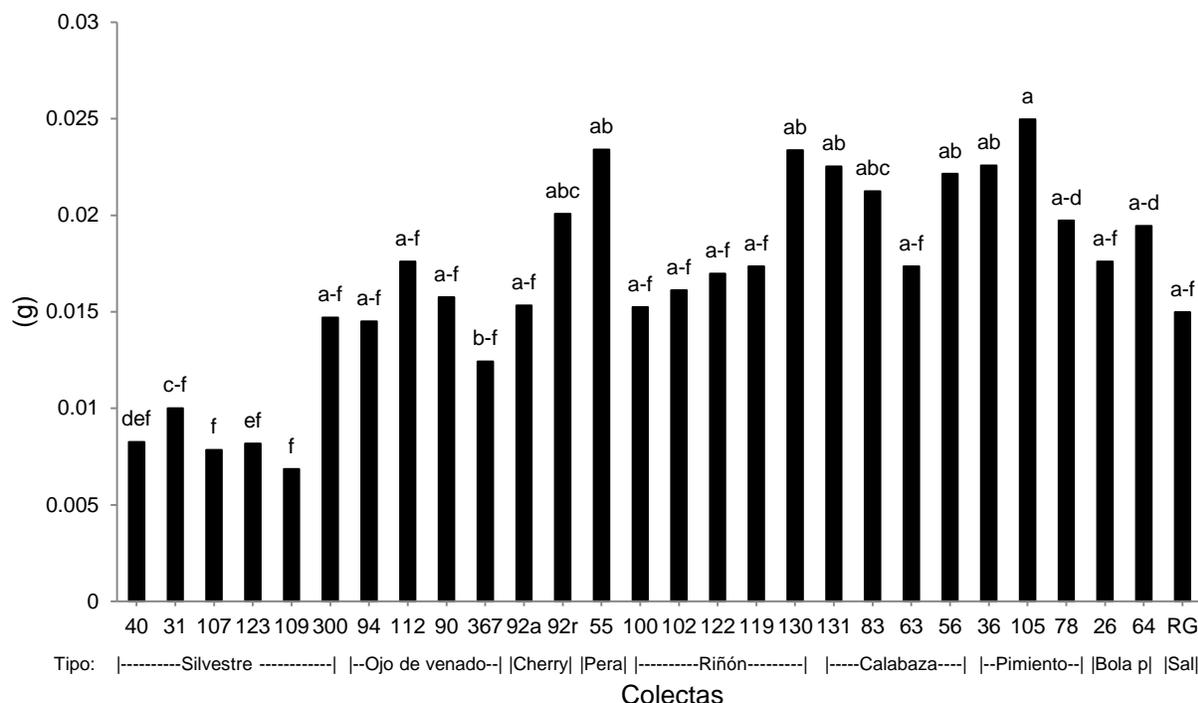


Figura 24. Peso seco de plántula de 27 colectas de tomate nativo y una variedad comercial. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Rio Grande.

#### 4.3.11. Porcentaje de germinación de semilla sometida a envejecimiento acelerado

En condiciones óptimas, la semilla puede resultar en niveles de germinación igualmente altos. Sin embargo, estas mismas semillas bajo las condiciones más estresantes pueden tener habilidades muy contrastantes para establecerse en campo por lo que no es práctico medir el porcentaje de viabilidad con suficiente precisión en las pruebas de germinación estándar. Es posible una determinación más precisa de este potencial de rendimiento si las semillas se someten primero a un envejecimiento rápido en condiciones controladas (Finch y Bassel, 2016).

La evaluación del porcentaje de germinación después de la prueba de envejecimiento acelerado (Figura 25) presentó una alta variabilidad, entre 23 y 99%. Con mayor porcentaje se encontraron las colectas 31, 300 de fruto tipo silvestre,

94, 112, 90, 367 de fruto tipo ojo de venado, 92a y 92r tomates con fruto tipo cherry, 55 de fruto tipo pera, 100, 102, 119 fruto tipo riñón, 63 fruto tipo calabaza, 105 y 78 de fruto tipo pimiento, 26 y 64 de fruto tipo bola y el testigo Rio Grande, esto indica que el 70% de las colectas evaluadas presentó germinación entre 76 y 99% con el mismo grupo estadístico. Las colectas con los valores más bajos fueron 40, 107, 123 y 109, con fruto tipo silvestre y porcentajes de 20 a 42 %. En semilla no envejecida, el porcentaje de germinación en 92% de las colectas evaluadas varió entre 85 y 100%.

Si bien se observa el efecto del deterioro de las semillas a ser sometidas a humedad de 100% y temperatura de 42°C, también se aprecia que las colectas 40 (silvestre), 112, 90 (ojo de venado), 92r (cherry), 55 (pera), 119 (riñón) y 36 (pimiento) mostraron similar porcentaje de germinación en la prueba estándar, por lo tanto son semillas con vigor, es decir, poseen propiedades que determinan la actividad y desempeño de los lotes de semillas para una germinación aceptable en un amplio rango de ambientes (ISTA, 2017).

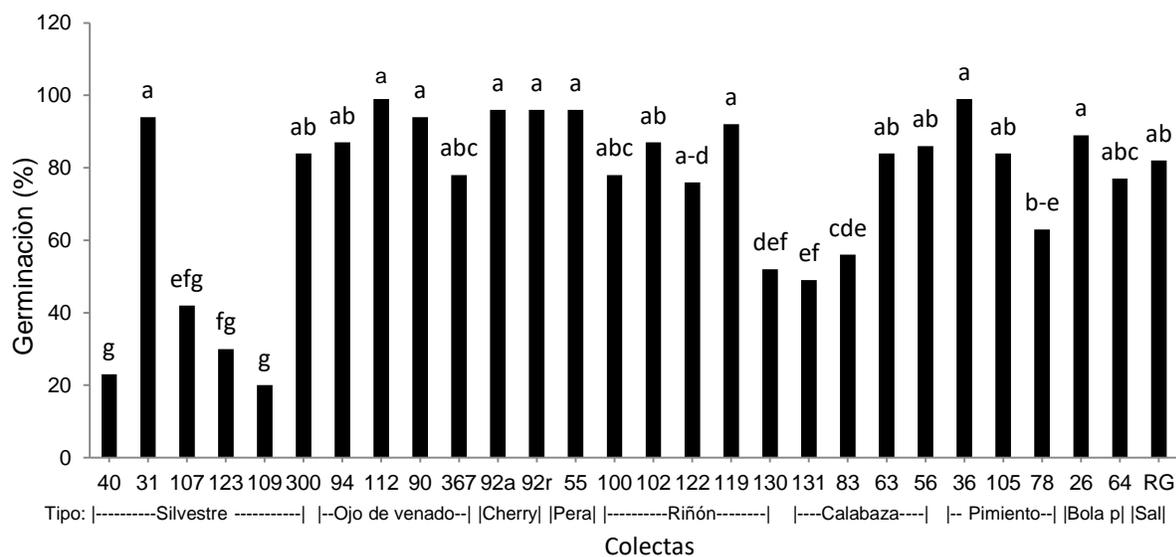


Figura 25. Porcentaje de germinación de 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### **4.3.12. Índice de emergencia de la radícula sometida a envejecimiento acelerado**

El efecto de deterioro disminuyó el índice de emergencia de la radícula en 23 colectas y el testigo (Figura 26), mientras que en las colectas 112 (fruto tipo ojo de venado), 92a (fruto tipo cherry) y 119 (fruto tipo riñón) no se disminuyó su índice de emergencia ni su porcentaje de emergencia (>90%). Sin embargo, sobresale la colecta 112 con germinación de 99% e índice de velocidad de emergencia de la radícula de 9.3 en semilla sometida a envejecimiento, por lo tanto se considera la colecta más sobresaliente en calidad fisiológica, es decir, con el potencial de germinación y vigor que conduce a posterior desarrollo de plántulas y establecimiento de cultivos (Finch y Bassel 2016). Otro grupo de colectas (31, 92r, 55, 36 y 26) en las que el envejecimiento acelerado no redujo el porcentaje de germinación (6% o menos de reducción), pero sí afectó el índice de velocidad de emergencia de la radícula. Por otro lado, las cuatro colectas más afectadas negativamente por el envejecimiento acelerado fueron 40, 123 (fruto tipo silvestre), 130 (fruto tipo riñón) y 131 (fruto tipo calabaza), con reducciones de 45% o más en germinación y de 55% o más en índice de velocidad de emergencia de la radícula, lo que coloca a estas colectas como de bajo vigor al tolerar poco la condición de estrés en envejecimiento (Baalbaki *et al.* 2009).

Los resultados mostraron que las diferencias estadísticamente no significativas en el porcentaje e índice de emergencia sin deterioro encubren mayores diferencias significativas que se pueden observar tras la realización de la prueba de envejecimiento acelerado.

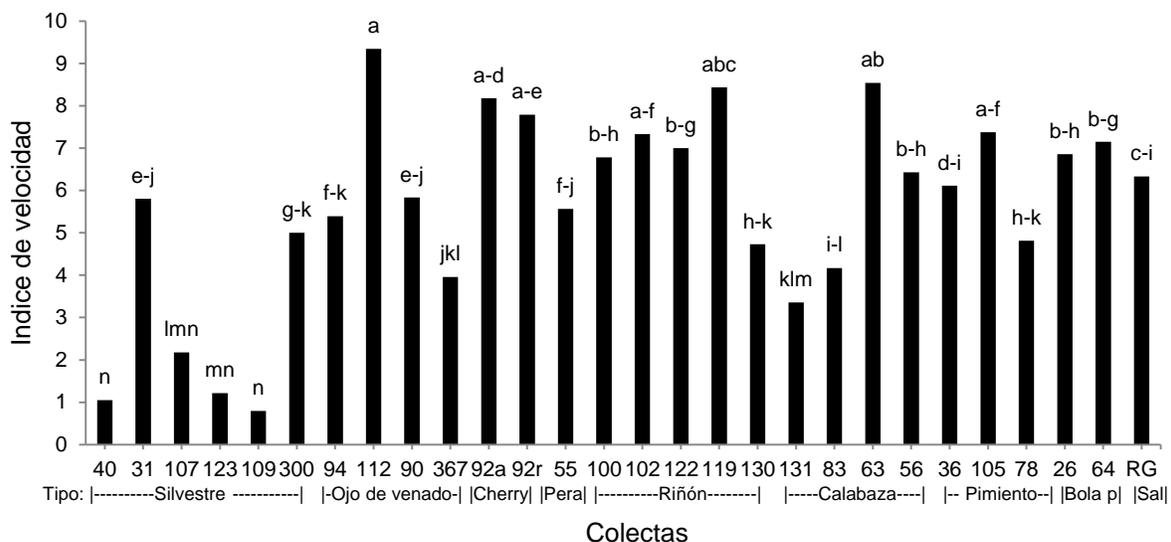


Figura 26. Índice de velocidad de emergencia de la radícula 27 colectas nativas y una variedad comercial de tomate. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Bola p: bola plana, Sal: saladette, RG: variedad comercial Río Grande.

#### 4.3.13. Análisis de coordenadas principales

En el análisis de coordenadas principales, el PCO1 presentó el 63.8 % del total de la variación, el PCO2 el 32.3 % y entre ambos el 96.1% de la variación total. Retomando que se evaluó semilla de frutos con diferente forma y tamaño se pudo confirmar que la condición de tipo de fruto no determinó el patrón de variación, ni explica la formación de los grupos para las variables evaluadas (Morales-Saavedra *et al.* 2019).

Se logró establecer claramente agrupamientos al obtener un dendrograma en el corte de una distancia euclídeana de 11 (Figura 27). Los grupos obtenidos fueron grupo I donde se encuentra la colecta 109, grupo II conformado por 40 y 123, grupo III conformado por las colectas 107, 64, 26 y 122, grupo IV donde se encuentran las colectas 130, 131, 83 y 78, por último el grupo V conformado por las colectas 112, 31, 55, 64, 63, 92<sup>a</sup>, 92<sup>r</sup>, 102, 119, 100, 51, 90, 94, 300, 367, 36, 105 y la variedad comercial Río Grande.

Los grupos obtenidos y sobrepuestos a la proyección de las coordenadas 1 y 2 (Figura 28) muestran su similitud entre colectas, el grupo I donde solo se encuentra la colecta

109, muestra disimilitud respecto a los demás grupos y ubicándose con mayor tendencia a la variable número de semillas por fruto, las colectas dentro del grupo II muestran similitud principalmente por las variables de porcentaje de germinación y número de semillas por fruto, el grupo III por las variables de porcentaje de germinación, número de semillas por fruto y peso volumétrico, el grupo IV por porcentaje de germinación antes y después de la prueba de envejecimiento así como también por la variable número de semillas por fruto, el grupo V presentan mayor similitud por peso volumétrico, porcentaje de germinación antes y después de la prueba de envejecimiento, número de semillas, índice de velocidad de emergencia.

Las poblaciones mexicanas de tomate registran amplia diversidad en cuanto a características de interés agronómico (Maldonado-Peralta, 2016), misma que poseen las colectas evaluadas, el agrupamiento permitió observar qué colectas son más sobresalientes comparando variables de calidad física y fisiológica de semilla, las pertenecientes al grupo V que presentaron similitud respecto a una variedad comercial en las variables fisiológicas y la producción de semillas de fruto indican que podrían ser consideradas para un comercio formal de semillas, reafirmando que tomates nativos tienen un gran potencial para ser usados directamente como variedades (Bonilla-Barrientos *et al.* 2013).

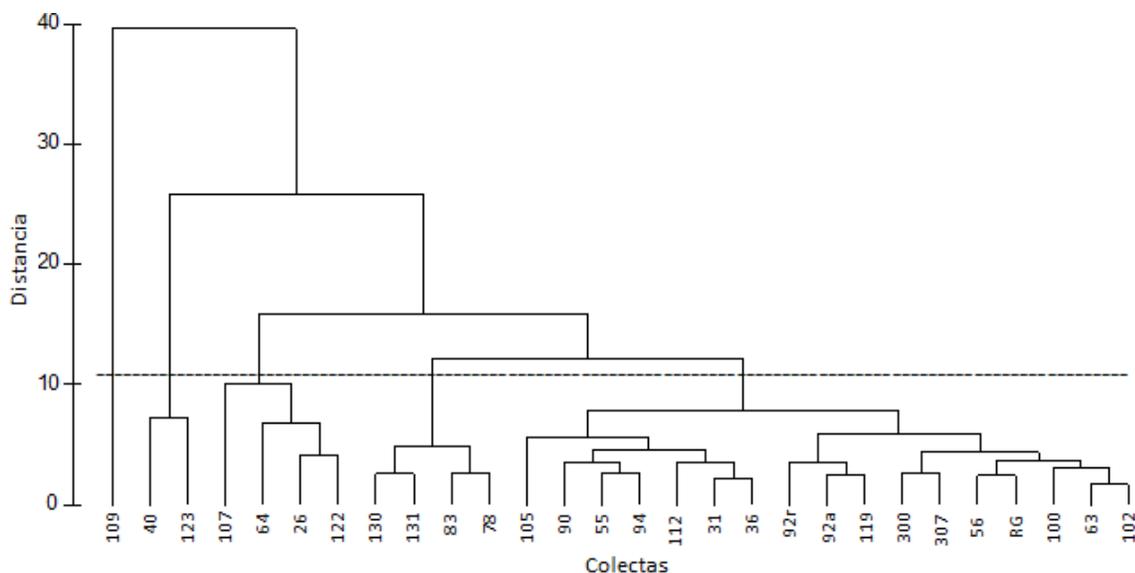


Figura 27. Dendograma generado a partir de datos obtenidos en rendimiento, calidad física y fisiológica de semillas de 27 colectas nativas de tomate y la variedad comercial Rio Grande.

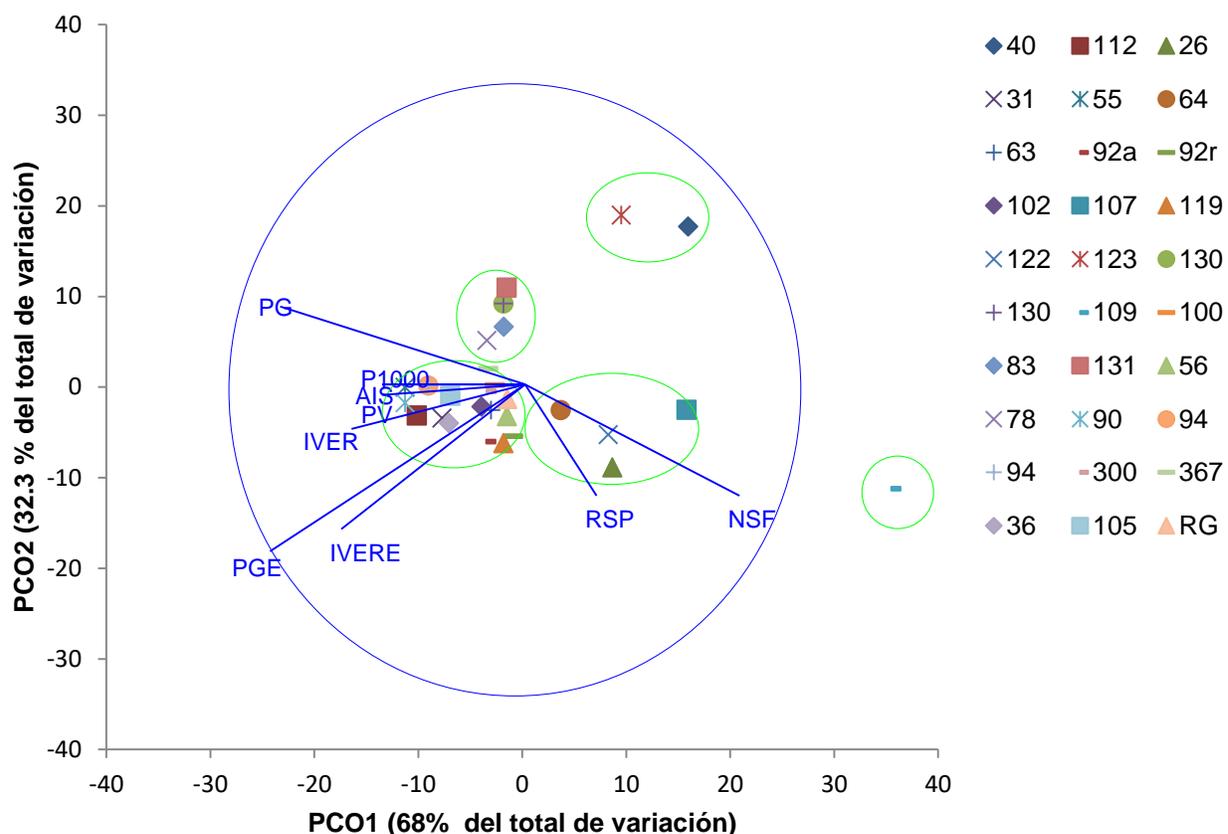


Figura 28. Análisis de coordenadas principales de 27 colectas nativas de tomate y una variedad comercial, con agrupamiento sobrepuesto.

#### 4.4. Discusión general

El problema principal de las poblaciones nativas de jitomate es el desconocimiento, en la mayoría de los casos, del crecimiento vegetativo en condiciones de producción intensiva en semilleros y en densidad poblacional alta (Hernández *et al.* 2010), por lo que las determinaciones obtenidas en esta investigación proporcionan información relevante para la producción. Con menor distancia entrenudos y sin diferencia estadística del testigo se encuentran las colectas 367 (fruto tipo ojo de venado), todos los tomates tipo

riñón, las colectas 83 y 63 de tipo calabaza y la colecta 64; con posible uso como porta injertos las colectas 300 (fruto tipo silvestre), 94 (fruto tipo ojo de venado), 100 (fruto tipo riñón) y la 56 (fruto tipo calabaza) pueden ser una posibilidad.

Existe una amplia diversidad entre las poblaciones de tomate mexicano, diversidad que demuestra variación genética en atributos agronómicos y de calidad de fruto, la cual ofrecen amplias posibilidades de selección por tamaño de planta, y por rendimiento y calidad de fruto (Maldonado *et al.* 2016).

Los tomates nativos presentan una mayor calidad organoléptica que los frutos de híbridos modernos de jitomate (Ramírez, 2010) y su caracterización es esencial para la búsqueda de fuentes de variación para la reproducción en programas enfocados en rasgos de calidad, para la selección directa de las variedades y condiciones ambientales más adecuadas para la calidad mercados (Cebolla *et al.* 2011) o industrialización (Intelmann *et al.* 2005).

Determinaciones como el contenido total de sólidos solubles, o la acidez titulable se han relacionado con la calidad organoléptica, pero para una caracterización más precisa se recurre a la determinación del contenido de los azúcares reductores fructosa y glucosa, el ácidos cítrico y málico, y la relación entre azúcares reductores y ácidos (Cebolla *et al.* 2011), El contenido de sólidos solubles está fuertemente relacionado con la preferencia del consumidor únicamente en los híbridos de frutos pequeños, pero no en el caso de híbridos de frutos grandes (Causse *et al.* 2003).

Lograr características de calidad adecuadas de las frutas que satisfagan las propiedades tecnológicas y del consumidor es un requisito previo para la elegibilidad y el alcance de la producción futura (Cota *et al.* 2013).

De manera general las colectas sobresalientes en las variables de calidad de fruto fueron las colectas 92 de tomate rojo tipo cherry que se encontró en los valores más altos de firmeza, así como en el contenido de sólidos solubles totales. La colecta 55 tipo pera se encontró en los valores más altos de firmeza e índice de redondez, sin embargo, la fisiopatía (Blossom End Rot) presentada definitivamente es una desventaja para su posible producción comercial del fruto. Con los valores más altos en firmeza de fruto

también se encontró la colecta 56. Las colectas pertenecientes al grupo de tipo silvestre tienen los valores más bajos de firmeza, cabe destacar que dentro de este tipo de tomate la colecta 31 tipo silvestre se encontró dentro de los tomates con mayor contenido de sólidos solubles totales.

En la variable índice de redondez las colectas 109 (fruto tipo silvestre), 105 (fruto tipo pimiento) y el testigo se encontraron entre los valores más altos. De las variables evaluadas esta fue la única en la que el testigo se encontró dentro las medias más altas.

La determinación de color en cuanto a luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz es una medida externa de calidad en cuanto a madurez de fruto para su consumo y a su vez proporciona información si el fruto es preferido en productos industrializados (Intelmann *et al.* 2005).

La colecta 92 de fruto color rojo fue superior en todas las variables de calidad de evaluadas incluso superior al fruto de la misma colecta, pero en color amarillo.

Podemos determinar que los tomates nativos poseen características de calidad de frutos (firmeza, índice de redondez, grados brix) igual o mayores que la variedad comercial Rio Grande.

Los tomates nativos evaluados ofrecen amplias posibilidades de selección por tamaño de planta, por rendimiento, calidad de fruto (Maldonado *et al.* 2016), como alternativa para estrés salino o bajas temperaturas (Sanjuan-Lara 2013, Gervacio-Canales 2017, Ramírez-Villa 2018, Javier-Espinoza 2016), por lo que determinar la calidad de semilla es de suma importancia para su reproducción.

El tiempo, la velocidad, la homogeneidad y la sincronización de la germinación son medidas críticas para determinar la calidad de semilla (Ranal and Santana 2006). Si bien el porcentaje de germinación es un parámetro importante de la calidad de semilla, la prueba de velocidad de emergencia permite obtener mejores estimadores de vigor de las plántulas, las poblaciones nativas y el testigo no presentaron alta variabilidad entre sí en el porcentaje de germinación, pero sí en la velocidad de emergencia. Existe una

correlación altamente significativa de la velocidad de germinación respecto a variables como área, peso, volumen y peso seco de plántula.

Las colectas con mayor peso y área de semilla pertenecieron a frutos grandes tipo pera, riñón, calabaza, pimiento y bola plana, se encuentran en el grupo de mayor índice de emergencia. La colecta 55 de fruto tipo pera si bien presenta calidad fisiológica de semilla tiene como desventaja una baja producción de semillas por fruto (2.26 semillas). Las colectas 122 tipo riñón, y 26 tipo bola plana además de tener calidad fisiológica producen una buena cantidad de semillas por fruto para su reproducción. Las colectas de tipos silvestres y ojo de venado presentaron el menor peso y área, y en el tipo silvestre se encontraron los más bajos porcentajes de germinación, por ejemplo, la colecta 107 que obtuvo la media de menor porcentaje de germinación (30%) a su vez tiene un mayor número de semillas producidas por fruto. Los resultados obtenidos representan la idea de compensaciones entre el número de semillas y la supervivencia de las plántulas donde las especies de semillas más pequeñas son colonizadores superiores y las especies de semillas más grandes son competidores superiores (Coomes and Grubb 2003).

Podemos determinar que los tomates nativos poseen calidad física y fisiológica igual o superior al testigo evaluado que es una variedad comercial, este análisis de calidad es importante debido a que a nivel comercial la baja calidad de la semilla tiene una penalización financiera en la producción de plántula en invernadero a través del desperdicio de espacio, materiales y reducción de la calidad del producto resultante de la falta de uniformidad (Khan 2013).

## **5. CONCLUSIONES**

Las variables evaluadas en características agronómicas y calidad de fruto permitieron identificar colectas sobresalientes. Las colectas 300, 94, 100 y 56 destacaron por destinar un mayor porcentaje de biomasa a raíz por lo que podrían ser usadas como portainjertos. La colecta 92 que es un fruto cherry color rojo posee valores de importancia para el mercado en fresco al ser un fruto firme, dulce y con rendimiento por planta de 4.6 kg, además contiene semilla que germina al 100% lo que facilita su reproducción. Las

colectas 105 y 78 de tipo pimiento son frutos grandes con firmeza, con rendimientos por planta de 5.6 y 4.6 kg respectivamente, el número de semillas que contiene en fruto es de 8.3 y 7.9 semillas, variable deseable en alimentos procesados o uso en fresco dependiente de la preferencia del consumidor, este reducido número de semillas podría ser un factor que negativamente afecte su reproducción a una escala de producción comercial sin embargo, a su favor, es semilla con vigor y posee porcentajes de germinación altos (96 y 91 %).

Las colectas de jitomate nativo presentan una amplia variabilidad en el rendimiento de semilla por planta, desde 0.34 g/planta (colecta 55 tipo pera) a 11.93 g/planta (colecta 92r, tipo cherry) y once colectas produjeron más semilla por planta que la variedad comercial. El 92% de las colectas estudiadas presentaron porcentajes de germinación entre 85 y 100%, y solo 30% de las colectas mantuvieron su porcentaje de germinación, al someter la semilla a envejecimiento acelerado.

Existe una estrecha relación entre variables biométricas y el índice de velocidad de emergencia.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aung L.H. (1976) Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of American Society for Horticultural Science* 101:358-360.
- Azcón-Bieto J. y M. Talón (2003) Fundamentos de Fisiología Vegetal. 3ª reimpresión. McGraw-Hill Interamericana. USA. 651 p.
- Baalbaki R., S. Elias, J. Marcos-Filho, y M.B. McDonald (2009) Manual de Pruebas de Vigor de Semillas. Association of Official Seed Analysts. USA. 32 p.
- Baskin C. C. and J. M. Baskin (1998) Seed: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press. USA. 666 p.

- Bastías-Marín E. (2008) Biodiversidad y recursos fitogenéticos en la agricultura. *Revista de agricultura en zonas áridas* 26(1): 5-7. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292008000100001>
- Bell, D., D. Rokich, C. McChesney and J. Plummer (1995) Effects of temperature, light and gibberellic acid on the germination of seeds of 43 species native to Western Australia. *Journal of Vegetation Science* 6: 797-806. <http://doi.org/10.2307/3236393>
- Bewley J. D. and M. Black (1982) *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination Vol. II Viability, Dormancy and Environmental Control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin. 375 p.
- Bishaw Z., A. A. Niane, and Y. Gan. (2007) Quality seed production. In: *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*. S.S. Yadav, D. L. McNeil, and P.C. Stevenson (eds). Springer, Dordrecht, Netherlands. 448 p.
- Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavaleta, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal, A. Hernández-Bautista (2014) Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(2):129-139. <http://doi.org/10.35196/rfm.2014.2.129>
- Bugbee B. and J.W. White (1984) Tomato growth as affected by root zone temperature and the addition of gibberellic acid and kinetin to nutrient solutions. *American Society for Horticultural Science* 109:121-125.
- Calvert, A. (1966) Temperature requirement of the young tomato plant. *Acta Horticulturae* 4: 12-17. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1966.4.2>
- CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2015) Reporte: Las semillas en México. <http://www.cedrssa.gob.mx/publicaciones.htm> (Septiembre 2020)

- Chong C., B.B. Bible, and J. Hak-Yoon (2002) Germination and emergence. *In*: M. Pessaraki (ed.). Handbook of Plant and Crop Physiology. 2a. ed. Marcel Dekker. New York, USA. 1031 p.
- Copeland L. O. and M. B. Mc Donald (1985) Principles of Seed Science and Technology. 2nd. Ed. Burgess Publishing Company. USA. 467 p.
- Daws, M., D. Burslem, L. Crabtree, P. Kirkman, C, Mullins (2002) Differences in seed germination responses may promote coexistence of four sympatric Piper species. *Functional Ecology* 16: 258-267. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00615.x>
- Domínguez-García I. A., J. R. Altamirano-Cárdenas, A. F. Barrientos-Priego, A. V. Ayala-Garay (2019) Análisis del sistema de producción y certificación de semillas en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(4): 347-356. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43985>
- Escobar H. y R. Lee (2009) Manual de Producción de Tomate bajo Invernadero. 2 ed. Fundación Universidad de Bogotá. Bogotá, Colombia. 180 p.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations FAOSTAT. Statistical Database (2020a) <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (Diciembre 2020)
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020b) International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. <http://www.fao.org/plant-treaty/en/> (Septiembre 2020)
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020c) Semillas. <http://www.fao.org/seeds/es/> (Septiembre 2020)
- Finch, W. E. and G. W. Bassel (2016) Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67(3): 567-591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- Flores-Hernández L. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, D. M. Sargerman-Jarquín and M. J. Velasco-Alvarado (2017) Parientes silvestres del

- tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(1): 83-91. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.83-91>
- García-López J. I., N. A. Ruiz-Torres, R. H. Lira-Saldivar, I. Vera-Reyes y B. Méndez-Argüello (2014) Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. Minisimposio Taller Agronano Tecnología. Centro de investigación de química aplicada. Saltillo, Coahuila. pp: 129-140. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334> (Septiembre 2020)
- García-Rodríguez J. J., M. A. Ávila-Perches, F. P. Gámez-Vázquez, M. de la O-Olán y A. J. Gámez-Vázquez (2018) Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:31-37. <https://10.35196/rfm.2018.1.31-37>
- George R. A. T. (1999) Vegetable Seed Production. CABI Publishing. New York, USA. 327 p.
- Gervacio-Canales A. (2017) Caracterización de familias sobresalientes de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicon* L.) en hidroponía e invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Texcoco, Edo. de México, México.
- Granados-Sánchez D., G. F. López-Ríos; M. A. Hernández-García (2009) Recursos genéticos, biotecnología y propiedad intelectual. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 127-140.
- Harper L.A, J. E. Pallus and R. R. Bruce (1979) Greenhouse microclimate for tomatoes in the southeast. *Journal of American Society for Horticultural Science*. <https://doi.org/10.21273/JASHS.104.6.659>
- Hernández-Leal E., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, D. Reyes-López, A. Méndez-López, O. Bonilla-Barrientos y A. Hernández-Bautista (2013) Comportamiento

- agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum Lycopersicon* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3): 209-215.
- Hoyt E. (1992) Conservando los Parientes Silvestres de las Plantas Cultivadas. Trad. Enrique Forero. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. Delaware, USA. 52 p.
- ISF, International Seed Federation (2017a) Export of seed for sowing by country. [https://www.worldseed.org/wpcontent/uploads/2019/06/Exports\\_2017Final.pdf](https://www.worldseed.org/wpcontent/uploads/2019/06/Exports_2017Final.pdf) (Octubre 2020)
- ISF, International Seed Federation (2017b) Imports of seed for sowing by country. [https://www.worldseed.org/wpcontent/uploads/2019/06/Imports\\_2017Final.pdf](https://www.worldseed.org/wpcontent/uploads/2019/06/Imports_2017Final.pdf) (Octubre 2020)
- ISTA, International Seed Testing Association International (2017) Rules for seed testing. Ed. ISTA Bassersdorf, Switzerland.
- ITIS, Integrated Taxonomic Information System 2020. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=521671#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671#null) (Octubre 2020)
- Javier-Espinoza D. M. (2016) Regeneración in vitro vía organogénesis de *Solanum lycopersicum* Mill tolerante a bajas temperaturas. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados, Estado de México, México.
- Kinet J. M. (1977) Effect of light condition on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6: 15-26. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(77\)90074-7](https://doi.org/10.1016/0304-4238(77)90074-7)
- Koornneef M., L. Bentsink, and H. Hilhorst (2002) Seed dormancy and germination. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 33-36. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(01\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(01)00219-9)
- Kyereh, B., M. Swaine and J. Thompson (1999) Effects of light on the germination of forest trees in Ghana. *Journal Ecology* 87: 772-783. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00386.x>

- Loch D. S. and K. G. Boyce (2003) Balancing public and private sector roles in an effective seed supply system. *Field Crops Research* 84:105-122. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00144-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00144-8)
- López-Marín L. (2017) Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 125 p. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf> (Octubre 2020)
- McGuire, R. G. (1992) Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience* 27 (12):1254-1255.
- Maguire J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Maldonado-Peralta R (2017) Análisis de crecimiento y respuesta a sequía en poblaciones nativas de tomate. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México.
- Maldonado- Peralta R. Ramírez-Vallejo, V. A. González-Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz, N. Cruz-Huerta (2016) Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agro Productividad* 9 (12): 68-75.
- Marcos-Filho J. (2015) Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola* 72 (4): 363-374. <https://doi.org/10.1590 / 0103-9016-2015-0007>
- Marcos-Filho J., A. L. Pereira-Kikuti, L. Baptista-de-Lima (2009) Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. *Revista Brasileira de Sementes* 31(1): 102-112. <https://doi.org/10.1590/s0101-31222009000100012>

- Martínez-Solís J., J. Virgen-Vargas, M. G. Peña-Ortega, y A. Santiago-Romero (2010) Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3): 289-304.
- Mastretta-Yanes A., M. R. Bellon, F. Acevedo, C. Burgeff, D. Piñero, y J. Sarukhán, (2019) Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(4): 321-334. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.321-334>
- Megias M., P. Molist, M. A. Pombal (2019) Atlas de histología vegetal y animal: Órganos vegetales, semilla. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología, Universidad de Vigo. España. [https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos\\_v/guiada\\_o\\_v\\_semilla.php](https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos_v/guiada_o_v_semilla.php) (Octubre 2020)
- Morales-Saavedra J. C., F. A. Rodríguez-Zaragoza, D. Cabrera-Toledo, C. V. Sánchez-Hernández, O. Vargas-Ponce (2019) Agromorphological characterization of wild and weedy populations of *Physalis angulata* in Mexico. *Scientia horticultrae* 246: 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.055>
- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development (2018) Concentration in Seed Markets: Potential Effects and Policy Responses, OECD Publishing, París. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/97892643083675en/index.html?itemId=/content/component/9789264308367-5-en> (Septiembre 2020)
- Orona-Castro F., V. Pecina-Quintero, M. A. Rocha-Peña, V. M. Parga-Torres, O. Martínez y I. H. Almeyda-Leon (2004) Caracterización de variedades y líneas élite de papa (*Solanum tuberosum* L.) en México utilizando marcadores RAPD y SSR. *Phyton* 2004: 289-300.
- Peralta I. E., and D. M. Spooner (2007) History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). *In: Genetic Improvement of Solanaceous Crops vol. 2: Tomato*. M. K. Razdan and A. K. Mattoo (eds.). Science Publisher. USA. pp. 1-24.

- Pezoa-Cancino A. 2001. Estrategias de Conservación de la Diversidad Biológica. *In*: Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Squeo F.A., G. Arancio, y J.R. Gutiérrez (eds.). Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile. pp: 273 – 280.
- Pons T. (2000) Seed responses to light. *In*: Seeds: The Ecology of Regeneration in Plants Communities. Fenner M. (ed.). CAB International, Wallingford, UK. Centre for Agricultural Bioscience International pp. 237- 260.
- Poulsen K. (1999) Análisis de semillas. *In*: Técnicas para la Escarificación de Semillas Forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. pp. 14-20.
- Probert R. (2000) The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. *In*: M. Fenner (ed.). Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. CAB International. Wallingford, UK. pp 261-292.
- Ramírez-Villa M. D. (2018) Tolerancia a bajas temperaturas en tomates semicultivados. Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados, Edo. de México, México.
- Rashid M. A. and D. P. Singh (2000) A manual on Vegetable Seed Production in Bangladesh. Horticulture Research Centre. Bangladesh. 119 p.
- Robledo-Torres V., M. M. Ramírez-Garza, M. E. Vázquez-Badillo, N. A. Ruiz-Torres, V. M. Zamora-Villa y F. Ramírez-Godina (2010) Producción de semilla de calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.) con acolchados plásticos fotoselectivos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:265-270.
- Sabry G.E. (2018) The importance of using high quality seeds in agriculture systems. *Agricultural Research and Technology* 15(4): 100-101. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.15.555961>
- Sandoval-Ceballos, M. G. 2018 Rendimiento y calidad de tomates nativos mexicanos (*Solanum lycopersicum* L.) y análisis de expresión génica en la síntesis de

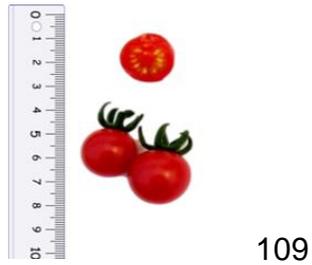
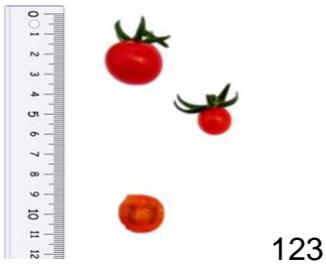
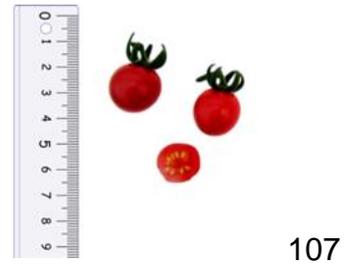
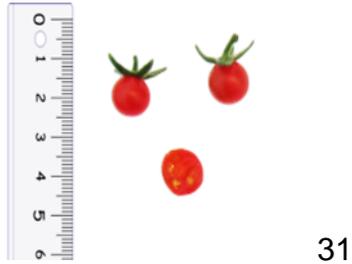
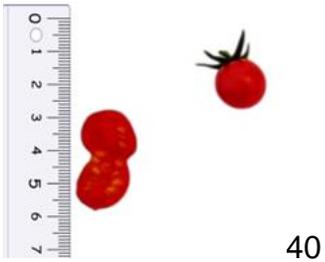
- carotenoides. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Posgraduados, Texcoco, Edo. de México, México.
- Sangermán-Jarquín D. M., M. de la O-Olán, A. J. Gámez-Vázquez, A. Navarro-Bravo, M. Á. Ávila-Perches y R. Schwentesius-Rindermann (2018) Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juanlxtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays var. tunicata* A. St. Hil.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:451-459.
- Sanjuan-Lara F. (2013) Portainjertos de jitomate nativos (*Solanum lycopersicum* L.) tolerantes a niveles altos de conductividad eléctrica en la solución nutritiva. Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados, Texcoco, Edo. De México, México.
- Seminis (2017) Recomendaciones para sembrar tomate saladette. <https://www.seminis.mx/blog-recomendaciones-para-sembrar-tomate-saladette/#:~:text=En%20cuanto%20a%20tipo%20de,rango%20de%206.2%20a%206.8> (Octubre 2020)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2015). <http://www.siap.gob.mx/cierre-dela-produccion-agricola-por-cultivo/> (Octubre 2020)
- Smith, J. and Register III, J. (1998). Genetic purity and testing technologies for seed quality: a company perspective. *Seed Science Research* 8(2):285-294. <https://doi.org/10.1017 / S0960258500004189>
- Soto-Gonzales J. L. y S. Valiengo-Valeri (2011) Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa*. *Bosque (Valdivia)* 32(2): 197-202.
- Squeo F.A., Arancio G. y Gutiérrez J.R. (2001) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 456 p.

- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. 633-649 pp.
- Torres A. (2017) Manual del Cultivo de Tomate Bajo Invernadero. Boletín INIA / N° 377 Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 111 p.
- Vallejo-Cabrera F. A., y E.I. Estrada-Salazar (2004) Producción de Hortalizas de Clima Cálido. Universidad Nacional Autónoma de Colombia, Editorial UN Montevideo. Colombia. 345 p.
- Vázquez C., A.Orozco, E. Rincón, M. Sánchez and P. Huante (1990) Light beneath the litter in a tropical forest: Effect on seed germination. *Ecology* 71: 1952-1958. <https://doi.org/10.2307/1937603>
- Velasco-Hernández E., R. Nieto-Angel y E. R. Navarro-López (2011) Cultivo de Jitomate en Hidroponía e Invernadero. Biblioteca Básica de Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo: Colegio de Postgraduados: Mundi-Prensa. México. 128 p.
- Vera-Sánchez K. S., J. Cadena-Iñiguez, L. Latournerie-Moreno, J. F. Santiaguillo-Hernández, A. Rodríguez-Contreras, F. A. Basurto-Peña, D. Castro-Lara, E. Rodríguez-Guzmán, P. López-López y E. Ríos-Santos (2016) Conservación y Utilización Sostenible de las Hortalizas Nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México. 132 p.
- Welbaum G.E., K.J. Bradford, Kyu-Ock Yin, D.T. Booth, and M.O. Oluoch (1998) Biophysical and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Research* 8:161-172.
- Went F.W. (1994) Plant grow under controlled conditions. *American Journal of Botany* 31: 135-150. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1944.tb08011.x>

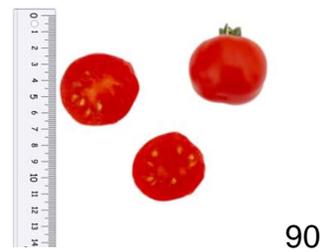
# ANEXOS

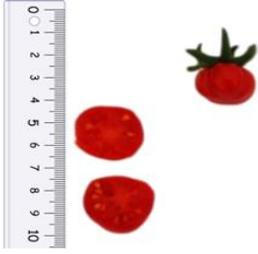
## ANEXO 1. Tipo de frito de cada colecta evaluada, clasificadas por tipo de fruto.

### Tipo silvestre



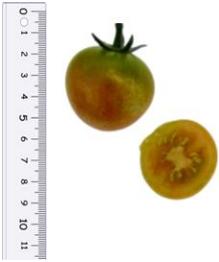
### Ojo de venado



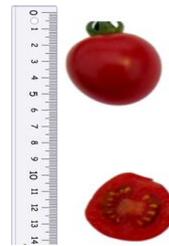


367

Cherry

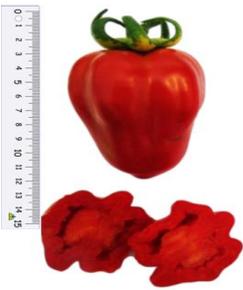


92



92

Pera



55

# Riñón



100



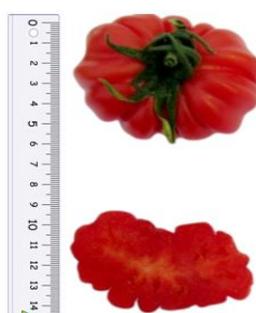
102



122



119



130

# Calabaza



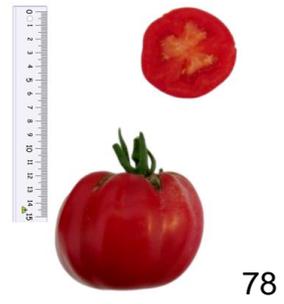
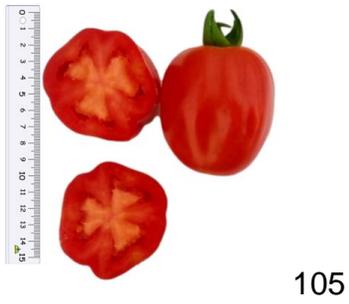
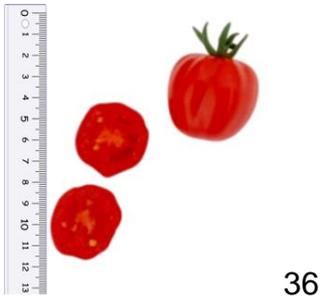
131



83



Pimiento



Bola plana



Saladette



Rio Grande

ANEXO 2. Promedio de variables agronómicas.

| Tipo de fruto | Colectas | Peso seco de raíz (g) | Peso seco de tallo (g) | Peso seco de hoja (g) | Rendimiento de fruto por planta (g) | Primer cosecha (DDT) |
|---------------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Silvestre     | 40       | 20.46                 | 55.12                  | 148.75                | 59                                  | 64                   |
|               | 31       | 21.34                 | 70.85                  | 128.59                | 60.91                               | 64                   |
|               | 107      | 18.65                 | 61.95                  | 167.47                | 175.33                              | 64                   |
|               | 123      | 22.23                 | 78.21                  | 131.16                | 78.58                               | 64                   |
|               | 109      | 15.66                 | 57.73                  | 174.48                | 174.25                              | 64                   |
|               | 300      | 32.80                 | 74.85                  | 171.26                | 92.41                               | 64                   |
| Ojo de venado | 94       | 38.44                 | 111.38                 | 194.84                | 270.16                              | 81                   |
|               | 112      | 28.82                 | 93.54                  | 186.71                | 502.25                              | 81                   |
|               | 90       | 20.81                 | 99.20                  | 205.75                | 567.75                              | 81                   |
|               | 367      | 27.21                 | 79.01                  | 181.19                | 353.83                              | 81                   |
| Cherry        | 92a      | 10.26                 | 84.48                  | 136.23                | 1965.75                             | 82                   |
|               | 92r      | 18.35                 | 92.15                  | 154.89                | 4655.66                             | 81                   |
| Pera *        | 55       | 27.81                 | 137.52                 | 232.70                | 3390.66                             | 111                  |
| Riñón         | 100      | 29.98                 | 90.31                  | 155.57                | 611.43                              | 81                   |
|               | 102      | 18.99                 | 95.01                  | 110.99                | 968.58                              | 81                   |
|               | 122      | 16.65                 | 115.72                 | 103.63                | 1886.08                             | 81                   |
|               | 119      | 18.01                 | 101.81                 | 229.91                | 1769.33                             | 81                   |
|               | 130      | 22.85                 | 139.63                 | 154.21                | 3298.50                             | 81                   |
| Calabaza      | 131      | 20.44                 | 123.00                 | 152.74                | 2350.41                             | 90                   |
|               | 83       | 23.22                 | 130.78                 | 125.47                | 1280.79                             | 81                   |
|               | 63***    | 10.32                 | 66.01                  | 138.07                | 3839.75                             | 81                   |
|               | 56       | 31.89                 | 133.03                 | 128.68                | 2997.94                             | 81                   |
| Pimiento      | 36       | 21.14                 | 98.76                  | 282.11                | 1610.25                             | 81                   |
|               | 105      | 33.25                 | 172.60                 | 201.25                | 5647.08                             | 100                  |
|               | 78       | 21.84                 | 102.10                 | 191.55                | 4692.66                             | 100                  |
| Bola plana    | 26**     | 34.50                 | 143.27                 | 210.68                | 2369.83                             | 91                   |
|               | 64***    | 11.09                 | 55.98                  | 116.726               | 2850.33                             | 81                   |
| Saladette     | RG       | 10.35                 | 50.77                  | 135.06                | 2480.25                             | 93                   |

DDT=Días después de trasplante, \*Susceptible a blossom end rot, \*\* Susceptible a moho negro (Agente causal: *Alternaria alternata*), \*\*\* Susceptible a cenicill (agente causal: *Leveillula taurica*)