



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



INSTITUTO DE HORTICULTURA

**Caracterización morfo-agronómica de 15
poblaciones silvestres de tomate (*Solanum
lycopersicum* L.)**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Presenta:

ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ

Bajo la supervisión de Dr. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO



APROBADA



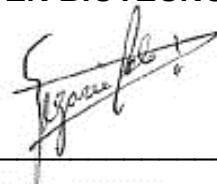
Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México, abril de 2021

**CARACTERIZACIÓN MORFO-AGRONÓMICA DE 15 POBLACIONES
SILVESTRES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

Tesis realizada por **Rommel Ibrahin Alvarado Rodríguez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

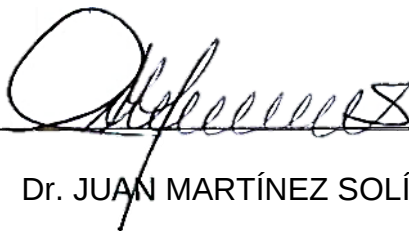
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR: _____



Dr. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO

ASESOR: _____



Dr. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS

ASESOR: _____



Dr. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR: _____



Dr. ALEJANDRO FACUNDO BARRIENTOS PRIEGO

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
III. HIPÓTESIS	6
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
4.1. Origen y distribución	7
4.2. Descripción taxonómica	13
4.3. Diversidad genética	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS	28
5.1. Ubicación del estudio	28
5.2. Material biológico	28
5.3. Desinfección y siembra	29
5.4. Trasplante y manejo del cultivo	29
5.5. Variables evaluadas	30
5.6. Diseño experimental	32
5.7. Análisis estadístico	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. Variables de plántula	34
6.1.1. Días a emergencia de plántula	34
6.1.2. Color e intensidad del hipocótilo	34
6.1.3. Pubescencia del hipocótilo	36
6.2. Variables de planta	37
6.2.1. Longitud y diámetro de simpodio	37
6.2.2. Tamaño y hábito de crecimiento	38
6.2.3. Margen y número de folíolos, número de hojas y densidad de follaje	39
6.2.4. Tipo y posición de hoja	41
6.2.5. Longitud y amplitud de hoja	44
6.3. Variables de inflorescencia	46
6.3.1. Altura del primer racimo	46
6.3.2. Días a floración	47
6.3.3. Número de flores, tipo de paría, prolongación vegetativa y longitud de inflorescencia	49
6.3.4. Número de pétalos y sépalos, diámetro de corola y cáliz	54

SECCIÓN	PÁGINA
6.3.5. Posición del estigma, número y longitud del estambre	58
6.4. Variables de fruto	61
6.4.1. Días a maduración de fruto	61
6.4.2. Forma y tamaño de fruto	64
6.4.3. Color de fruto inmaduro, color e intensidad de fruto maduro	67
6.4.4. Número de lóculos, forma transversal y facilidad para pelar el fruto	70
6.4.5. Grosor del pericarpio y columela	72
6.4.6. Color de epidermis y columela, intensidad y color del pericarpio	74
6.4.7. Peso de fruto	76
6.4.8. Diámetro polar y ecuatorial	78
6.4.9. Longitud de pedicelo, amplitud de cicatriz de pedicelo y facilidad para separar el fruto	79
6.4.10. Forma de la base y ápice del fruto, apariencia y forma de la cicatriz del ápice	82
6.4.11. Número de semillas por fruto	84
6.4.12. Contenido de sólidos solubles totales	85
6.4.13. Consistencia del fruto a la cosecha y en anaquel	90
6.5. Variables de semilla	95
6.5.1. Forma, tamaño y color de semilla	95
6.6. Análisis de componentes principales	96
6.7. Análisis de correspondencia múltiple	101
VII. CONCLUSIONES	107
VIII. REFERENCIAS	109
IX. ANEXOS	163
1. Variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en genotipos de tomate	163
2. Medidas de dispersión de genotipos de tomate	164
3. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud del segundo simpodio (cm) de genotipos de tomate	165
4. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro del segundo simpodio (mm) de genotipos de tomate	165
5. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de hojas por simpodio de genotipos de tomate	166
6. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de folíolos por hoja de genotipos de tomate	166
7. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud de hoja (cm) de genotipos de tomate	167
8. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para amplitud de hoja (cm) de genotipos de tomate	167

SECCIÓN	PÁGINA
9. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para altura al primer racimo (cm) de genotipos de tomate	168
10. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud total de la inflorescencia (cm) de genotipos de tomate	168
11. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de flores por inflorescencia de genotipos de tomate	169
12. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro de corola (cm) de genotipos de tomate	169
13. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro de cáliz (cm) de genotipos de tomate	170
14. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud de estambres (mm) de genotipos de tomate	170
15. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para grosor de pericarpio (mm) de genotipos de tomate	171
16. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para grosor de columela (mm) de genotipos de tomate	171
17. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para peso por fruto (g) de genotipos de tomate	172
18. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro polar (cm) de genotipos de tomate	172
19. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro ecuatorial (cm) de genotipos de tomate	173
20. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud total de pedicelo (mm) de genotipos de tomate	173
21. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para amplitud de la cicatriz del pedicelo (mm) de genotipos de tomate	174
22. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de semillas por fruto de genotipos de tomate	174
23. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para sólidos solubles totales (grados Brix) de genotipos de tomate	175
24. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r) para variables evaluadas en genotipos de tomate	176

ÍNDICE DE CUADROS

SECCIÓN	PÁGINA
1. Algunos genes seleccionados durante la domesticación del tomate. Adaptado de Paran y van der Knaap (2007).	27
2. Identificación y descripción de las poblaciones de tomate silvestres.	28
3. Variables registradas por cada fase de desarrollo.	30
4. Puntuación estandarizada de componentes para características morfo-agronómicas cuantitativas en diecisiete poblaciones de tomate.	97
5. Características morfo-agronómicas cualitativas con mayor contribución a las dimensiones en diecisiete poblaciones de tomate.	102

ÍNDICE DE FIGURAS

SECCIÓN	PÁGINA
1. Primeras ilustraciones gráficas del tomate en Europa. a) Fuchs (1550), b) Dodoens (1554), c) Matthioli (1586). Adaptado de Peralta <i>et al.</i> (2008).	11
2. Centros de origen de las plantas cultivadas según Vavilov (1935). Adaptado de Harlan (1971).	21
3. Días a emergencia de plántulas para diecisiete poblaciones de tomate.	34
4. Pigmentación del hipocótilo e intensidad del color para diecisiete poblaciones de tomate.	35
5. Longitud y diámetro de tallo para diecisiete poblaciones de tomate.	37
6. Tamaño y hábito de crecimiento de plantas para diecisiete poblaciones de tomate.	38
7. Número de hojas y folíolos, margen de folíolos y densidad de follaje para diecisiete poblaciones de tomate.	40
8. Tipo y posición de hojas para diecisiete poblaciones de tomate.	41
9. Hoja tipo papa con presencia de antocianinas en las poblaciones 13 y 15 de tomate.	42
10. Hoja tipo 'con brotes' en las poblaciones 8, 9 y 11 de tomate.	43
11. Longitud, amplitud y relación longitud/amplitud de hojas para diecisiete poblaciones de tomate.	45
12. Altura al primer racimo para diecisiete poblaciones de tomate.	47
13. Días a floración para diecisiete poblaciones de tomate.	49
14. Flores y longitud de inflorescencia, tipo de paría y prolongación vegetativa para diecisiete poblaciones de tomate.	50
15. Verticilos de la flor. Número de pétalos y diámetro de la corola (A); número de sépalos y diámetro del cáliz (B) para diecisiete poblaciones de tomate.	55
16. Diferentes formas y tamaños de flores para diecisiete poblaciones de tomate.	57
17. Posición del estigma, número y longitud de estambres para diecisiete poblaciones de tomate.	58
18. Posición exserto del estigma en las poblaciones 7 y 10.	60
19. Días a maduración del primer fruto para diecisiete poblaciones de tomate.	62
20. Días desde el inicio de la floración a la maduración en cosecha comercial para diecisiete poblaciones de tomate.	63
21. Forma (A) y tamaño (B) de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.	65
22. Color en estado inmaduro y maduro, e intensidad de color de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.	67

SECCIÓN	PÁGINA
23. Tamaño, forma y color de frutos para diecisiete poblaciones.	68
24. Lóculos y forma transversal del fruto para diecisiete poblaciones de tomate.	71
25. Grosor de pericarpio y columela para diecisiete poblaciones de tomate.	73
26. Intensidad y color del pericarpio para diecisiete poblaciones de tomate.	75
27. Peso por fruto para diecisiete poblaciones de tomate.	77
28. Diámetro polar y ecuatorial de fruto para diecisiete poblaciones de tomate.	78
29. Longitud de pedicelo, amplitud de cicatriz y facilidad de separación de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.	80
30. Formas del ápice y base del fruto de tomate. A) Forma del ápice; 1= indentada, 2= aplanada, 3= puntiaguda. B) Forma de la base; 1= aplanada, 2= ligeramente hundida, 3= moderadamente hundida, 4= muy hundida. C) Forma de la cicatriz del ápice; 1= punteada, 2= estrellada, 3= lineal, 4= irregular.	82
31. Fenotipos especiales en las poblaciones tipo heirloom. a) apariencia cat-face y agrietamiento concéntrico, b) hombros verdes y agrietamiento radial.	83
32. Número de semillas por fruto para diecisiete poblaciones de tomate.	84
33. Contenido de sólidos solubles totales para diecisiete poblaciones de tomate.	87
34. Escala de consistencia de frutos para diecisiete poblaciones de tomate, desde su cosecha (0 días) hasta su vida en anaquel.	91
35. Características de semilla para diecisiete poblaciones de tomate.	96
36. Biplot CP1 y CP2 para características morfo-agronómicas cuantitativas asociadas a diecisiete poblaciones de tomate.	99
37. Biplot Dim1 y Dim2 para características morfo-agronómicas cualitativas asociadas a diecisiete poblaciones de tomate.	103

DEDICATORIA

A mis padres Omar Alvarado Montoya y Rosa Rodríguez Suárez por el apoyo moral incondicional a lo largo de mi vida. A mi esposa Francisca Mejía Betancourt y a mis hermanos Nadiuska Alvarado Rodríguez y Omar Ibrahim Alvarado Rodríguez, quienes aportan parte de su tiempo para motivarme a alcanzar mis metas.

A la familia Carbajal-Murillo por su apoyo incondicional y hacer que me sintiera parte de su familia durante mi estancia en México.

A mi comité de asesores Dr. Juan P. Legaria Solano, Dr. Juan Martínez Solís, Dr. Jaime Sahagún Castellanos y Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, de los cuales estoy enormemente agradecido por ser parte importante de mi trabajo de investigación, instruyéndome con sus conocimientos y experiencias en el campo de la investigación agrícola y biotecnológica.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico que facilitó mi estadía durante el desarrollo de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado, de gran utilidad para seguir creciendo en conocimientos y fortalecerme como profesional.

A las autoridades del posgrado de Fitotecnia, en especial a Dr. José Oscar Mascorro Gallardo y Lic. Rogelio Deheza Méndez, pero eternamente agradecido con Dr. Juan Martínez Solís por sus gestiones para que fuera posible iniciar y culminar mis estudios.

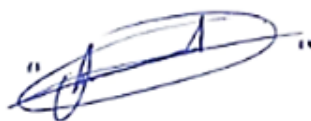
Al colegiado de docentes altamente capacitados que fueron parte de mi formación científica, abordando e impartiendo sus conocimientos y experiencias tanto dentro como fuera de las clases.

A mis amigos y compañeros de la maestría...

Al Dr. Noé Alarcón Cruz por proporcionar los materiales de tomate evaluados en este estudio.

DATOS BIOGRÁFICOS

Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez, de nacionalidad nicaragüense y nacido el 23 de noviembre de 1990 en la ciudad Estelí, Nicaragua, realizó los estudios de primaria y secundaria en el colegio Lirio de los Valles en la ciudad de Sébaco, Matagalpa, Nicaragua. En el año 2009 se graduó con méritos académicos de Técnico Agropecuario en el Instituto Tecnológico Naciones Unidas en la ciudad de San Isidro, Matagalpa, Nicaragua. Realizó los estudios universitarios en la Universidad Nacional Agraria en la ciudad capital Managua, Nicaragua, donde se graduó como Ingeniero Agrónomo con la distinción *Cum Laude* en el año 2016. En el mismo año, inició a laborar como investigador del área de fitomejoramiento en la empresa CHAMAGRO S. A. en la ciudad de Masaya, Nicaragua. Durante el periodo 2019-2020, realizó estudios de posgrado en la Maestría en Biotecnología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo en la ciudad de Texcoco, Estado de México, México.



ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se considera la hortaliza de mayor importancia económica a nivel nacional e internacional. México es el principal exportador a nivel mundial, con una participación de 23.6 % en el mercado; sin embargo, la producción enfrenta retos cada día ante el cambio climático, la sobrepoblación mundial y la creciente demanda de alimentos en cantidad y calidad organoléptica y nutricional. Para contribuir a su solución, se ha recurrido a los materiales silvestres en busca de características de interés, ausentes en las variedades modernas. Es por eso que en este estudio se evaluó la variabilidad de 15 poblaciones silvestres originarias de diferentes zonas de México mediante los descriptores morfo-agronómicos de Bioversity Internacional. Las poblaciones fueron evaluadas en condiciones de invernadero e hidroponía en un diseño completamente al azar con diez repeticiones. Los resultados indicaron amplia variabilidad en características morfológicas y atributos de calidad de fruto, como consistencia y sólidos solubles totales. Los análisis de componentes principales y de correspondencia múltiple explicaron la variación fenotípica con 67.41 y 42.06 % en los primeros tres componentes y dimensiones, respectivamente. Las características más discriminantes fueron las de frutos e inflorescencias, que separaron a las poblaciones en cuatro grupos, concordando en ambos análisis multivariados. El primero se integró por plantas con inflorescencias múltiparas, con frutos tipo 'heirloom' de color rojo y tamaños pequeños a intermedios; el segundo por inflorescencias uníparas y múltiparas, con frutos tipo 'cherry' y 'grape' de colores amarillo, naranja y rojo, y tamaños muy pequeños; el tercero por inflorescencias uníparas y bifurcadas, con frutos tipo bola y 'cocktail' de colores rojo, naranja y amarillo, y tamaños pequeños a intermedios; y el cuarto por inflorescencias uníparas, con frutos tipo bola de color morado-naranja y tamaños intermedios.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is considered the most economically important vegetable at national and international level. Mexico is the world's leading exporter, with a 23.6 % market share; however, production confronts challenges every day to face the climate change, global overpopulation and the growing demand for food in quantity, and organoleptic and nutritional quality. To contribute to solve them, wild genotypes have been used in order to find useful traits, absent in modern varieties. This is why the variability of 15 wild populations native to different locations of Mexico was characterized, through the morph-agronomic descriptors of Bioversity International. These populations were grown under greenhouse and hydroponics conditions using a completely randomized design with ten replications. Results indicated wide variability in morphological and fruit quality attributes, such as consistency and total soluble solids. Principal component analysis and multiple correspondence analysis explained phenotypic variation with 67.41 and 42.06 % in the first three components and dimensions, respectively. The most discriminatory traits were those of fruits and inflorescences, which separated the populations into four groups, according to multivariate analysis. The first group was integrated by plants with uniparous inflorescence, with heirloom-type red fruits and small to intermediate size; the second by uniparous and multiparous inflorescences, with cherry and grape-type fruits of yellow, orange and red colors, and very small size; the third by uniparous and forked inflorescences, with ball and cocktail-type fruits of red, orange and yellow colors, and small to intermediate size; and the fourth by uniparous inflorescence, with ball-type fruit of purple-orange color and intermediate size.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate rojo o cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) se considera la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su valor económico, al área producida con alta tecnología, su amplio consumo como fruta fresca y la gran cantidad de derivados industriales que se obtienen (FAOSTAT, 2019; SIAP, 2021).

En 2018, México ocupaba el puesto nueve entre los países con mayor producción a nivel mundial, pero en 2019 se convirtió en el primer exportador, con una participación del 23.6 % en el mercado, destinando el 99.7 % hacia Estados Unidos de América con un valor de 2,156,002.00 dólares estadounidense (TRADE MAP, 2020). En 2020, los principales estados productores fueron Sinaloa, San Luis Potosí, Zacatecas, Michoacán, Baja California Sur y Jalisco, con una producción de 3,061,233 t a nivel nacional y rendimiento promedio general de 76.34 t·ha⁻¹ (SIAP, 2021).

Botánicamente, el tomate es una baya del género *Solanum* (Hawkes *et al.*, 1999), uno de los más grandes dentro de las angiospermas y representado por 1,500 especies dentro de la familia Solanaceae (Peralta *et al.*, 2008), con un genoma diploide ($2n = 2x = 24$) de tamaño medio (950 Mb) (Causse *et al.*, 2020) y caracterizada por presentar gran diversidad ecológica y morfológica de importancia alimenticia, ornamental, medicinal e industrial (Knapp *et al.*, 2004; Weese y Bohs, 2007). El fruto presenta alto valor nutricional, aportando gran cantidad de agua, vitaminas y minerales, pero con bajas cantidades de proteínas, grasas y algunos carbohidratos; además, contiene carotenoides, como licopeno y β -caroteno, de gran valor en la salud humana (Grierson y Kader, 1986; Stommel, 2006).

Estas propiedades han permitido que el tomate sea uno de los cultivos más estudiados a nivel molecular y metabólico (Chetelat y Ji, 2006), sirviendo a la vez como especie modelo para la investigación de mapas y caracterización de genes (Tanksley y McCouch, 1997), enfoques de transferencia de genes (Gebhardt *et*

al., 1991), maduración del fruto, función hormonal y la biosíntesis de vitaminas (Stommel, 2006).

Estudios recientes han confirmado que el tomate cultivado ha experimentado pérdidas de variabilidad genética a través de la continua selección por los procesos de domesticación que impulsó a una naturaleza de autogamia, favoreciendo la deriva génica (Rick, 1983a; Rick y Holle, 1990; Miller y Tanksley, 1990). Otro proceso implicado, es el mejoramiento genético que se ha centrado en atributos específicos como mayor productividad, vida en anaquel, auto poda, altura de planta, precocidad y adaptación a diferentes sistemas de cultivo (Bai y Lindhout, 2007; Díez y Nuez, 2008; Bauchet y Causse, 2012; Klee y Tieman, 2013; Bergounoux, 2014).

Esta reducida base genética ha convertido al tomate cultivado en una especie muy susceptible a los estreses bióticos y/o abióticos, lo que conllevó a que cada día la producción se vea mermada en los sistemas de producción y que el cultivo no sea rentable a campo abierto. Estos desafíos y la creciente demanda de productos inocuos han impulsado esfuerzos dirigidos a restaurar la diversidad mediante el mejoramiento de la resistencia, tolerancia y mayor valor sensorial y nutricional, así como incrementar la productividad (Aflitos *et al.*, 2014; Herison *et al.*, 2018; Schouten *et al.*, 2019; Causse *et al.*, 2020).

En ese sentido, Hoyt (1992), Rao y Riley (1994), Tanksley y McCouch (1997), Bai y Lindhout (2007), Bauchet y Causse (2012) y Govindaraj *et al.* (2015) concuerdan que existe alto interés para recurrir y conservar los germoplasmas silvestres emparentados con la especie cultivada, los que presentan un nivel de variabilidad genética muy amplia y constituyen un acervo genético de nuevos genes de interés o para recuperar los que se han perdido por erosión y que podrían ser introgresados a los cultivares modernos a través de técnicas convencionales y/o biotecnológicas.

México es considerado el séptimo país megadiverso, es centro de origen, domesticación y diversidad genética de muchas especies cultivadas (CONABIO, 2009), entre ellas el tomate, cuya mayor diversidad de poblaciones silvestres se

concentra en el centro y sureste, a altitudes desde 0 a 1,200 m s. n. m., tanto en regiones con climas tropicales como subtropicales, asociadas a especies que les brindan protección (Peralta y Spooner, 2007; Chávez *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2018) y con una amplia adaptación a condiciones edáficas, pero con preferencia a los suelos subhúmedos (Rodríguez *et al.*, 2018).

El tomate silvestre ha mostrado amplia capacidad para dispersarse y conquistar áreas perturbadas (Rick y Fobes, 1975; Rick, 1978). En las comunidades rurales, muchos pobladores la prefieren por su sabor; sin embargo, es un recurso genético poco apreciado como producto comercial y está en riesgo de erosión en la región centro-occidente de México, donde no se fomenta su conservación y aprovechamiento (Rodríguez *et al.*, 2009).

Estos materiales han desarrollado múltiples características de resistencia, tolerancia y alta capacidad de supervivencia a condiciones extremas en respuesta a las presiones bióticas y/o abióticas en que han estado expuestos durante mucho tiempo en su medio agroecológico (Rick, 1982; Rick, 1983b; Rick, 1988; Eigenbrode *et al.*, 1993; Grandillo *et al.*, 2011).

El valor de estas colecciones de especies silvestres y cultivares de tomate resguardados en los centros de recursos fitogenéticos reside en las variantes genéticas (Abadie y Berretta, 2001) y la imprescindible utilización por los mejoradores que les permitan desarrollar nuevos genotipos para responder al cambio climático (Caicedo y Peralta, 2013), a los nuevos desafíos planteados en los sistemas productivos y a las demandas de los consumidores (Tengö y Belfrage, 2004), entre ellos, el incremento de los contenidos de micronutrientes y vitaminas (Ferne y Yan, 2019).

Basados en el mejoramiento de las plantas, Ferne y Yan (2019) han dividido la historia de los cultivos en cuatro generaciones. La primera corresponde a la domesticación con selección basada en el fenotipo; la segunda a la revolución verde con la incorporaron de diseños de apareamiento (híbridos), análisis estadísticos, el uso de fertilizantes y de plaguicidas; la tercera a la biotecnológica con el ADN recombinante, GWAS, selección por marcadores moleculares y

selección genómica; y la cuarta a la biotecnológica de la mejora del diseño mediante la edición del genoma, el mejoramiento de precisión, la tecnología de computación, la Big Data y los sistemas productivos sostenibles.

En este sentido, los avances biotecnológicos actuales, especialmente en genética molecular y las tecnologías bioinformáticas, podrían utilizarse para describir la diversidad y variabilidad genética de los recursos fitogenéticos (Engels *et al.*, 2006; Foolad, 2007; Ronning, 2013; Lin *et al.*, 2014), más ahora, con la secuenciación completa del genoma del tomate cultivado (ensamble v2.40 y anotación iTAGv2.3) realizada por The Tomato Genome Consortium (2012) y su más reciente actualización del genoma (ensamble SL4.0 y anotación ITAG4.0) por Hosmani *et al.* (2019), así como la presentación del pangenoma del tomate por Gao *et al.* (2019), se ha hecho descubrimientos biológicos en la historia evolutiva con la revelación de nuevos genes ausentes en el genoma de referencia.

Todo lo anterior deriva en la necesidad de realizar caracterizaciones y evaluaciones agronómicas de estos recursos fitogenéticos, para tener información básica de estas fuentes de germoplasma silvestre con uso potencial en la mejora de la especie cultivada, así como contribuir a su conservación y disponer rápidamente de estas accesiones en el tiempo y espacio. Por otro lado, si se tipifican y seleccionan materiales con alto valor, estos deben ser recuperados y promocionados como variedades locales o mejorar aquellos caracteres que limiten su rentabilidad, de esta forma, se contribuye a su conservación (Soler *et al.*, 2016).

Por ello, en este estudio se evaluó la variabilidad de 15 poblaciones silvestres de tomate a partir de características morfológicas de plántula, planta, inflorescencia y fruto, con vista a desarrollar un programa de mejora genética para el rescate de características de interés agronómico y comercial, e incorporarlos a los cultivares modernos, tal como plantean Benavides *et al.* (2011) y Blanca *et al.* (2015).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Generar información sobre la variabilidad morfo-agronómica de 15 poblaciones de tomate silvestre originarias de diferentes zonas de México, evaluadas en condiciones de invernadero e hidroponía.

2.2. Objetivos específicos

Describir y analizar características vegetativas y reproductivas en las poblaciones, a partir de descriptores morfo-agronómicos.

Comparar las relaciones entre poblaciones con base en la variabilidad fenotípica.

Desarrollar una base de datos y conservar el acervo genético de estas accesiones en el banco de germoplasma del Laboratorio de Biotecnología de la UACH para el uso potencial en trabajos de mejora genética de las variedades modernas.

III. HIPÓTESIS

El análisis basado en características morfológicas muestra diferenciación fenotípica entre poblaciones de tomate silvestre, por tanto, tendrán atributos particulares de interés para ser utilizados en programas de mejoramiento genético de las variedades cultivadas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen y distribución

Los conceptos de centro de origen de una especie, centro de domesticación y centro de diversidad genética juegan un papel importante para la priorización de áreas de conservación y manejo de recursos fitogenéticos (Fortuny *et al.*, 2017).

El primero en ofrecer un panorama científico de la historia del origen y domesticación de las especies cultivadas fue De Candolle (1855) en el Tomo II de su obra “Géographie botanique raisonnée”, donde describe las causas de naturalizaciones de las especies y abordó el origen del nombre Tomate o *Pomme d’amour*, perteneciente a un género del cual todas las especies son americanas.

Roxburgh (1832) en su obra “Flora Indica” mencionó que esta planta no tiene nombre sánscrito, ni siquiera es un nombre indio moderno y que los escritores antiguos de China no lo mencionaron. De igual manera, Piso y Markgraf (1648) en el primer libro médico de Brasil titulado “Historia naturalis Brasiliae”, no hacen referencia al tomate.

Existe evidencias de que los europeos tuvieron el primer contacto con el tomate domesticado en Mesoamérica tras la conquista de la ciudad de Tenochtitlan en 1521 por Hernán Cortés, el cual era un fruto totalmente integrado a la cultura y dieta náhuatl en el siglo XVI; tal como recopiló Bernardino de Sahagún desde 1540 hasta 1585 en su obra monumental “Historia general de las cosas de la Nueva España” publicado en 1829, donde relata de los diferentes nombres asignados, del consumo y venta en los mercados, y de las diferentes variedades de formas, tamaños y colores de tomates (Long, 1995; López, 2010).

Otras referencias bien conocidas son “Las Crónicas de Indias”, como las de Bernal Díaz del Castillo y Cervantes de Salazar y Acosta, en las que se describen las formas de consumo, pero también dan noticias de su asimilación en la cocina de los criollos y de los españoles que residían en la Nueva España (López, 2010).

Los primeros cronistas españoles del siglo XVI no hicieron la distinción en sus escritos entre el tomatl (tomate verde envuelto) y el xitomatl (tomate rojo o jitomate), y tradujeron las dos palabras con el término españolizado de "tomate" (Long, 1995), no obstante, Alonso de Molina (1571) en la segunda edición del "Vocabulario en lengua mexicana y castellana" tradujo los términos xaltomatl como "cierta fruta como tomates" y tomatl como "cierta fruta que sirve de agraz en los guisados y salsas", mientras que, xitomatl fue traducido como "tomates grandes colorados, amarillos o blancos" (López, 2010).

El término genérico, para el tomate y el jitomate, proviene de la palabra náhuatl tomatl (tomahuac= gordo o hinchado; atl= agua) y suele tener distintos prefijos en náhuatl para identificar el tipo específico del fruto a que se refiere, por ejemplo, xaltomatl (xalli= arena; se refiere a un tipo de tomate que crece en suelo arenoso), xictomatl (xictli= ombligo; puede referirse a un tipo de tomate que se caracteriza por presentar el pedicelo hundido), izhoatomatl (izhuatl= hoja o izuayotl= envoltura; puede ser una referencia a la membrana o cáliz que cubre el fruto del tomate), miltomatl (milli= tierra sembrada; describe la tomatlera que crece asociada con otros cultivos en la milpa) y xitomatl (xiuitl= hierba o xipehua= desollar, descortezar o pelar; refiere al jitomate desollado o mondado, para diferenciarlo del tomate verde) (Andrews, 1975; Siméon, 1984; Dakin, S.f.; Karttunen, 1983: citados por Long, 1995).

López y Pardo (1996) y López (2010), mencionaron las aportaciones científicas en la expedición al Nuevo Mundo (Nueva España) que hizo Hernández de Toledo (1615), siendo pionero en estudiar las especies de Solano, específicamente en México. Además, en el capítulo inicial de su serie, refiere al xitomame seu tomame *magna* (tomate rojo) y a varios tomames (diferentes especies de *Physalis*) (Pardo y López, 1993).

En otra de su serie, hace una revisión titulada "Tomatl seu planta acinosa", donde reunió descripciones diferenciadas de cerca de una veintena de especies de *Lycopersicum*, *Nicandra*, *Physalis*, *Saracha* y *Solanum*. Esto contrasta con las noticias imprecisas o erróneas vigentes sobre el tema en la Europa de los siglos

XVI y XVII, donde se indicó que probablemente el tomate fue introducido a España durante la primera mitad del siglo XVI. Sin embargo, McCue (1952) en su revisión histórica sugiere que posiblemente el tomate llegó a España, no de México, sino a través de los italianos, y que estos a la vez, lo adquirieron de los turcos o del antiguo pueblo de Levante, en el mediterráneo, hipótesis no comprobada aún.

En los siglos XVI y XVII, el estudio de las plantas era realizado por médicos y boticarios, con apoyo de civiles o eclesiásticos (López, 2010), además, estos estudiosos, tratando de conciliar los conocimientos empíricos de las plantas que crecían en Europa, con la enorme cantidad de nuevas especies vegetales que estaban llegando de Asia y el Nuevo Mundo, recurrieron a adaptarlos como variantes por sus similitudes con los vegetales descritos en las normas del sistema de ordenación, clasificación y comprensión de los textos clásicos de Dioscórides, Galeno, Plinio y Teofrasto.

Así, la primera mención del tomate en Italia inició con Matthioli (1544) en su obra extraordinaria “Di Pedacio Dioscoride Anazarbeo libri cinque...” describió 100 nuevas especies, aparte de las descritas por Dioscórides y señaló una variedad temprana de tomate, siendo el primer ejemplo documentado de que se estaba cultivando y comiendo en Europa. En esta obra, hace mención que “otra especie [de mandrágora] ha sido introducida a Italia en nuestro tiempo, aplanada como la melerose [especie de manzana] y segmentada, verde al principio y cuando madura de color dorado, que se come de la misma manera [como las berenjenas– fritas en aceite con sal y pimienta, como setas]” (McCue, 1952).

Matthioli (1554) en otra obra titulada “Medici Senensis Commentarii...” introduce las observaciones, de origen anónimo, sobre el tomate en el capítulo LXI, titulado Mandragoras y lo llama *Pomi d'oro*, en italiano, equivalente, *Mala aurea*, en latín (McCue, 1952). Detalla que es “especie introducida... de forma redonda como la manzana, más corto que el melón, primero su color es verde, cuando madura, en algunas plantas puede ser dorado y en otras, rojo”.

Otro reporte ocurrió en 1548 en Italia, cuando el duque de Toscana, Cosimo de Médici, en un evento en Pisa recibió una canasta de tomates de parte del duque de Florencia y al finalizar el evento le contestó a través de una carta que “la canasta de pomodoro llegó a salvo”; esto no sugiere que lo hayan utilizado como alimento, pero se sabe que en Italia su cultivo en jardines y huertos se expandió rápidamente, seguido por España (Gentilcore, 2010).

En España, una de las primeras menciones fue por Gregorio de los Rios en 1592, haciendo referencia al rey Felipe II de los “Pomates que presenta pomas aquarteronadas, se vuelven coloradas, no huelen y son buenos para salsa” (Long, 1995; López, 2010). Sin embargo, su consumo en Europa se generalizó hasta finales del siglo XVIII y principios del XIX, siendo su mayor uso como ornamental por la belleza de sus frutos y por supuestos atributos afrodisíacos (Vallejo, 1999; López, 2010), además, porque se asociaba a plantas venenosas como la hierba mora, belladona o mandrágora, ampliamente conocidas (Dodoens, 1578; Liger, 1706; Boerhaav, 1727; Erhart, 1754: citados por McCue, 1952).

Philip Miller fue pionero en referir la técnica adecuada para el cultivo del tomate en el Viejo Mundo a partir de la primera edición de las obras “The Gardeners Dictionary” en 1731 y la primera edición de las obras “The Gardeners Kalendar” en 1732, donde describe las fechas de siembra, preparación de suelo, lugar adecuado de establecimiento, trasplante, frecuencias de riego y el periodo para ser cosechado.

Desde 1550 hasta 1600 hay muchos registros, ilustraciones y representaciones del tomate en Europa (McCue, 1952; Peralta *et al.*, 2008). La primera representación gráfica a color fue realizada por Fuchs en la obra no publicada datada entre 1549 y 1556, llamada ahora “Codex Vindobonensis”, que lo registró como *Malus aurea* y distinguió los tipos *Pomum rubrum* (color rojo), *Pomum luteum* (color amarillo) y *Pomum croceum* (color azafrán); Dodoens (1554) en su obra “Cruydt-Boeck” lo llamó *Poma amoris*; Matthioli (1586) en su obra “De plantis epitome utilissima” lo nombró *Poma amoris* (Peralta *et al.*, 2008) (Figura 1).

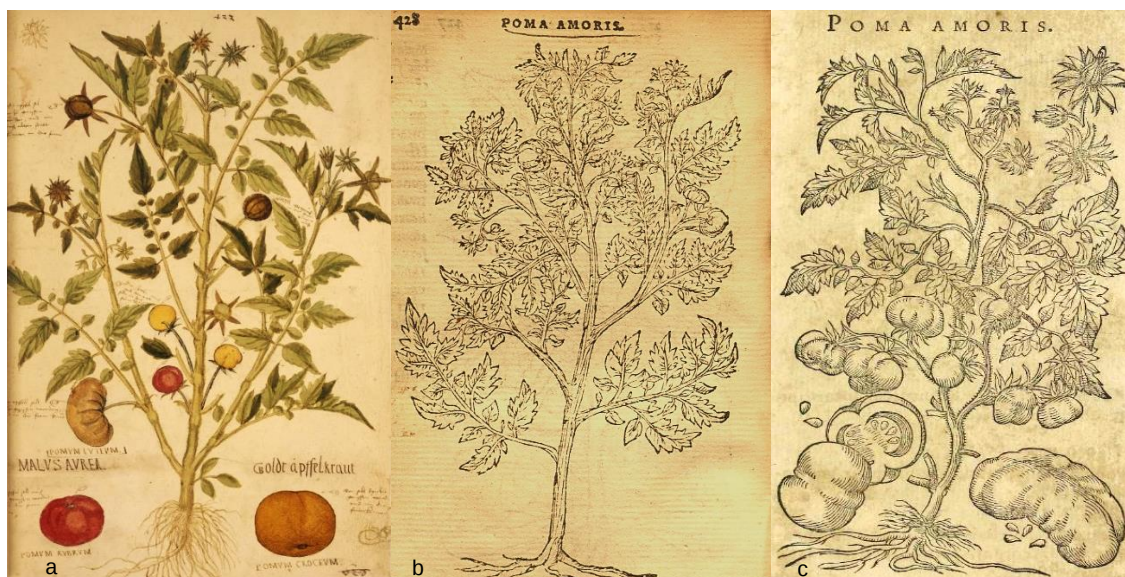


Figura 1. Primeras ilustraciones gráficas del tomate en Europa. a) Fuchs (1549-1556), b) Dodoens (1554), c) Matthioli (1586). Adaptado de Peralta et al. (2008).

Entre los herbarios que documentaron al tomate, se encuentran el *Erbario di Gherardo Cibo* en la biblioteca *Angelica di Rome* en Roma datado entre 1550 a 1560, que lo registró como *Malus insana*, *Mandragorae species Poma amoris*; el *Erbario di Ulisse Aldrovandi* en Bolonia, en 1551 lo registró como *Pomum amoris. Mali insani species. Tembul*, siendo el espécimen conservado más antiguo de tomate (Jerna, 1947: citado por McCue, 1952).

Por otra parte, Oelinger (1553) en su herbario lo registró como *Mala Aurea seu Poma Amoris* (McCue, 1952); Dodoens (1554) en su herbario “Cruydt-Boeck” registró como *Poma amoris* un tipo de tomate de color rojo (Peralta et al., 2008); De L'Obel (1576) como *Poma amoris* y Caesalpinus (1583) registró a dos tipos en su herbario “De plantis libri”, el primero como *Malum appium* de color dorado y el segundo como *Malum roseum* de color rojizo (McCue, 1952); Matthioli (1586) representó frutos biloculares y multiloculares, registrándolos como *Poma amoris* (Peralta et al., 2008); Gerard (1597) lo registró como *Poma amoris* con frutos rojos y amarillos, adaptado a partir del trabajo de Dodoens (Nuez, 1995; López, 2010).

De igual manera, Bauhin (1623) y Bauhin y Cherler (1651) mencionaron algunos nombres populares que se le dio al tomate en la Europa del Siglo XVI e inicios del Siglo XVII, tal como: *Mala infana*, *Mala aurea odore foetido*, *Mala aethiopica*, *Poma amoris*, *Pomum amoris*, *Poma aurea*, *Pomum aureum*, *Pomum Solanis cognatum*, *Solani pomiferi genus aliud*, *Mala peruviana*, *Pommes d'or*, *Pommes d'amour*, *Pomi d'oro*, *Pomi peruviana* y *Pomi del Peru*.

Bauhin y Cherler (1651) en el Tomo III de la obra "Historia plantarum universalis" nombraron al tomate como *Tumatle americanorum* y mencionaron que se desconoce su origen, aunque sospecharon que procede de Perú. Guamán Poma (1615) en su gran obra "El primer nueva corónica ibue gobierno" como una carta dirigida al Rey de España, describe la situación de los indígenas en el Virreinato del Perú, pero no mencionó el tomate como planta cultivada, aunque describe otros cultivos. En ese sentido, De Candolle (1855) supone que el tomate no se conocía en Europa antes del descubrimiento de América.

Guilandini (1572) en el capítulo V de su obra "Papyrus. hoc est, Commentarius..." destacó al tomate como una "planta ha sido recién introducida a Europa... *Tumatle ex Themistitan*, recientemente llamado *Pomum aureum* y *Pomum amoris*". Jenkins (1948) interpretó ese nombre como variante de "Temixtitan", para hacer referencia a la gran ciudad Azteca de Tenochtitlan, soportado por dos cartas enviadas por Hernán Cortés al rey de España, fechadas en "Temixtitan" y que fue la primera ocasión en que los europeos identificaron la planta como procedente de México (Long, 1995; Peralta *et al.*, 2008).

Muchos han sugerido que el tomate entró primero por el puerto de Sevilla, uno de los más importantes de España en esa época, y que de allí fue llevado a Italia casi de inmediato debido al abastecimiento de mercancías que los genoveses hacían a los barcos que partían rumbo al Nuevo Mundo, pero aún no se cuenta con suficiente evidencia de cuándo salió de América, así como quién la llevó, cuándo y adónde hacia Europa.

Según Peralta *et al.* (2008), en el siglo pasado existía dos hipótesis en cuanto al lugar de domesticación del tomate. De Candolle (1886) refirió que esta ocurrió en

Perú y Jenkins (1948) sostuvo que fue en México por trans-domesticación; concepto descrito ampliamente por Hymowitz (1972). A pesar de discrepar en cuanto a su centro de domesticación, ambos sugirieron que su centro de origen es Suramérica, específicamente en la región andina.

Rick y Holle (1990), concluyeron que ninguna de las pruebas es consistente con respecto a un sitio inicial de domesticación mexicano o peruano, y que los tomates pueden haber sido domesticados independientemente en ambas áreas, una vez que el tomate llegó a México desde Suramérica. Al respecto, Peralta *et al.* (2008) consideraron que actualmente, cualquier estudio molecular para investigar el centro de domesticación del tomate se complicaría por la relativa falta de variación dentro de la especie y por la dificultad de identificar si las variedades locales existentes en México y Perú son verdaderamente nativas en esas regiones.

Estudios recientes, como los realizados por Blanca *et al.* (2012, 2015), Lin *et al.* (2014) y Razifard *et al.* (2020) han sugerido que el ancestro putativo *S. l.* var. *cerasiforme* resultó por divergencia natural en el norte Suramérica a partir de *S. pimpinellifolium* como una primera domesticación, luego se propagó hacia Mesoamérica y una segunda divergencia dio origen a *S. l.* var. *lycopersicum* (tomate cultivado), posiblemente como una verdadera domesticación mediada por la selección de características preferidas por los humanos.

El primer evento probablemente ocurrió hace $\approx 78 \pm 19$ mil años, que luego dio lugar a dos grupos uno hace 13 ± 2 mil años y otro hace 10 ± 1 mil años, que migraron hacia Mesoamérica y a partir de este último divergió la especie cultivada hace ≈ 7 mil años, posteriormente, una parte se llevó a Europa desde donde se extendió a otros países del mundo (Razifard *et al.*, 2020).

4.2. Descripción taxonómica

En el siglo XVI el tomate se introdujo al Viejo Mundo y los botánicos lo nombraron *Solanum pomiferum* por su relación similar al género *Solanum*. Anguillara (1561) en su obra “Semplici dell’eccellente” identificó a la nueva especie como

Lycopersicon [*Lyco* (en griego *λύκος* y en latín *lupus*) = lobo y *persicon* (en griego *περσικός* y en latín *persici*) = persa] para referirse a la "manzana persa" o melocotón que llegó a Persia desde China, pero se atribuyó erróneamente como la planta desconocida y descrita por el médico griego Galeno con el nombre *Lycopersion* (*λυκοπερσιον*) catorce siglos antes (Peralta y Spooner, 2007); también se le llamó en inglés 'wolf peach' traducido del nombre alemán 'wolfspirsich' (en español "melocotón lobo") propio del mito germano, donde brujas y magos consumían pociones para convertirse en hombre lobo (Hammerschmidt y Franklin, 2005).

Según Peralta *et al.* (2008), el primero en clasificar al tomate cultivado fue Bauhin (1623) en su obra "Pinax theatri botanici", asignándole la nomenclatura binomial *Solanum pomiferum*, además describió variantes morfológicas y las llamó *Solanum pomiferum fructu rotundo striato molli*, *Solanum pomiferum fructu rotundo striato duro*, *Solanum peregrinum fructu rotundo*, *Solanum pomiferum fructu oblongo* y *Solanum pomiferum fructu incurvo*.

Tournefort (1694) en su obra "Éléments de botanique", estableció los géneros *Solanoides* y *Lycopersicon*, agrupando dentro de este último a diferentes formas y colores de tomates multiloculares, y consideró a los tomates biloculares pertenecientes al género *Solanum*; diferenciando a los tomates en dos géneros (Peralta y Spooner, 2007).

Posteriormente, Linnaeus (1753) en la primera edición de su obra "Species plantarum", clasificó a todas las formas de tomates dentro de *Solanum lycopersicum*, incluyendo las descritas por Tournefort; además, adoptó y estableció formalmente el sistema binomial de Bauhin (1623) fundado en características naturales y nombra a las plantas en género y especie, e introduce las especies *S. tuberosum*, *S. peruvianum* y *S. melongena* (Luckwill, 1943a; Fuentes, 1986; Knapp y Jarvis, 1990; Peralta *et al.*, 2008; Knapp y Peralta, 2016).

Miller (1754) en la cuarta edición de su obra "The Gardeners Dictionary" siguió lo propuesto por Tournefort, pero amplió su definición y describió formalmente al género *Lycopersicon* con varios tipos de tomate tales como *Galenii*, *fructu rubro*;

fructu cerasi rubro; fructu cerasi luteo; fructu striato duro; fructu rubro non striato. Además, reconoció a *Solanum* como género diferente. Este autor continuó usando nombres con frases polinomiales para todas las plantas y reclasificó a las papas como *Lycopersicon radice tuberosae, esculentum* y a la berenjena como *Solanum Americanum spinosum, foliis melongenae, fructu mammoso* (Peralta et al., 2006 y 2008).

No fue hasta la octava edición “The Gardeners Dictionary”, donde Miller (1768) adoptó la nomenclatura introducida por Linnaeus (1753) y clasificó con nombres binomiales y descripciones a especies reconocidas de *Lycopersicon*: *L. esculentum*, *L. galeni*, *L. aethiopicum*, *L. pimpinellifolium*, *L. peruvianum*, *L. procumbens* y *L. tuberosum*. Peralta et al. (2006 y 2008) refirieron que, en la edición publicada póstumamente, “The Gardener’s and Botanist’s Dictionary, by the late Miller”, el editor de la publicación Thomas Martyn (1807) siguió a Linnaeus y fusionó los géneros *Lycopersicon* y *Solanum*, aceptando a todas las especies de Miller como miembros de *Solanum*.

Tiempo después, varios autores establecieron que el género *Lycopersicon* era distinto de *Solanum* y se usó el nombre propuesto por Miller (1768) para designar al tomate cultivado, pero se adoptó la ortografía errónea *Lycopersicum esculentum*, descrita por Hill (1765) y no fue hasta que Druce (1914) señaló el error, para ser retomado el nombre original propuesto por Miller (Muller, 1940).

Jussieu (1789) en su obra “Genera Plantarum”, también clasificó a los tomates dentro de *Solanum* y crea el orden *Solaneae* (actualmente, familia Solanaceae) para agrupar a distintos géneros y es a partir de este arreglo que las solanáceas, como familia, datan con fines nomenclaturales (Knapp y Peralta, 2016; Ambili, 2018). Dunal (1882) produjo una revisión completa usando las formas genéricas *Lycopersicum* que nombró Hill y conformó el género con 10 especies, que luego fueron reorganizadas (Muller, 1940).

A nivel citológico Winkler (1909) fue el primero en descubrir que el tomate tiene un número somático de 24 y un número haploide de 12 cromosomas, al igual que las especies emparentadas; sin embargo, se ha visto que se presentan tipo

heteroploides y aberrantes (Rick y Butler, 1956), pero existe evidencia que la especiación de *Lycopersicon* a partir de *Solanum* ha tenido lugar casi enteramente por mutación génica y en menor medida por diferenciación cromosómica, esto es inferido por el grado de coherencia morfológica y apareamiento cromosómico en todas las especies de tomate (Rick, 1979).

Muller (1940) dividió el género *Lycopersicon* Mill. en dos subgéneros, agrupando a las especies de frutos rojos, rojo-naranja o amarillos en *Eulycopersicon* y a las de frutos blancos o blanco verdosos a amarillentos, teñidos de púrpura o no en *Eriopersicon*.

Por su parte, Luckwill (1943a) adoptó los dos subgéneros reconocidos por Muller, pero planteó que los dos subgéneros podrían haber evolucionado a partir de una forma ancestral simple, divergiendo uno a frutos con pigmentos carotenoides y otro a frutos verdes con pigmentos antocianinas; además, propuso una nueva especie y diferentes categorías infraespecíficas (Peralta y Spooner, 2005).

D'Arcy (1972) ofreció una clasificación del género *Lycopersicon* basada en características morfológicas, designando siete subgéneros y cincuenta secciones dentro de dicho género. Este autor clasificó al tomate cultivado dentro del subgénero *Lycopersicon* y en la sección *Lycopersicon*, diferenciándolo del género *Solanum* debido a diferencias morfológicas de las anteras.

En cambio, Rick (1979) mantuvo el género *Lycopersicon* y propuso una clasificación de los tomates de acuerdo a las relaciones de cruzamiento, conformando el grupo *Esculentum* y el grupo *Peruvianum*. Por su parte, Cronquist (1981) asignó un taxón al tomate, ubicándolo dentro de la Clase: Magnoliopsida, Orden: Solanales, Familia: Solanaceae, Subfamilia: Solanoideae, Tribu: Solaneae, Género: *Lycopersicon* y Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill.

Durante años de estudio del tomate cultivado, varios autores clásicos y modernos [como Dunal (1813, 1852), Bentham (1873), Muller (1940), Luckwill (1943a), Correll (1958), D'Arcy (1972, 1991), Terrell (1977), Hunziker (1979, 2001), Rick (1978, 1979, 1988), Tanksley y Rick (1980), Symon (1981, 1985), Taylor (1986),

Warnock (1988) y Hawkes (1990)] siguieron los primeros trabajos de Miller y continuaron reconociendo a los tomates *Lycopersicon* como género separado de *Solanum*, basándose en características morfológicas de las anteras y del fruto; sin embargo, otros autores [como Jussieu (1789), Wettstein (1895), MacBride (1962), Seithe (1962), Heine (1976), Fosberg (1987), Olmstead y Palmer (1997), Peralta y Spooner (2000)] incluyeron a *Lycopersicon* como parte del género *Solanum* (Peralta et al., 2006, 2008).

Por otra parte, Muller (1940) y Tolley (1939) refieren que varios autores clasificaron al tomate con otros nombres. Tales fueron los casos de Hill (1768) que propuso el nombre tautónimo *Lycopersicum solanum-lycopersicum*; Medicus (1784) los clasificó en *Lycopersicum solanum*; Medicus (1787) propuso la especie *Amatula flava* para incluir a ciertas especies de *Lycopersicon*; Moench (1794) los clasificó en *Lycopersicon pomum-amoris*; Börner (1912) propuso el género *Solanopsis*; Karsten (1882) sugirió el nombre de *Lycopersicum lycopersicum*; Karsten (1900) los reclasificó en *Lycopersicon lycopersicum*; mientras que, otros como Bailey (1931) siguieron usando el nombre incorrecto *Lycopersicum esculentum*.

La gran mayoría de estas nuevas clasificaciones no fueron bien aceptadas por la comunidad de botánicos, taxónomos y fitomejoradores, ya sea por su uso discontinuado o por controversias en la nomenclatura. En ese sentido, Broome et al. (1983) manifestaron la controversia por la nomenclatura correcta para el tomate cultivado, que si el nombre muy conocido *Lycopersicon esculentum* Mill. debería prevalecer en lugar de *Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten.

Estos autores refieren que en la reunión del 'Committee for Spermatophyta' en el marco del Código Internacional de Nomenclatura Botánica (ICBN) realizada en 1983, varios autores respaldaron al nombre propuesto por Karsten (1900) como técnicamente más correcto, porque Miller (1768) debió utilizar el epíteto *lycopersicum* establecido por Linnaeus. Además, sostuvieron que este nombre no es un tautónimo letra por letra (prohibido por ICBN), ya que el nombre genérico es derivado del griego (terminación *-con*) y el nombre de la especie del latín

(terminación *-icum*); por el contrario, otros autores sostuvieron que las dos palabras son meras variantes ortográficas entre sí y que se debería conservar el nombre original establecido por Miller y de larga data.

La resolución, no obtuvo los votos necesarios para mantener oficialmente el nombre científico tradicional para el tomate, por tanto, se siguió usando ambos términos, pero con predominancia del nombre binomial propuesto por Miller (Broome *et al.*, 1983; Brummitt, 1988; Knapp y Jarvis, 1990). Sin embargo, el 'General Committee' se reunió en Berlín y aprobó la conservación de *L. esculentum* Mill., anulando las recomendaciones del 'Committee for Spermatophyta' (Knapp y Jarvis, 1990).

Durante años, se mantuvo esta gran controversia acerca del número de especies, sus relaciones y tratados de los géneros *Solanum* y *Lycopersicon* (Spooner *et al.*, 2005) que, en su mayoría, habían sido separados por la característica de dehiscencia de las anteras (Rick, 1976).

Muchos investigadores empezaron a replantear la correcta taxonomía de esta familia, especialmente en los tomates. Para ello, desde inicios de 1990 las relaciones filogenéticas de las Solanaceae han sido examinadas mediante técnicas moleculares (Olmstead *et al.*, 2008), siendo el mapeo de sitios de restricción y la secuenciación de ADN las técnicas aplicadas más comúnmente usadas para inferir en la evolución sistemática del taxa (Bohs y Olmstead, 1999).

Varios biólogos, taxónomos y fitomejoradores basados en resultados de los análisis morfológicos, bioquímicos y moleculares, han aceptado que los tomates son miembros de un género amplio y diverso, y de gran importancia económica llamado *Solanum* (Grandillo *et al.*, 2011; Knapp y Peralta, 2016).

En ese sentido, Child (1990) ofreció una sinopsis de cuál debería ser la nomenclatura correcta del tomate y los parientes silvestres. En la cual, sugirió que el nuevo estatus taxonómico de *Lycopersicon esculentum* Mill. es *Solanum lycopersicum* L.; ubicándolo en el género *Solanum*, subgénero *Potatoe* (G. Don) D'Arcy, sección *Lycopersicon* (Mill.) Wettst., subsección *Lycopersicon* y en la

serie *Lycopersicon*; junto a *S. pimpinellifolium* y *S. cheesmanii*. Además, creó las series *Neolycopersicon* con *S. pennellii* y *Eriopersicon* con *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, junto a las nuevas especies *S. habrochaites* y *S. neorickii* que reemplazaron a *S. hirsutum* y *S. parviflorum*, respectivamente. Por otra parte, creó la subsección *Lycopersicoides* con la especie *S. lycopersicoides*.

Por su parte, Lester (1991) da la pauta de las relaciones evolutivas entre pepinos, papas, tomates y especies silvestres de *Solanum* y *Lycopersicon*, basándose en características de la cubierta de la semilla y otros caracteres para mostrar sus afinidades cercanas (Peralta y Spooner, 2001). Concluyó que estos grupos podrían incluirse en un solo género segregado de *Solanum*, pero decidió por razones prácticas tratar al pepino dentro de *Solanum* sección *Basarthrum* Bitter, a las papas dentro de *Solanum* sección *Petota* Dumort y manteniendo a los tomates dentro del género *Lycopersicon* (Peralta et al., 2008).

De igual manera, Spooner et al. (1993) ofrecieron evidencias de las interrelaciones de cpADN entre papas y tomates. Estos resultados demuestran que, los tomates (secc. *Lycopersicon*) y las papas (secc. *Petota*) se encuentran dentro de un mismo clado y que en combinación con análisis de datos morfológicos, abogan a la controvertida relación de la sección *Lycopersicon* como congénere de la sección *Solanum* dentro del subgénero *Potatoe*.

Revisiones taxonómicas recientes en la nomenclatura de las solanáceas hechas por Spooner et al. (1993), Bohs y Olmstead (1997, 1999), Olmstead y Palmer (1997), Peralta y Spooner (2001) y Spooner et al. (2005) han reintegrado a *Lycopersicon esculentum* Mill. dentro de *Solanum lycopersicum* L., nombre propuesto inicialmente por Linnaeus.

Finalmente, Peralta et al. (2008) establecieron un tratado taxonómico del tomate cultivado y sus parientes silvestres a partir de datos fenéticos morfológicos, cladísticos moleculares, cruza y estudios de campo, compilados a partir de trabajos de investigadores contemporáneos y evaluaciones con más de 5,000 accesiones de 49 herbarios y/o bancos de germoplasma cultivados en tres países (ambientes diferentes). Estos autores mantuvieron, en su mayoría, lo referido por

Child, pero realizaron el cambio del término 'series' a 'grupos' y ampliaron el número de especies. A partir de *S. cheesmanii* se generó la nueva especie *S. galapagense* y de *S. peruvianum* las especies *S. huaylasense*, *S. corneliomulleri* y *S. arcanum*.

Por tanto, el taxón del tomate quedó establecido dentro del Dominio: Eukaryota, Reino: Plantae, Filo: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida (antes Dicotyledoneae), Orden: Solanales, Familia: Solanaceae, Género: *Solanum*, Subgénero: *Potatoe*, Sección: *Lycopersicon*, Grupo: *Lycopersicon*, Especie: *Solanum lycopersicum* L., Subespecies: *S. l. var. lycopersicum* (comercial o cultivado) y *S. l. var. cerasiforme* (ancestro silvestre putativo).

4.3. Diversidad genética

El Convenio de Biodiversidad, define que la biodiversidad agraria o agrobiodiversidad comprende todos los componentes de la diversidad biológica (animales, plantas y microorganismos) a escala genética y específica, necesarios para mantener las funciones básicas, la estructura y los procesos del agrosistema, con relevancia para la producción agrícola, la alimentación y la seguridad alimentaria (Obón y Rivera, 2005).

La necesidad de conocer el origen y domesticación de las especies, nació con las publicaciones del naturalista Charles Darwin en la segunda mitad del siglo XIX, a partir de las cuales, nace la botánica como ciencia para clasificar a las especies vegetales por afinidad o similitudes, basados en un inicio en características morfológicas. Los naturalistas, fueron los primeros en intuir la relación entre las plantas silvestres y las domesticadas, quienes estaban familiarizados con la observación, clasificación y los usos de ellas en la medicina.

Las plantas cultivadas o cultígenos constituyen la herencia principal que se recibió del hombre primitivo y este patrimonio contribuyó en buena medida al desarrollo de la humanidad desde hace milenios. Tan estrecha es la relación, que han perdido la capacidad de multiplicarse por sí mismos y necesitan en forma imprescindible de la mano del hombre (Krapovickas, 2010).

De Candolle (1884) en su obra "Origin of cultivated plants" detalló diferentes formas de cómo ocurre la domesticación gradual de las especies en la agricultura primitiva y cómo contribuyen los factores geográficos, las condiciones climáticas, la civilización, la migración y los intercambios culturales para dicho proceso. Este autor plantea que, se puede rastrear la procedencia de cada especie cultivada mediante datos botánicos, geográficos, arqueológicos, paleontológicos, con referencias históricas del uso y difusión de plantas por las poblaciones, con registros de otros investigadores, con nomenclatura, filología y finalmente, con la combinación de varios métodos.

Vavilov a principios del siglo XX siguió lo planteado por De Candolle (Harlan, 1971). A través de expediciones hechas en los cinco continentes, recopiló amplia información y colectó germoplasma para estudiar a fondo el origen y distribución de las principales especies de plantas cultivadas en el mundo. Con ello, elaboró un mapa de "centros de origen de las plantas cultivadas", en el cual, definió a ocho centros geográficos principales, tanto primarios como secundarios (Figura 2), actualmente llamados "Centros Vavilov".

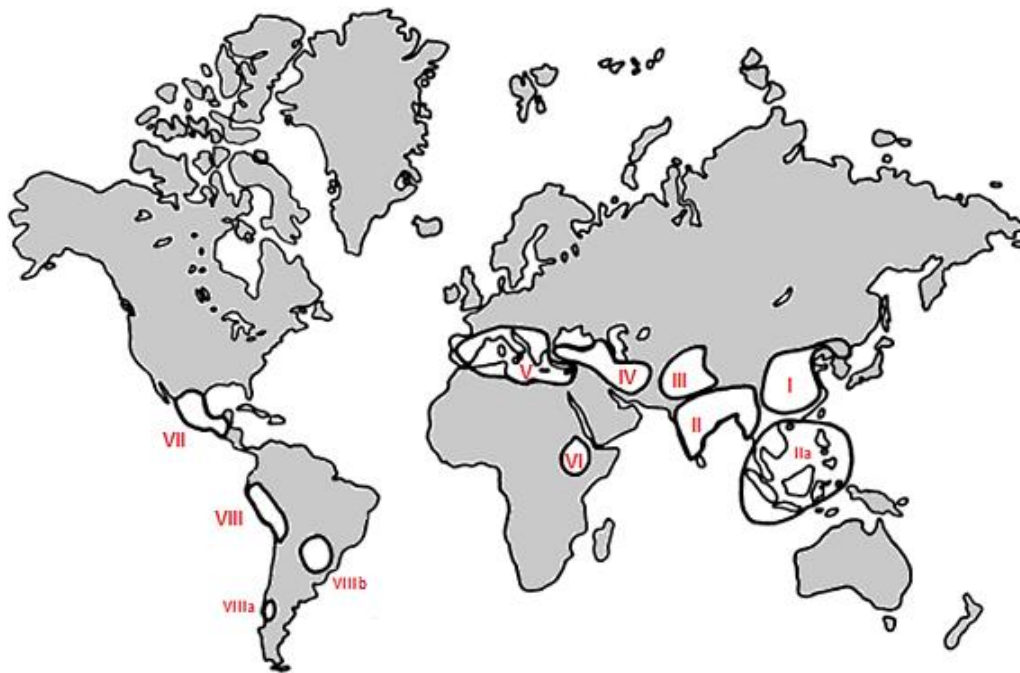


Figura 2. Centros de origen de las plantas cultivadas según Vavilov (1935). Adaptado de Harlan (1971).

Estos centros están conformados por I) El chino; II) El indio o birmano, IIa) El indo-malayo (Filipinas e Indonesia); III) Suroeste asiático o el centro asiático interior (Tadjikistan, Uzbekistán y otros); IV) Asia menor (transcaucasia, Irán y Turkmenistán); V) El mediterráneo; VI) Etiopía (antes Abisinia); VII) Mesoamérica; VIII) Los Andes, Paraguay, Brasil o región andina sudamericana (Bolivia, Perú, Ecuador), VIIIa) El subcentro chileno y VIIIb) El brasileño-paraguayo.

Estas áreas se caracterizan por un extraordinario surtido de variedades de plantas silvestres, consideradas como la contraparte de las especies cultivadas. El patrón de distribución de la mayoría de estos centros se sitúa en regiones tropicales y subtropicales del mundo (Engels, 2006; Talledo, 2019). Con base a la clasificación de Vavilov, muchos investigadores como Muller (1940), Luckwill (1943b), Jenkins (1948), Rick y Lamm (1955), Rick (1958) y Rick y Fobes (1975) se dedicaron al estudio del centro de origen y diversidad del tomate cultivado y sus parientes silvestres.

Jenkins (1948) y Rick (1958) concluyeron que, el tomate pertenece al centro de origen andino en Suramérica, específicamente corresponde a una pequeña área desde el norte de Chile hasta el sureste de Colombia, que luego se distribuyó como maleza hasta México donde fue domesticado y posteriormente llevado al Viejo Mundo.

Esta área está limitada al este por la cordillera de los Andes y al oeste por el Océano Pacífico, incluyendo el archipiélago de las Islas Galápagos (Peralta y Spooner, 2005 y 2007). También existe la posibilidad de que la domesticación pudo ocurrir de forma independiente tanto en México como la región Andina (Rick y Fobes, 1975; Rick y Holle, 1990).

Muller (1940) y Luckwill (1943a) produjeron los tratados taxonómicos más completos del tomate, basado en características morfológicas y estudios realizados previamente en la especie cultivada, su ancestro y los parientes silvestres, todos bajo el género *Lycopersicon* (Peralta *et al.*, 2008).

Muller (1940) planteó un tratado sistemático del género *Lycopersicon* Mill. y lo dividió en dos subgéneros basado en características morfológicas de fruto:

a) *Eulycopersicon* C. H. Mull. con frutos glabros y de color rojo, naranja o amarillo; conformado por *L. esculentum* Mill., *L. esculentum* var. *cerasiforme* (Dun.) A. Gray y *L. pimpinellifolium* (Jusl.) Mill.

b) *Eriopersicon* C. H. Mull. con frutos pubescentes o hirsutos, de color blanco o de verduzco a amarillento, teñidos de morado, rayados, manchados o no; conformado por *L. peruvianum* (L.) Mill., *L. cheesmanii* Riley, *L. hirsutum* Humb. and Bonpl. y *L. glandulosum* C. H. Mull.

Luckwill (1943a), adoptó los subgéneros de Muller, pero agregó una especie nueva. Además, sugirió que ambos subgéneros comparten una forma ancestral simple que divergió en dos linajes (Peralta y Spooner, 2005).

a) *Eulycopersicon* C. H. Mull., de frutos con pigmentos carotenoides; conformado por *L. esculentum* Mill., *L. esculentum* var. *cerasiforme* (Dun.) A. Gray y *L. pimpinellifolium* (Jusl.) Mill.

b) *Eriopersicon* C. H. Mull., de frutos verdes con pigmentos antocianinas; conformado por *L. peruvianum* (L.) Mill., *L. cheesmanii* Riley, *L. hirsutum* Humb. and Bonpl. y *L. glandulosum* C. H. Mull y *L. pissisi* Phil.

Sin embargo, en estos estudios morfológicos tanto Muller como Luckwill cometieron el error en clasificar a *L. cheesmanii*, de frutos color amarillo a naranja, dentro del grupo de frutos verdes (Peralta y Spooner, 2005).

Otro pionero en brindar una clasificación fue Rick (1979) al estudiar las relaciones biológicas inter-específicas entre el tomate tipo cultivado y sus parientes silvestres (Steven y Rick, 1986; Rick y Holle, 1990; Peralta y Spooner, 2005, 2007), clasificándolos en dos grupos según su compatibilidad de cruzamiento y por características morfológicas discriminantes (Taylor, 1986):

a) Grupo *esculentum*. Especies con intra-cruzabilidad, conformado por *L. esculentum*, *L. var. cerasiforme*, *L. chmielewskii*, *L. pimpinellifolium*, *L. hirsutum*, *L. pennellii*, *L. cheesmanii* y *L. parviflorum*.

b) Grupo *peruvianum*. Especies con inter-incruzabilidad, conformado por *L. chilense* y *L. peruvianum*.

Esta barrera de compatibilidad entre estos dos grupos puede ser rota solamente con la aplicación de cultivo de embriones, lo cual sucede solamente al usar el grupo *esculentum* como progenitor femenino (Rick, 1979).

Muller (1940), Jenkins (1948) y Rick (1958, 1979) refirieron que *L. esculentum* var. *cerasiforme* (actualmente *S. l. var. cerasiforme*) es el ancestro del tomate cultivado *L. esculentum* var. *esculentum* (actualmente *S. l. var. lycopersicum*), debido a su similitud morfológica (Esquinas, 1981; Nuez, 1995; Díez y Nuez, 2008; Peralta et al., 2008), y al crecimiento espontáneo en toda América tropical y subtropical, que además se ha extendido por los trópicos del Viejo Mundo (Rick, 1973, 1978), siendo los únicos tomates silvestres encontrados fuera de Suramérica (Taylor, 1986).

Esta hipótesis es soportada por diversos estudios basados en marcadores morfológicos, alo e isoenzimáticos y recientemente con la aplicación de marcadores moleculares de ADN; sin embargo, investigaciones genéticas recientes como las de Nesbitt y Tanksley (2002), Ranc et al. (2008) y Tamburino et al. (2020) han demostrado que *S. l. var. cerasiforme* es una mezcla entre *S. pimpinellifolium* y *S. l. var. lycopersicum*, en lugar de ser el ancestro directo. En este sentido, varios autores sugieren que *S. pimpinellifolium* es realmente el ancestro silvestre más cercano al tomate cultivado por su cercana posición en los análisis (Rick, 1983a; Palmer y Zamir, 1982; Tamburino et al., 2020).

En términos generales, se asume que la diversidad genética de la especie cultivada es menor respecto a las especies silvestres como consecuencia de la selección direccional debido a efecto fundador y/o cuellos de botella, que conllevan a la restricción del tamaño de la población, al que ha sido sometida la

especie a lo largo del proceso de migración y domesticación desde la región Andina hasta Mesoamérica, y de este a Europa en el siglo XVI (Rick, 1973; Esquinas, 1981; Miller y Tanksley, 1990; Hoyt, 1992; Lin *et al.*, 2014; Tamburino *et al.*, 2020).

Rick y Fobes (1975), Bretó *et al.* (1993) y Rick y Holle (1990) refirieron que los análisis con marcadores enzimáticos en accesiones del tipo cultivado y del tipo ancestral muestran baja variabilidad. De acuerdo a grupos geográficos, las accesiones mesoamericanas del cultígeno presentaron menor variación respecto a las andinas, lo que concuerda con el mayor grado de polinización cruzada en estos últimos debido a la exserción del estilo. Además, las accesiones europeas y estadounidense están más relacionadas a las mesoamericanas que a las andinas (Rick y Fobes, 1975).

De igual manera, las accesiones del ancestro putativo corresponden a moderadamente polimórficas en accesiones andinas y monomórficas en las mesoamericanas; en cambio, la diversidad es mayor en las especies silvestres emparentadas. Se ha encontrado que la variabilidad de las accesiones *cerasiforme* es tanto mayor como menor respecto a *L. esculentum*, según el germoplasma estudiado (Villand *et al.*, 1998).

Por otro lado, Palmer y Zamir (1982) mediante ADNcp estudiaron las relaciones filogenéticas dentro *Lycopersicon*, encontrando los mismos resultados que los inferidos con los criterios morfológicos y de cruzamiento, pero refleja que existe alta variabilidad entre especies, separando aquellas con frutos de color rojo-anaranjado de aquellas de color verde, correspondiendo a claros rasgos monofiléticos.

Estudios filogenéticos más recientes han estudiado la variabilidad genética del ADNn a través de técnicas modernas con marcadores moleculares RAPD y RFLP. Tal como el trabajo de Miller y Tanksley (1990) que reportaron resultados similares a los morfológicos, donde se establecen agrupamiento de acuerdo al color del fruto y al grado de cruzamiento entre las especies. Además, se encontró que en las especies auto-compatibles existe alta diversidad entre poblaciones

que, dentro de poblaciones, y que la diversidad en las auto-incompatibles es mucho mayor que estas.

Otro resultado sorprendente mediante marcadores moleculares, es que se encontró más variación genética en el tomate cultivado y su antepasado putativo en el centro primario de diversidad (suroeste de América) que en las mesoamericanas y en el Viejo Mundo (Williams y St. Clair, 1993; Villand *et al.*, 1998: citados por Peralta y Spooner, 2000), lo que concuerda con lo reportado mediante análisis enzimáticos y morfológicos.

Con estos y otros estudios, se puede afirmar que el tomate presentó erosión genética durante la migración y distribución, pero que presentaba alta variabilidad antes de su descubrimiento en México e introducción a Europa, en donde los conquistadores vieron su afluente comercio en los mercados locales, como parte de la cultura gastronómica de los indígenas mexicanos.

Esta hipótesis, se basa en relatos de primera mano por escribanos y médicos naturalistas del siglo XVI, quienes describieron y graficaron frutos de varios colores (rojo, amarillo y azafrán), formas (pera, redondas, oblongas, acostillados, biloculares y multiloculares), tamaños (pequeño, intermedio y grandes) y texturas (firmes y blandos); asimismo de flores (simples y fasciadas). Siendo estas, características propias del tomate cultivado.

A pesar de la reducida base genética de la especie cultivada, se ha visto que ésta presenta diversidad en hábitos de crecimiento, de precocidad a floración y maduración de frutos, así como en caracteres morfológicos de semillas y de frutos; sin embargo, los materiales silvestres presentan mayor calidad organoléptica como sabor, aroma y pigmentos antioxidantes.

Esta variación se explica por el síndrome de domesticación (Frary y Doğanlar, 2003; Yang *et al.* 2019), siendo incipiente en los lugares muy próximos a su centro de origen en Sudamérica y con procesos más importantes después de su traslado a Mesoamérica (Blanca *et al.*, 2012, 2015: citados por Díez y Picó, 2016),

aunque, el tomate también encontró un centro secundario de diversificación en Europa, especialmente en Italia y España (Díez y Picó, 2016).

Se ha sugerido que la endogamia acelerada, favorecida por el cambio de posición del estigma, fue acompañada de la exposición y fijación de muchos genes recesivos, ofreciendo así una posible explicación del origen de las diversas formas del tomate cultivado y de la acumulación de los muchos genes recesivos por los cuales el tomate cultivado se diferencia de los tipo silvestres emparentados (Rick y Butler, 1956).

El proceso de domesticación implica la selección y recombinación de alelos beneficiosos presentes en el germoplasma silvestre o surgidos en el mismo proceso a través de mutaciones espontáneas subyacentes al rendimiento y calidad (Paran y van der Knaap, 2007; Fernie y Yan, 2019).

En el tomate, los rasgos de domesticación han sido estudiados durante años y se han identificado genes cualitativos y QTLs (Chen *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2019) (Cuadro 1). Además, se siguen identificando rasgos agronómicamente útiles y las especies silvestres seguirán desempeñando un papel importante en el mejoramiento del tomate (Fulton *et al.*, 2002; Frary *et al.*, 2004; Labate *et al.*, 2007; Fernie y Yan, 2019; Rothan *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Algunos genes seleccionados durante la domesticación del tomate. Adaptado de Paran y van der Knaap (2007).

Locus	Chromosome	Trait	Function/underlying gene
<i>fw2.2</i>	2	Fruit weight	Regulation of cell division
<i>ovate</i>	2	Fruit shape	Negative regulation of plant growth
<i>r</i>	3	Fruit colour	Phytoene synthase1
<i>Delta</i>	12	Fruit colour	Lycopene δ -cyclase
<i>tangerine</i>	10	Fruit colour	Carotenoid isomerase
<i>Beta</i>	6	Fruit colour	Chromoplast-specific lycopene β -cyclase
<i>old-gold</i>	6	Fruit colour	Chromoplast-specific lycopene β -cyclase
<i>high pigment-1</i>	2	Fruit colour	UV damaged DNA binding protein
<i>high pigment-2</i>	1	Fruit colour	Homologue of <i>deetiolated1</i>
<i>rin</i>	5	Fruit ripening	MADS box protein
<i>Green-ripe</i>	1	Fruit ripening	Unknown
<i>Never ripe</i>	9	Fruit ripening	Ethylene receptor
<i>self pruning</i>	6	Plant architecture	Homologue of <i>terminal flower1</i>
<i>jointless</i>	11	Plant architecture	MADS box protein

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo de marzo a noviembre de 2020 en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en las instalaciones del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP); ubicado en el km 13.5 carretera Los Reyes-Texcoco, Texcoco de Mora, Estado de México, a una altitud de 2,255 m s. n. m. con coordenadas geográficas 19°29'13.19" N y 98°53'40.19" O.

5.2. Material biológico

Se utilizaron poblaciones silvestres de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con diferentes formas, color y tamaño de frutos; asimismo con plantas de diferentes hábitos de crecimiento, colectados en diferentes zonas geográficas de México, las cuales pertenecen al banco de germoplasma del Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la UACH.

Quince poblaciones silvestres y dos variedades modernas de polinización abierta de tomate como testigos fueron sembradas, dentro de las cuales, se obtuvieron diez individuos (plantas) para cada una, siendo manejados como genotipos independientes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Identificación y descripción de las poblaciones de tomate silvestres.

Población	Código	Coordenadas del sitio de colecta	
		Latitud norte	Longitud oeste
1	LBCh 76	18°41'49.69"	101°55'10.42"
2	LBCh 231	19°18'03.59"	98°35'03.53"
3	LBCh 301	18°16'01.53"	98°32'27.02"
4	LBCh 188	19°58'46.77"	102°09'38.45"
5	LBCh 86	18°41'49.69"	101°55'10.42"
6	LBCh 82	17°56'19.89"	102°11'22.72"
7	LBCh 75	18°16'01.53"	98°32'27.02"
8	LBCh 71	19°58'46.77"	102°09'38.45"
9	LBCh 67	17°56'19.89"	102°11'22.72"

Población	Código	Coordenadas del sitio de colecta	
		Latitud norte	Longitud oeste
10	LBCh 61	18°41'49.69"	101°55'10.42"
11	LBCh 2da 28	18°26'53.92"	97°32'55.82"
12	LBCh 2da 18	17°48'42.93"	98°22'12.94"
13	LBCh 2da 11	16°10'01.78"	94°05'31.31"
14	LBCh 2da 02	19°58'46.77"	102°09'38.45"
15	LBCh 2da 09	18°16'01.53"	98°32'27.02"
16	Rio Grande *	Variedad comercial	
17	Floradade *	Variedad comercial	

*Variedades testigos

5.3. Desinfección y siembra

Se usó charolas de poliestireno expandido con capacidad de 200 cavidades, tratadas con fungicida Benomyl 50 (Benomilo) a concentración de $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ durante 5 min, luego se secaron bajo sombra. Se rellenó cada charola con la mezcla perlita y 'peat moss' a razón de 1:1 (v:v) previamente humedecido, y se sembró una semilla de cada genotipo por alveolo.

Las charolas se apilaron y cubrieron con doble capa de plástico polietileno de alta densidad color negro, para crear un ambiente controlado de oscuridad, alta temperatura y humedad constante, útil para promover y acelerar la germinación. Al tercer día, las charolas se descubrieron y extendieron, procediendo a regarlas dos veces al día con la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989), constituida por los nutrimentos (en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) N=200, P=40, K=250, Ca=250, S=150, Mg=50, Fe=2, Mn= 0.1, Cu=0.1, Mn=1, B=0.5 y Zn=0.1, concentrado al 50% durante 20 días y luego se incrementó al 100%, todo ajustado a pH entre 5.5 a 6.

5.4. Trasplante y manejo del cultivo

Se trasplantó a los 35 días, estableciendo una planta por bolsa de material polietileno color negro y dimensiones de 27 cm de alto por 27 cm de ancho, las que fueron rellenas con tezontle rojo. El cultivo se manejó a distanciamiento de 40 cm entre planta y 1 m entre hilera, con sistema hidropónico al goteo mediante tuberías PVC, dispensando la solución nutritiva al 100 % con caudal de

3 L·h⁻¹ y con frecuencia de 3 riegos por día; todo, bajo condiciones de invernadero con pH ajustado entre 5.5 a 6, temperatura de 21 a 24 °C y humedad relativa de 60 a 80 %.

Se realizaron labores culturales como tutorado individual con rafia haciendo amarres dos veces por semana, deshoje hasta el primer racimo para facilitar la aireación del piso, deschuponados de todos los brotes laterales tres veces por semana y frecuentes movimientos de los hilos tutores por las mañanas para facilitar el desprendimiento del polen en las anteras y favorecer la polinización.

5.5. Variables evaluadas

La selección y evaluación de las variables se hizo con base a los “Descriptor para el tomate *Lycopersicon* spp.” elaborado por Bioversity International (1996) (antes IPGRI). Estas corresponden a características de plántula, planta (tallo y hoja), inflorescencia, frutos y semillas (Cuadro 3) en cada población.

Cuadro 3. Variables registradas por cada fase de desarrollo.

a) Fase Vegetativa	
Etapas de plántula	
1.	Días a emergencia de plántulas
2.	Color del hipocótilo: verde, ¼ morado, ½ morado, completamente morado
3.	Intensidad del color del hipocótilo: leve, intermedio, fuerte
4.	Densidad de pubescencia del hipocótilo: baja, intermedia, alta
Etapas de planta	
5.	Densidad de pubescencia del tallo: baja, intermedia, alta
6.	Longitud del segundo simpodio (cm)
7.	Diámetro del segundo simpodio (mm)
8.	Antocianinas en tallo: presencia, ausencia
9.	Tamaño de la planta: pequeña (<1.6 m), intermedia (1.6 - 2 m), alta (>2 m)
10.	Hábito de crecimiento: enano, determinado, semideterminado, Indeterminado
11.	Número de hojas por simpodio
12.	Número de folíolos por hoja
13.	Densidad de follaje: escasa, intermedia, densa
14.	Posición de las hojas: semi erecta, horizontal, inclinada
15.	Tipo de hoja: enana, papa, estándar, peruvianum, pimpinellifolium, hirsutum, otra
16.	Margen de folíolos: entero, ondulado, dentado, aserrado
17.	Longitud de hoja (cm)
18.	Amplitud de hoja (cm)

b) Fase reproductiva

Etapas de inflorescencia

1. Altura al primer racimo (cm)
2. Días a floración
3. Tipo de paría: generalmente unípara, ambos, generalmente multípara
4. Número de flores por inflorescencia
5. Longitud total de la inflorescencia (cm)
6. Prolongación vegetativa: terminada en flor, ambas, reversión vegetativa
7. Número de pétalos por flor
8. Número de sépalos por flor
9. Diámetro de corola (cm)
10. Diámetro de cáliz (cm)
11. Longitud de estambre (mm)
12. Número de estambres por flor
13. Posición del estilo: inserto, mismo nivel, ligeramente exserto, muy exserto

Etapas de fruto

14. Color externo del fruto inmaduro: blanco verduzco, verde claro, verde, verde oscuro, verde muy oscuro, otro
15. Forma del fruto: achatado, ligeramente achatado, redondeado, redondo-alargado, cordiforme, cilíndrico (oblongo-alargado), piriforme, elipsoide
16. Tamaño del fruto: muy pequeño (<3 cm), pequeño (3-5 cm), intermedio (5.1 - 8 cm), grande (8.1-10 cm) o muy grande (>10 cm)
17. Longitud total del pedicelo (mm): Desde el pedúnculo hasta el fruto
18. Longitud de zona de abscisión (mm): Desde la inserción con el pedúnculo hasta el anillo de abscisión.
19. Días a maduración de fruto
20. Facilidad para separar el fruto: difícil, intermedio, fácil
21. Amplitud de la cicatriz del pedicelo (mm)
22. Forma de la base: aplanada, ligeramente hundida, moderadamente hundida, muy hundida
23. Forma del ápice: indentada, aplanada, puntiaguda
24. Forma de la cicatriz del ápice: punteado, estrellado, lineal, irregular
25. Color externo del fruto maduro: verde, amarillo, naranja, rosado, rojo, otro
26. Intensidad del color del fruto maduro: leve, intermedia, fuerte
27. Apariencia cat-face: ausencia, presencia
28. Peso por fruto (g)
29. Diámetro polar (cm)
30. Diámetro ecuatorial (cm)
31. Facilidad para pelar: difícil, intermedio, fácil
32. Color de la epidermis: incolora, amarilla
33. Forma transversal: redondo, angular, irregular
34. Número de lóculos por fruto
35. Grosor del pericarpio (mm)
36. Color del pericarpio: verde, amarillo, naranja, rosado, rojo, otro
37. Intensidad del color del pericarpio: leve, intermedia, fuerte
38. Color de columela: verde, blanco, rojo

39. Grosor de la columela (mm)
40. Consistencia de frutos a la cosecha: blando, intermedio, duro
41. Consistencia de frutos en anaquel: blando, intermedio, duro
42. Contenido de sólidos solubles (grados Brix): medido con refractómetro brixómetro digital Milwaukee (MA871), con exactitud +/- 0.2 y resolución 0.1 %
43. Número de semillas por fruto

Etapas de semilla

44. Forma de semilla: globular, ovada, triangular con base puntiaguda
 45. Tamaño de semilla: pequeño (<2 mm), mediano (2.1 - 4 mm), grande (>4.1 mm)
 46. Color de semilla: amarillo claro, amarillo oscuro, gris, marrón, marrón oscuro
-

5.6. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 17 tratamientos (poblaciones) y 10 repeticiones (individuos). La unidad experimental consistió en un individuo de cada población durante las fases vegetativa y reproductiva.

El modelo estadístico corresponde a:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, \dots, t$; $t = 17$ tratamientos

$j = 1, \dots, n$; $n = 10$ repeticiones por tratamiento

Dónde:

Y_{ij} = respuesta observada con el i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición

μ = media general

τ_i = efecto de i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental

5.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de quince poblaciones silvestres y dos variedades comerciales como testigos. Se utilizaron 64 descriptores morfológicos y agronómicos propuestos por Bioversity Internacional, los cuales se clasificaron de acuerdo con la fase de desarrollo de la planta, siendo 18 de tipo vegetativo (cuatro en plántulas y catorce en plantas) y 46 de tipo reproductivo (trece en inflorescencias, treinta en frutos y tres en semillas), todo representado por 28 variables cuantitativas y 36 cualitativas (Anexo 1).

Para las variables cuantitativas, se realizó un análisis descriptivo del comportamiento de las poblaciones mediante la medida de tendencia central media aritmética y con medidas de dispersión como el intervalo y el coeficiente de variación (Anexo 2). La normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas fueron verificadas mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene, respectivamente. Para ello, se utilizó el software SAS (versión 9.4).

El análisis de varianza se realizó con medidas repetidas (individuos) y se comparó las diferencias de medias por la prueba de rangos múltiples Tukey ($\alpha = 0.05$), apoyado con el paquete Microsoft Excel (Office 2019) para elaborar las bases de datos y del paquete estadístico SAS (versión 9.4) para los análisis propiamente dichos.

Se estimó el coeficiente de Pearson y se elaboró una matriz de correlaciones mediante el paquete estadístico RStudio (versión 4.0.4). Con ello, se hizo el análisis de componentes principales (ACP) para variables cuantitativas y apreciar los agrupamientos de poblaciones. Para ello se utilizó el software RStudio (versión 4.0.4).

Las variables cualitativas se sometieron a un análisis descriptivo mediante distribución de frecuencias y moda. Asimismo, para apreciar agrupamientos de las poblaciones se realizó un análisis de correspondencia múltiple (ACM) mediante el software RStudio (versión 4.0.4).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables de plántula

6.1.1. Días a emergencia de plántula

Las poblaciones silvestres presentaron diferencias respecto a los testigos Rio Grande (16) y Floradade (17), que emergieron a los 5 días (Figura 3). Las poblaciones 1 y 2 emergieron a los 5 y 6 días, respectivamente; mientras que, la 6, 7 y 8 lo hicieron 1 día antes que las variedades comerciales. Estos materiales precoces son de gran utilidad para el mejoramiento de las variedades modernas.

La emergencia de las poblaciones 3, 4, 5, 10, 12, 13, 14 y 15 fue entre los 7 y 8 días después de la siembra, lo que representa un tiempo razonable según Fernández *et al.* (2006) y López (2017), quienes refirieron que ocurre entre los 5 y 8 días después de la siembra bajo condiciones óptimas de oscuridad, temperatura y humedad. Por otra parte, se observaron poblaciones tardías como la 9 y 11 que emergieron a los 10 y 15 días, respectivamente.

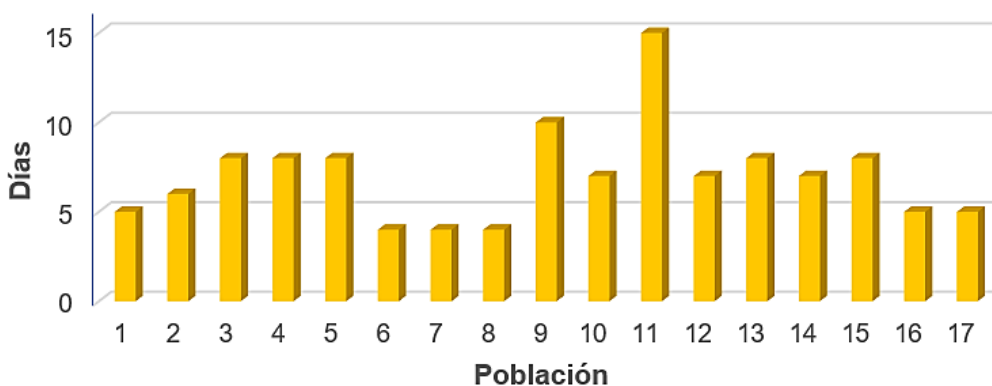


Figura 3. Días a emergencia de plántulas para diecisiete poblaciones de tomate.

6.1.2. Color e intensidad del hipocótilo

En cuanto a la presencia de antocianinas en los hipocótilos (Figura 4), las poblaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 14 (66.67 %) y 16 presentaron pigmentación con antocianinas hasta un cuarto desde su base (categoría 2) y las poblaciones 10 (6.67 %) y 17 mostraron pigmentación hasta la mitad desde la base (categoría 3). Por otra parte, las poblaciones 13 y 15 (13.33 %) tuvieron pigmentación

completa del hipocótilo (categoría 4); mientras que, las poblaciones 8 y 11 (13.33 %) carecieron de ella, con coloración verde de leve intensidad (categoría 1).

En los hipocótilos de las poblaciones pigmentadas con antocianinas, solamente la 10, 13, 15 (23.08 %) y 16 presentaron alta intensidad (categoría 3) y el resto (76.92 %), entre media a baja (categoría 2 y 1, respectivamente).

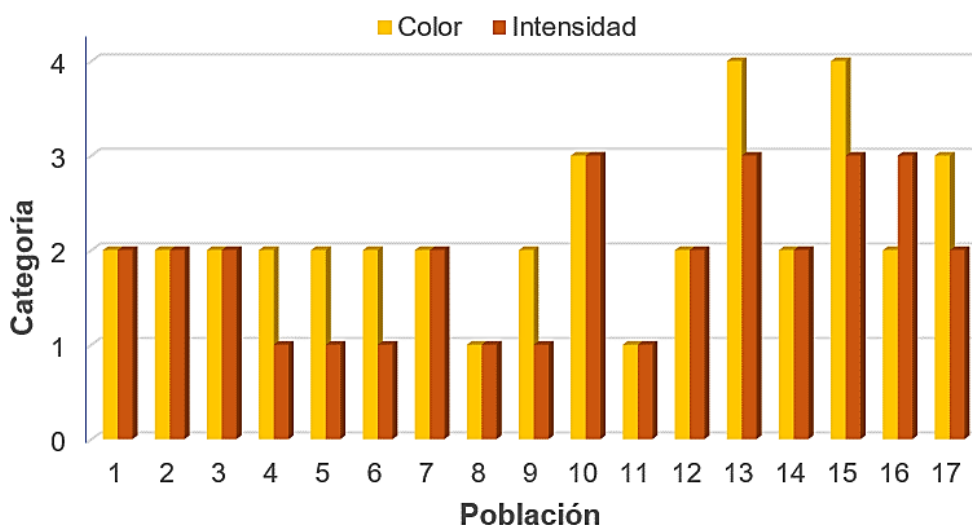


Figura 4. Pigmentación del hipocótilo e intensidad del color para diecisiete poblaciones de tomate.

Estos resultados son contrastantes con los reportados por Agudelo *et al.* (2011), donde la mayor frecuencia se presentó en los morados parciales con 56.52 % y en este estudio fue de 73.34 %; sin embargo, son congruentes para la intensidad, donde la que más se expresó fue de intermedia a baja con 78.26 %, similar a 76.92 % en este estudio.

Cabe mencionar que, en etapa de planta, las poblaciones 1, 2, 5, 7, 14, 16 y 17 perdieron por completo la pigmentación en los tallos, al mismo tiempo que las poblaciones 3, 4, 6, 9, 10 y 12 tuvieron leve pigmentación en los nudos de inserción de las hojas, incluyendo las poblaciones 8 y 11 que no mostraron pigmentos en etapa de plántula. Finalmente, las poblaciones 13 y 15 conservaron la pigmentación e intensidad alta en todo el tallo durante todo su ciclo, y sus hojas se tornaron de color verde oscuro.

La producción de antocianinas en las plantas de tomate, generalmente está restringida a los tejidos vegetativos como el hipocótilo, aunque también se puede presentar en tallos, hojas y frutos bajo condiciones de alta radiación (Mes *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2019). Con base a esto, se puede mencionar que en este estudio aproximadamente el 50 % de las poblaciones perdieron la pigmentación con antocianinas al entrar a etapa de planta; sin embargo, dos poblaciones carentes de ellas lograron producirlas.

La presencia o carencia de la pigmentación con antocianinas en las plántulas está regulada por el genotipo y el ambiente (Clayberg *et al.*, 1973). Estos autores, describieron un fenotipo similar al encontrado en este estudio con pigmentación reducida y concentrada en ciertos puntos de la planta, aduciendo que es debido a la expresión del gen *are*. Clayberg *et al.* (1966) describieron el fenotipo que conserva alta intensidad de pigmentación debido a la expresión del gen *atv*, siendo similar a las poblaciones 13 y 15 en este estudio.

La presencia de antocianinas en los tejidos vegetales juega un papel importante como fitoprotector ante situaciones de estrés abiótico (anegación, frío, calor y alta radiación), las cuales actúan como antioxidantes al atrapar especies reactivas de oxígeno (Delgado *et al.*, 2000; Hatier y Gould, 2009; Baracaldo *et al.*, 2014).

6.1.3. Pubescencia del hipocótilo

Respecto a la presencia de tricomas en los hipocótilos, en todas las poblaciones se presentó poca densidad; sin embargo, en fase vegetativa y reproductiva, solo las poblaciones 1, 11, 14 y 17 conservaron esta densidad, el resto desarrolló densidad intermedia, características reportadas y descritas por Luckwill (1943b).

Domingos (2003) refiere que la variedad cultivada y la *cerasiforme* presentan densidad intermedia de tricomas, y que en *S. pimpinellifolium* es escasa y corta. Este fenotipo es debido a la presencia del gen *h* que determina la escasez y ausencia de tricomas largos; y no por el gen *hl* que confiere fenotipo glabro (Rick y Butler, 1956; Stevens y Rick, 1986).

Darwin *et al.* (2003) y Peralta *et al.* (2008) refieren la importancia de la presencia de tricomas tipo glandulares y no glandulares en toda la planta, para repeler o inhibir la alimentación de los insectos herbívoros ya que sirven como defensas naturales, principalmente cuando son densos y largos.

6.2. Variables de planta

6.2.1. Longitud y diámetro de simpodio

En la fase vegetativa, los análisis demostraron que existen diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para las variables longitud y diámetro de simpodio, conformando 12 y 5 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 3 y 4). Sin embargo, para la primera variable, las poblaciones pueden ser reagrupadas de forma práctica en cuatro categorías (Figura 5), siendo más sobresalientes las poblaciones 10, 1, 7 y 14 con longitud superior a los 25 cm; seguido por las poblaciones 2, 15, 3 y 5, que presentaron longitud entre 20 y 25 cm; y las poblaciones 9, 8, 13, 12 y 4, entre 16 y 19 cm, mientras que, las poblaciones con menor longitud e inferior a 15 cm fueron la 6 y 11, similar a los testigos Rio Grande (16) y Floradade (17).

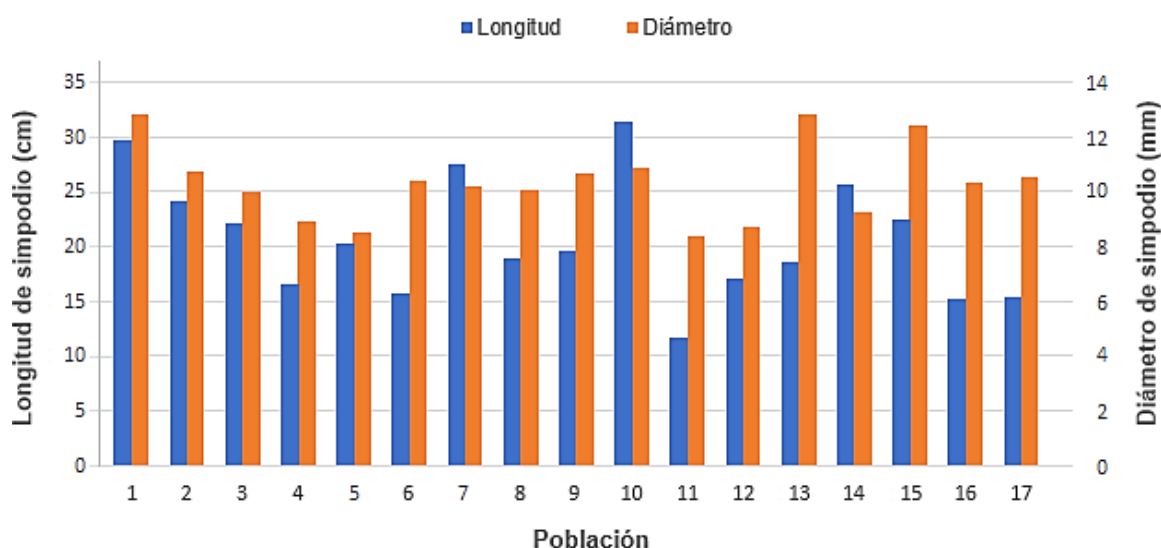


Figura 5. Longitud y diámetro de tallo para diecisiete poblaciones de tomate.

Para la segunda variable, las poblaciones pueden ser reagrupadas en 3 categorías (Figura 6), donde sobresalen las poblaciones 13, 1 y 15, con diámetros

superior a 12 mm; seguidas por las poblaciones 10, 2, 9, 6, 7, 8 y 3, con diámetros entre 10 y 11 mm, similar a los testigos. Mientras que, las poblaciones con menor diámetro e inferior a 10 mm fueron la 14, 4, 12, 5 y 11.

Estos resultados son congruentes con los encontrados por Carrillo y Chávez (2010), quienes evaluaron materiales semi domesticados y silvestres, tipo cherry, arriñonados y piriforme con hábitos indeterminados, los que presentaron simpodios con longitudes entre 15 a 21 cm, y diámetros entre 9 a 12 mm. Plantas con mayor diámetro de tallos, translocan más fotoasimilados, los que serán destinados para el crecimiento de frutos (Sánchez, 1997).

6.2.2. Tamaño y hábito de crecimiento

Para las variables tamaño y hábito de crecimiento de plantas (Figura 6), todas las poblaciones silvestres superaron a los testigos 16 y 17 que presentaron tamaño pequeño menor a 1.5 m (categoría 1) y hábito determinado (categoría 2).

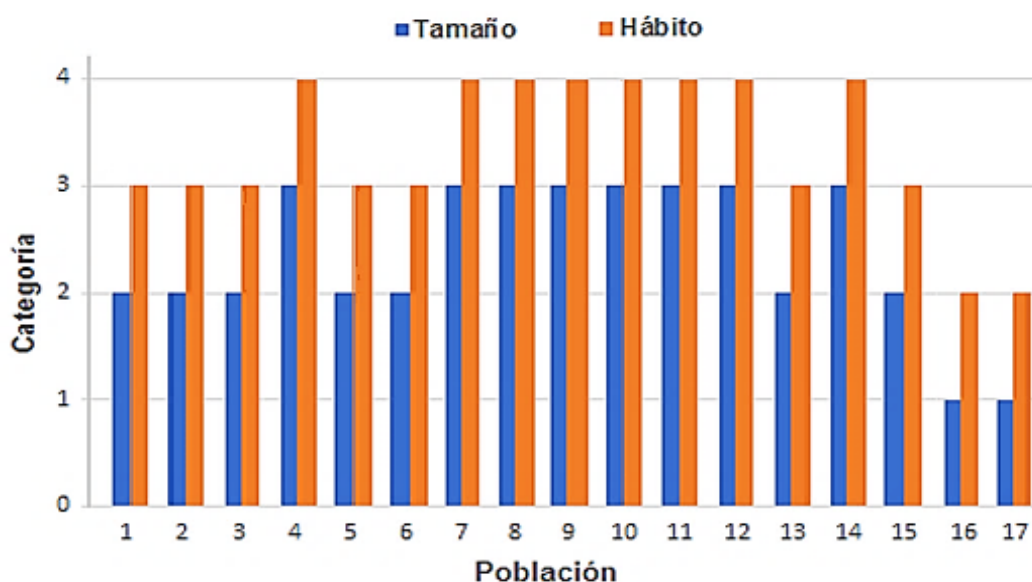


Figura 6. Tamaño y hábito de crecimiento de plantas para diecisiete poblaciones de tomate.

Las poblaciones 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 14 fueron de tamaño grande mayor a 2.2 m y con hábito indeterminado (categoría 3 y 4, respectivamente); mientras que, las poblaciones 1, 2, 3, 5, 6, 13 y 15 mostraron tamaño intermedio de 1.5 m a 2.2 m y con hábito semideterminado (categoría 2 y 3, respectivamente).

En una evaluación germoplasma de variedades locales, silvestres, comerciales y especies emparentadas Florido *et al.* (2008) y Kumar *et al.* (2019), encontraron que en estos se pueden presentar todos los tipo de hábitos de crecimiento, pero el hábito indeterminado, controlado por el gen *SP*, es común en *S. pimpinellifolium* y en *S. l.* var. *cerasiforme*; mientras que en la especie cultivada aproximadamente el 50 % es tipo indeterminado.

Las plantas de crecimiento determinado, controladas por el gen *sp*, sus tallos principal y laterales detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias, son plantas de ciclo corto, de porte bajo, compactas y sembradas mayormente en sistemas a campo abierto (López, 2017). En cambio, en las indeterminadas su tallo principal y laterales crecen en un patrón continuo, siendo la yema terminal del tallo la que desarrolla el siguiente tallo; además, son de ciclo más largo, presentan floración y fructificación continua y escalonada, y mayormente sembradas en invernaderos.

6.2.3. Densidad de follaje, hojas por simpodio, margen y folíolos por hoja

Las variables cuantitativas número de hojas por simpodio y número total de folíolos (primarios y secundarios) por hojas mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$), conformando 9 y 8 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 5 y 6). Asimismo, variables cualitativas como margen de hojas y densidad de follaje presentaron diferencias entre poblaciones (Figura 7).

Los testigos 16 y 17 generaron dos hojas por simpodio, al igual que las poblaciones 9 y 15; mientras que, las poblaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13 y 14 generaron tres hojas por simpodio.

Peralta *et al.* (2008) indicaron que en *S. lycopersicum* se presentaron simpodios bi, tri o tetra foliados, sin embargo, Bustamante *et al.* (2013) refieren que la característica de dos hojas por simpodio es típica en las variedades de hábito determinado y de ciclo corto; mientras que, las variedades de hábito indeterminado y de ciclo largo frecuentemente presentan tres hojas por simpodio.

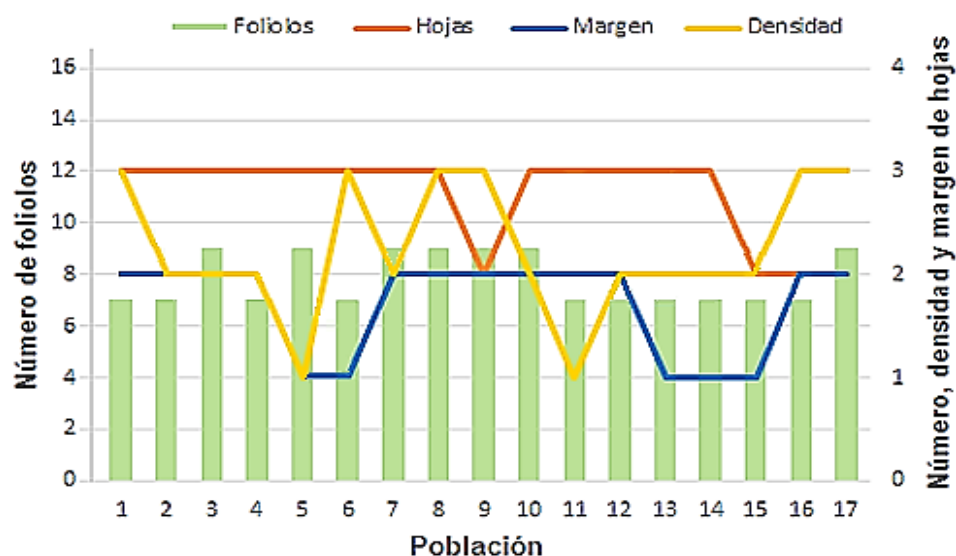


Figura 7. Número hojas y folíolos, margen de folíolos y densidad de follaje para diecisiete poblaciones de tomate.

En cuanto al margen de folíolos, las poblaciones 5, 6, 13, 14 y 15 son de tipo ondulado (categoría 1) y el resto son de tipo dentado (categoría 2), al igual que los testigos. Peralta *et al.* (2008) indicaron que, los márgenes de los folíolos son generalmente dentados o crenados, especialmente en la base; aunque también pueden presentarse márgenes enteros, lobulados y aserrados.

Para el carácter densidad de follaje, las poblaciones 1, 6, 8 y 9 tuvieron alta densidad (categoría 3), al igual que los testigos; en las poblaciones 2, 3, 4, 7, 10, 12, 13, 14 y 15 se presentó el tipo intermedio (categoría 2); mientras que, en las poblaciones 5 y 11 la densidad fue baja (categoría 1). Lara (2017) reportó que las densidades escasas e intermedias son más frecuentes en materiales de uso tradicional.

Para el carácter número de folíolos, las poblaciones 1, 2, 4, 6, 11, 12, 13, 14 y 15 presentaron siete por hoja, el resto nueve. Estas poblaciones se comportaron similar a los testigos, de siete a nueve folíolos.

Resultados similares fueron obtenidos por Carrillo y Chávez (2010), quienes contabilizaron un promedio de ocho folíolos por hoja en tomates silvestres y semi domesticados. Asimismo, Peralta y Spooner (2005) encontraron ocho folíolos por hoja en *S. l.* var. *cerasiforme*.

6.2.4. Tipo y posición de hoja

Se han realizado investigaciones dirigidas a la modificación de las características del dosel para incrementar la densidad de población (Rodríguez, 2006) y para lograr una arquitectura ideal con el propósito de mejorar la intercepción de la radiación lumínica (Hay y Walker, 1989; Valentinuz y Tollenaar, 2006) mediante el uso de plantas con follaje erectófilo en vez de planófilo (Rodríguez, 2006).

Algunas características que contribuyen al tipo de arquitectura de la planta son el tipo y posición de hojas (Figura 8), así como densidad de follaje y largo, ancho, número y distancia entre hojas, quienes determinan la producción de biomasa por su relación directa con la fotosíntesis. Florido *et al.* (2002) refirieron que la forma de hoja tipo estándar es la que predomina en la especie cultivada, posiblemente debido a la base genética pobre con que cuentan las variedades modernas.

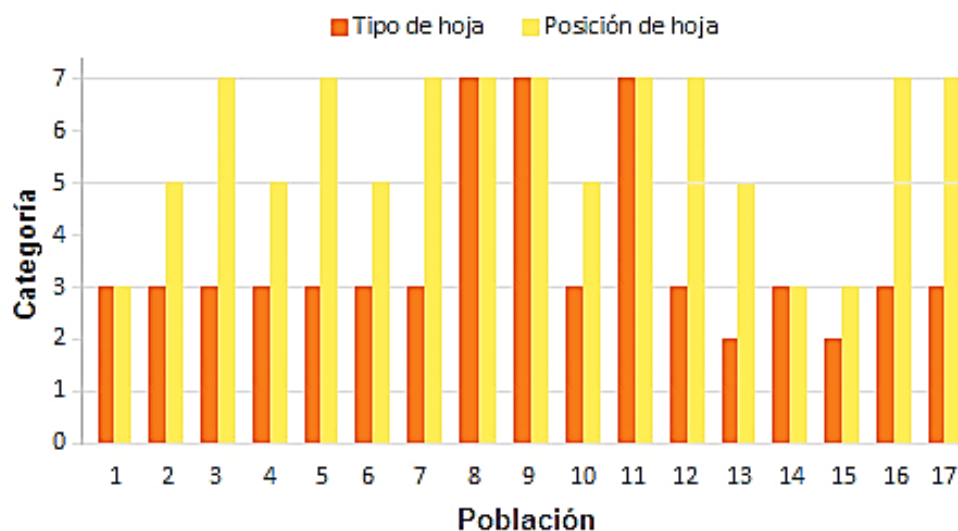


Figura 8. Tipo y posición de hojas para diecisiete poblaciones de tomate.

La mayoría de las poblaciones presentaron hojas tipo estándar (categoría 3), excepto en las poblaciones 13 y 15, que mostraron hojas tipo papa (categoría 2) con márgenes adaxiales rizados, nervadura central curvada y turgencia conservada hasta la madurez (Figura 9).



Figura 9. Hoja tipo papa con presencia de antocianinas en las poblaciones 13 y 15 de tomate.

Posiblemente este fenotipo se deba a la mutación *wt* con márgenes enrollados adaxialmente permaneciendo turgentes, con buena expresividad e incluso pueden detectarse en una etapa relativamente temprana, y en algunos casos está ligada a la mutación *j*, tal como refieren Rick y Butler (1956) y Stevens y Rick (1986).

Fenotipo similar presenta la mutación *cm* con márgenes rizados y moteados, pero con sensibilidad a las condiciones ambientales de sequía, altas temperaturas o carencia de nutrientes, especialmente fósforo; características no asociadas a estas poblaciones (13 y 15).

La característica hoja tipo papa, está controlado por la expresión del gen *gob-3* y/o el gen *c* que reducen el número de folíolos, inducen la formación de márgenes enteros, eliminación de folíolos secundarios y folíolos interpuestos o adyacentes.

La doble mutación *c:gob* produce fenotipos con hojas simples y no compuestas como el tipo *wild type*. Sin embargo, este tipo de hoja también puede estar regulado por el transportador PIN1, por las concentraciones de auxinas y citocininas, así como por la proteína homeodominio RCO (Berger *et al.*, 2009; Koenig *et al.*, 2009; Shani *et al.*, 2010; Vlad *et al.*, 2014: citados por Wang *et al.*, 2016).

De igual manera, las poblaciones 8, 9 y 11 se comportaron diferentes a los testigos, presentando un tipo de hoja no registrado en los descriptores, la cual se denominó hoja tipo 'con brotes' (categoría 7), con fenotipo margen dentado, pero también tendiendo al ondulado, principalmente en la población 11. En hojas completamente desarrolladas se formaron brotes vegetativos de 1 a 2 pulgadas de longitud en cada base de los folíolos principales (Figura 10) y en ocasiones estos brotes desarrollaron inflorescencias rudimentarias.



Figura 10. Hoja tipo 'con brotes' en las poblaciones 8, 9 y 11 de tomate.

Esta característica está relacionada a los genes *BOP1* y *BOP2*. Tanto el mutación *bop1* como *bop2* muestran defectos como desarrollo de inflorescencias fusionadas y producción de múltiples flores a partir del mismo nudo. Sin embargo, la doble mutación *bop1:bop2* muestra un crecimiento de tejido ectópico en la hoja, modulando la diferenciación y el crecimiento a través de la represión a genes *KNOX* (Norberg *et al.*, 2005; Ha *et al.*, 2007: citados por Wang *et al.*, 2016).

En este estudio, el 13.33 % de las poblaciones silvestres presentaron hoja tipo papa y el 86.67 % hoja tipo estándar, resultados contrarios a los reportados por Agudelo *et al.* (2011) en materiales tipo cherry con crecimiento mayormente

indeterminado, donde las hojas tipo papa presentaron mayor frecuencia (69.56 %) que las estándar (30.43 %).

En cuanto a la posición de las hojas. Las poblaciones 3, 5, 7, 8, 9, 11 y 12 tuvieron hojas tipo colgante (categoría 7) al igual que los testigos 16 y 17; mientras que las poblaciones 2, 4, 6, 10 y 13 fueron tipo horizontal y las poblaciones 1, 14 y 15 son semi erectas, respecto al eje del tallo. Esta última posición es de gran utilidad en el fitomejoramiento, puesto que aprovecha mejor la radiación lumínica en el dosel y a la vez permite manejar altas densidades de siembra, principalmente en condiciones de invernadero donde los espacios son limitados y por ende se busca hacer más eficiente su ocupación.

Lara (2017) reportó posiciones tipo horizontal y colgante en evaluación con variedades tradicionales, siendo más frecuente la primera. Estos resultados son contrastantes con los encontrados en este estudio, donde el tipo colgante es más frecuente que el horizontal. Esta diferencia posiblemente se deba al efecto de selección a que se han sometido los materiales tradicionales y comerciales.

6.2.5. Longitud y amplitud de hoja

Los análisis de longitud y amplitud de hojas mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$), agrupándose las poblaciones en 5 y 11 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 7 y 8). Sin embargo, fueron reagrupadas de acuerdo con intervalos en cuatro categorías para cada carácter (Figura 11).

Respecto a la longitud, el primer grupo comprendió valores desde 40 a 44 cm con las poblaciones 1, 9, 3 y 8 junto a Floradade (17); el segundo grupo desde 35 a 39 cm, conformado por las poblaciones 14, 5, 10 y 15 junto a Rio Grande (16); el tercer grupo desde 30 a 34 cm, integrado por las poblaciones 13, 7, 6, 4, 2 y 12; y el cuarto grupo con longitud menor a 29 cm, representado por la población 11.

Para la amplitud de hoja, el primer grupo estuvo constituido por la población 1, que sobresale con 43.71 cm; el segundo grupo estuvo conformado por las poblaciones 8, 9, 3 y 2 junto a los testigos, con amplitudes desde 36 hasta 40 cm; el tercer grupo por las poblaciones 10, 7, 5, 14 y 6 con amplitudes desde 30 hasta

35 cm; y en el cuarto grupo por las poblaciones 4, 15, 12, 11 y 13 con amplitudes menor a 30 cm.

Para entender mejor la forma de las hojas, se hizo la relación longitud/amplitud (Figura 12), donde valores altos distantes a 1 corresponden a hojas con forma elíptica y valores cercanos a 1 con formas ovada. Las poblaciones que presentaron formas elípticas son la 13 y 15 con valores de 1.45 y 1.36, respectivamente. Las poblaciones con forma ovada son la 1 y 2, quienes obtuvieron valores de 1.01 y 0.89, respectivamente; así como la 7, 8 y 16 (Rio Grande) con valor de 1.04. El resto de las poblaciones presentaron formas ovaladas, incluyendo al testigo 17 (Floradade) con valores bajos.

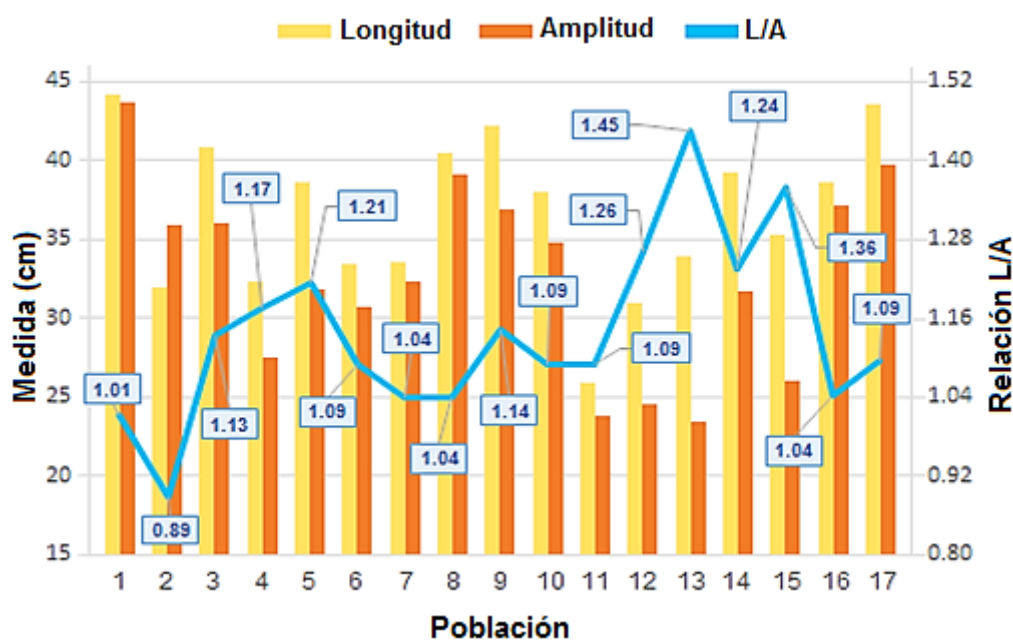


Figura 11. Longitud, amplitud y relación longitud/amplitud de hojas para diecisiete poblaciones de tomate.

Morales *et al.* (2014) en estudio con *S. l.* var. *cerasiforme*, encontraron longitud de 16.68 cm y amplitud de 8.46 cm. En la especie cultivada, observaron mayor longitud y amplitud, con 23.65 cm y 12.48 cm, respectivamente.

Estos resultados muestran medidas muy inferiores a las encontradas en este estudio. La población 11 quien presentó la menor longitud de hoja supera en 8.62 % a la variedad cultivada y en 35.55 % a la silvestre; en cambio, la población 13

quien tuvo la menor amplitud de hoja, los supera en 46.74 % y en 63.89 %, respectivamente.

En otro estudio, Shagardsky *et al.* (2005) encontraron longitud promedio de 23.30 cm, amplitud de 12.83 cm y relación de 1.82 en hoja tipo papa; mientras que en hoja tipo estándar longitud promedio de 23.07 cm, amplitud de 13.61 cm y relación de 1.72. Estos resultados de longitud son similares a los observados en las poblaciones con menor longitud; no así para la amplitud, donde es superada en aproximadamente 50 %.

6.3. Variables de inflorescencia

6.3.1. Altura al primer racimo

Los análisis mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en las poblaciones para altura al primer racimo, los cuales, se agruparon en seis categorías estadísticas (Anexo 9). De manera práctica, estas fueron reagrupadas en cuatro grupos (Figura 12).

El primer grupo lo estructuraron las poblaciones 1 y 10 con 44.75 cm y 44.10 cm, respectivamente; seguida por las poblaciones 2, 5 y 15 con 30.19 cm, 29.70 cm y 28.30 cm, respectivamente; el tercer grupo, estuvo conformado por las poblaciones 14, 8, 13, 7, 16, 17, 4, 9, 3 y 12 con alturas desde 17 cm a 24 cm; y el cuarto grupo, lo integraron las poblaciones 6 y 11 con 15.70 cm y 12.13 cm, respectivamente.

Estos resultados son similares a los encontrados por Bonilla *et al.* (2014) en caracterizaron de variedades nativas con hábito indeterminado de tipo pimiento, cherry y arriñonado con alturas desde 13.96 cm a 45.41 cm. De igual manera, Morales *et al.* (2014) reportaron alturas promedio de 32.38 cm en cherry y 30.83 cm en variedades cultivadas, similar al promedio de 25.26 cm encontrado en este estudio.

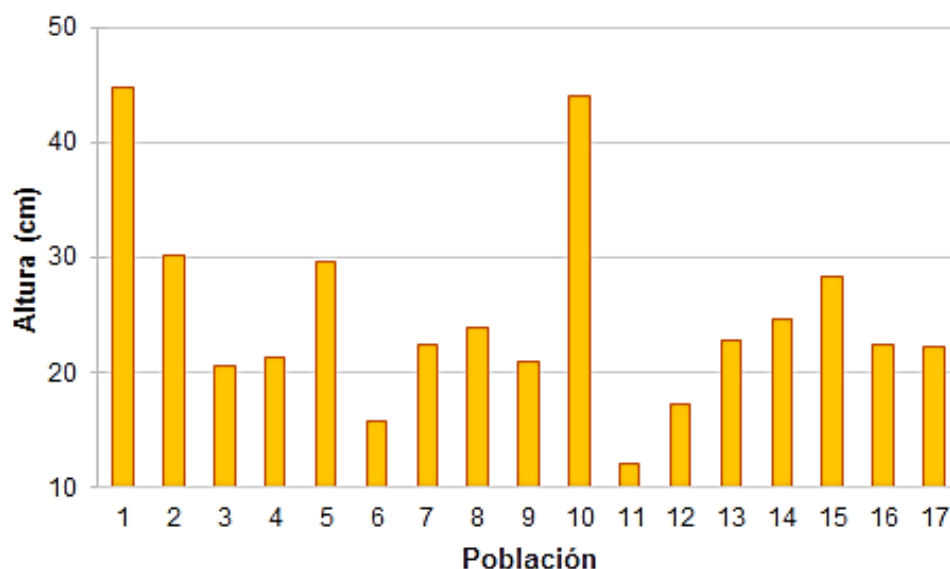


Figura 12. Altura al primer racimo para diecisiete poblaciones de tomate.

Cabe resaltar que, materiales con alturas muy bajas de racimos (<20 cm) presentan desventajas por afectaciones de plagas (insectos y patógenos) en sistemas de producción a campo abierto; mientras que, esa misma cualidad es de importancia en sistemas intensivos bajo invernaderos, en los que existen condiciones más controladas y se busca aprovechar el espacio, acortar el ciclo del cultivo, reducir costos de producción, incrementar la densidad de población y obtener mayores rendimientos.

6.3.2. Días a floración

La floración del tomate no depende de la duración del día, sino de las cantidades diarias de luz durante el crecimiento de los brotes (Lifschitz y Eshed, 2006). La inducción floral ocurre por el florigeno *SFT* que actúa como señal sistémica, potenciando el crecimiento e iniciando la transición a fase reproductiva (Park et al., 2016).

La actividad de este florigeno está determinada por un equilibrio entre el activador *Constans* y el represor *Tempranillo* con alta actividad en plantas jóvenes; donde el primero, solo es capaz de activar a *SFT* cuando las concentraciones de *Tempranillo* descienden en etapas posteriores y las condiciones son adecuadas, la planta de esta manera controla de forma precisa el momento en que debe

florecer, para permitir la acumulación de las reservas necesarias durante la diferenciación floral (Marín, 2013; Park *et al.*, 2016).

Contreras *et al.* (2013) señalaron que, este proceso de condición vegetativa a reproductiva ocurre en el meristemo apical en un periodo desde los 20 hasta los 50 días después de la siembra, cuando la planta tiene de cuatro a cinco hojas bien formadas y dos o tres primordios de hoja, pero la inflorescencia se completa entre el sexto y noveno fitómero formado. Después de que se diferencia cada una de las flores, se comienza la formación y desarrollo de un ramillete con botones florales, entrando en antesis las primeras flores (basales) y luego las finales (distales).

Los cultivares de uso actual florecen entre 55 a 60 días después de la siembra (dds) (Contreras *et al.*, 2013; López, 2017; Larín *et al.*, 2018), dato corroborado en este estudio, en el cual, las variedades testigos Rio Grande (16) y Floradade (17), con hábito de crecimiento determinado, florecieron a los 57 y 60 días, respectivamente (Figura 13). Carrillo y Chávez (2010) en materiales silvestres y semi domesticados detectaron floración en promedio a los 57 dds, similar al comportamiento observado en las poblaciones 5 con apertura a los 55 dds, la 10 y 15 a los 60 dds, y la 13 a los 62 dds.

Sin embargo, existen variedades híbridas consideradas precoces, tal como refirió Mejía (2020) en estudio de comparación de plantas provenientes de esquejes y de semillas en condiciones hidropónicas, donde reportó que la variedad híbrida Pai Pai tipo saladette y de hábito indeterminado presentó apertura floral a los 48 dds. De igual manera, existen materiales silvestres precoces a como lo describen Márquez *et al.* (2006) y Juárez *et al.* (2012) quienes evaluaron materiales tipo cherry con hábito indeterminado, detectando apertura floral entre 42 a 47 dds.

Estos resultados son semejantes a los obtenidos en este estudio, ya que existen poblaciones precoces respecto a los testigos. La población 12 inició antesis a los 45 dds, seguido de la 8 y 9 a los 46 dds, la 14 a los 47 dds, la 7 a los 48 dds, la 6 a los 49 dds, la 2 a los 50 dds y la 3 a los 51 dds.

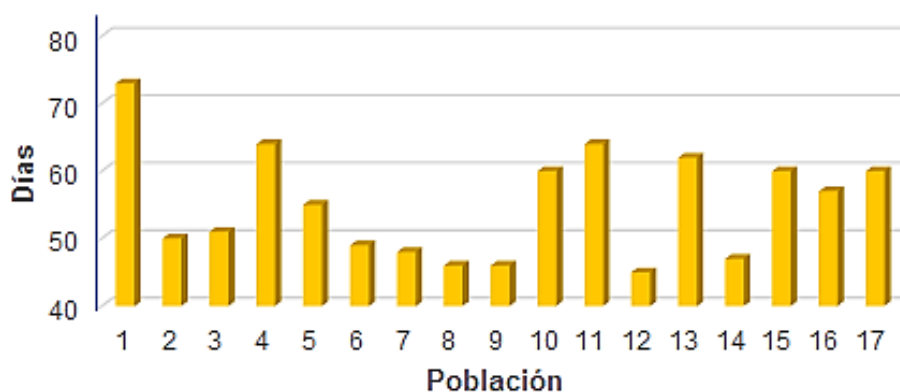


Figura 13. Días a floración para diecisiete poblaciones de tomate.

En contraparte, Martínez *et al.* (2016) evaluaron materiales tardíos de tipo pimiento con hábito indeterminado, con aperturas de 76 a 83 dds. Medina y Lobo (2001) estudiaron materiales tipo cherry con diversidad en días floración, encontrando materiales precoces, intermedios y tardíos con aperturas desde 49 a 137 dds. Resultados similares fueron encontrados en este estudio, donde las poblaciones 4 y 11 iniciaron antesis a los 64 dds y la más tardía fue la población 1 con 73 dds. Con todos estos estudios se denota la amplia diversidad y potencial genético que presentan los materiales silvestres para este carácter.

De acuerdo con Martínez *et al.* (2016), en general, los materiales tipo cherry y arriñonados se caracterizan por ser más precoces. Esta característica es destacada por Sánchez *et al.* (2010) y Mejía (2020), quienes mencionaron que materiales modernos con menor tiempo a antesis son de gran utilidad en sistemas hidropónicos bajo invernadero por el uso eficiente del espacio y tiempo al permitir manejar altas densidades de siembras, cosechas más tempranas, acortamiento del ciclo del cultivo y mayor número de ciclos por año, pero también, en la reducción de los costos de producción, debido al menor uso de insumos fitosanitarios y nutrimentales.

6.3.3. Tipo de paría, prolongación vegetativa, longitud y flores por inflorescencia

Los análisis mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en las variables longitud total de la inflorescencia y número de flores por inflorescencia, donde las

poblaciones fueron agrupadas en dos categorías estadísticas para cada variable (Anexos 10 y 11). Además, las poblaciones tuvieron comportamiento diferente para los caracteres tipo de paría de la inflorescencia y prolongación vegetativa de la misma (Figura 14). Las dos primeras variables mostraron correlación directamente proporcional en cada población, a medida que incrementa la longitud de la inflorescencia también lo hace el número de flores en cada inflorescencia.

Los testigos se comportaron en forma similar a la mayoría de las poblaciones silvestres. Rio Grande (16) presentó 7.7 flores por inflorescencias de 16.85 cm de longitud; mientras que, Floradade (17) solo 6.2 flores por inflorescencia de 8.15 cm longitud. Ambos tuvieron igual número de flores, pero con longitud de inflorescencia 51.63 % más grande en el testigo 16. Además, sus inflorescencias fueron tipo unípara (categoría 1) y terminadas en flor (categoría 1).

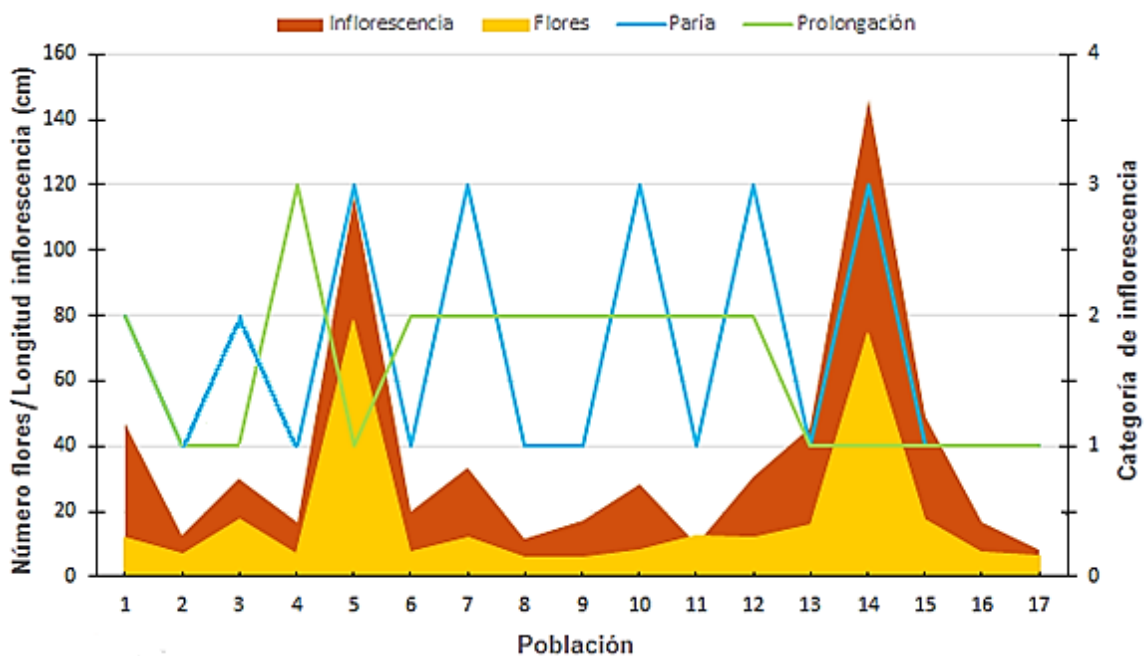


Figura 14. Flores y longitud de inflorescencia, tipo de paría y prolongación vegetativa para diecisiete poblaciones de tomate.

Para número de flores, el grupo 1 estuvo conformado por las poblaciones 5 y 14 con 78.3 y 74.6 flores por inflorescencia; seguido por el resto de las poblaciones

en el grupo 2, con números que fueron desde 17.70 flores en la población 3 hasta 5.90 flores en la población 9.

Lobo y Jaramillo (1983), Huerres y Carballo (1988) y Muñoz (2009) indicaron que, el tomate cultivado con frutos de calibres gruesos y medianos presentan de 4 a 20 flores por ramillete; mientras tomates tipo cherry pueden tener hasta 40 flores y en algunas ocasiones suelen superar las 100 flores.

Rodríguez, Pratta *et al.* (2005) y Kumar *et al.* (2019) en *cerasiforme* y en la cultivada, encontraron diferencias en el número de flores por inflorescencia, siendo mayor en la primera con números desde 10.92 hasta 12.73 flores y para la segunda desde 4.76 hasta 7.16 flores.

Resultados similares fueron encontrados en plantas con hábito determinado e indeterminado. Domingos (2003) reportó un promedio de 7.5 flores en *cerasiforme* y 8.16 en la cultivada; mientras que Florido *et al.* (2008) no observaron diferencias en ambos materiales, con un promedio de 6.16 flores por inflorescencia. En cambio, Bonilla *et al.* (2014) en materiales tipo cherry, arriñonado y pimiento, encontraron desde 7.06 hasta 15.54 flores por inflorescencia, siendo valores inferiores en el primero y superiores en el último. Boada *et al.* (2010) encontraron desde 7.4 hasta 177 flores en materiales tipo cherry.

Para longitud de inflorescencia, el grupo 1 estuvo conformado por las poblaciones 14 y 5, con longitud de 146.40 cm y 117.10 cm, respectivamente. El grupo 2 no mostró diferencias estadísticas y se presentaron longitudes desde 48.90 cm en la población 15 hasta 9.75 cm en la población 11; con un promedio de 27.15 cm, similar al reportado por Bonilla *et al.* (2014) quienes encontraron longitudes de inflorescencia entre 13.73 y 26.00 cm en materiales tipo pimiento, cherry y arriñonados. En cambio, Yanokuchi *et al.* (1994) en estudio de hibridación de tomate tipo cherry reportaron longitudes de 58.5 cm y 77.6 cm en los progenitores, mientras que la F₁ mostró ganancia de 147.3 cm por efecto de heterosis, resultados similares a las longitudes de las poblaciones 5 y 14 del grupo 1.

Estas poblaciones (grupo 1) con el mayor número de flores y longitud de inflorescencia son muy similares estadísticamente, posiblemente esto se deba a la similitud de caracteres morfológicos que comparten, tales como hábito de crecimiento indeterminado, longitud y amplitud de hojas, número de folíolos, tipo de paría, entre otras.

Respecto al tipo de paría, en este estudio se observó los tres tipos. Las poblaciones 2, 4, 6, 8, 9, 11, 13 y 15 junto a los testigos presentaron inflorescencias tipo unípara o simples con un solo racimo (categoría 1).

La población 3 tuvo ambos tipos de inflorescencia (categoría 2); el 50 % de las plantas son racimos simples, el resto está conformado por plantas con racimos simples y bifurcados (40 %), y plantas con racimos simples y trifurcados (10 %). De igual manera, la población 1 mostró plantas con racimos simples y bifurcados en la misma planta (60 %) o de un solo tipo de racimo en cada planta (30 % con racimos simples y 10 % con racimos bifurcados).

Mientras que, las poblaciones 5, 7, 10, 12 y 14 presentaron plantas con racimos tipo múltipara o compuestas (categoría 3) con un promedio de 5.1, 2.2, 2, 2 y 4.3 racimos, respectivamente.

En caracterización de tomates tipo arriñonado y pimiento, Bonilla *et al.* (2014) observaron de 4.8 a 10.1 racimos por inflorescencia. En otro estudio, Yanokuchi *et al.* (1994) trabajando con híbridos de tomate tipo cherry reportaron de 2.0 a 3.4 racimos por inflorescencia, y en la F₁ se obtuvo ganancia de 4.6 racimos. Estos resultados, al igual que los encontrados en este estudio, reflejan la variabilidad que existe en los tomates silvestres respecto a los cultivados.

Lippman *et al.* (2008) refirieron que la variación en la ramificación de las inflorescencias de las plantas determinó el número de flores y, en consecuencia, el éxito reproductivo y el rendimiento del cultivo. En las plantas *wild type* de tomate se producen inflorescencias uníparas con pocas flores (*s-classic*), pero existe la mutación *s* con inflorescencias compuestas (*s-multiflora*), muy ramificadas y con cientos de flores.

Recientemente, Silva *et al.* (2018) estudiaron un nuevo gen mutado, denominado *bif*, que también provoca incremento en el número de racimos por inflorescencia al igual que el gen *S*. Estos genes controlan la arquitectura de la inflorescencia mediante etapas sucesivas de formación de nuevos meristemas a lo largo del racimo floral, lo que sugiere que cualquiera de ellos podría estar implicado en los fenotipos de las poblaciones que exhibieron inflorescencias con varios puntos de ramificación.

Para la variable de prolongación vegetativa de las inflorescencias, las poblaciones 2, 3, 5, 13, 14 y 15 junto a los testigos presentaron el fenotipo común tipo terminada en flor (categoría 1); en la población 4, todas las plantas mostraron inflorescencias con reversión a forma vegetativa (categoría 3); mientras que, las poblaciones 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 tuvieron ambos tipo de inflorescencias, con o sin prolongación (categoría 2).

La reversión de la inflorescencia en la población 1 fue tipo hoja, con longitud entre 15 a 20 cm. De igual manera, la población 10 exhibió terminación en hoja con longitud de 15 cm, y en menor frecuencia la terminación tipo brote. Otro tipo de anomalías asociadas a prolongaciones vegetativas fueron encontradas en las poblaciones 2, 7 y 10, con formación de hoja en la axila de la primera flor del racimo (posición basal) con longitud de 10 a 15 cm. Las inflorescencias con presencia de brotes dieron paso a un nuevo tallo con formación de órganos foliares, raíces adventicias y flores solitarias en la parte basal e inflorescencias en la parte distal del brote.

Al respecto, Thouet *et al.* (2012) estudiaron mutaciones en la inflorescencia del tomate. Estos, indicaron que la mutación *j* y la doble mutación *j:s*, generan fenotipos con pedicelos sin capa de abscisión, pero también provocan reversión de inflorescencias a fase vegetativa, con alternancia de flores y hojas y su crecimiento es completamente vegetativo después de dos o tres flores formadas. Sin embargo, la característica sin capa de abscisión, no fue detectada en las poblaciones 1, 2, 7 y 10 con prolongación vegetativa de hoja, lo que sugiere que otro gen está actuando, sea con efecto simple o epistático.

Estos autores, también refieren que la mutación *sft*, con alta plasticidad dependiente del ambiente, revierte la inflorescencia a crecimiento vegetativo (con brote) después de un cierto número de flores y la doble mutación *s:sft*, con efectos aditivo, muestra el fenotipo de inflorescencias con flores y hojas, y gran número de racimos, pero también dentro de la misma planta pueden formarse inflorescencia con brotes después de generarse algunas flores, similar a *sft*.

Estas dos mutaciones, posiblemente estén implicadas en determinar el fenotipo de inflorescencias revertidas a vegetativa, en las de las poblaciones 4, 6, 8, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. La mutación *s* pudiera estar presente solo en las poblaciones 5 y 14 con inflorescencias muy ramificadas y terminadas en flor, y la *sft*, que además produce fenotipos con floración tardía, podría estar afectando a la población 11. Sin embargo, es probable que en estas poblaciones estén actuando otros genes con efectos epistáticos o aditivos.

La doble mutaciones *sft:s*, *sft:j* (Thouet *et al.*, 2012) y *sft:an* (Lippman *et al.*, 2008) muestran fenotipo similar a la población 1 con maduración retrasada, inflorescencias revertidas a vegetativa y paría simple y/o bifurcadas en la misma planta; aunque, también podría tratarse de la doble mutación *rin:mc* con fenotipo de no maduración de fruto, sépalos grandes e inflorescencias revertidas a vegetativa (Vrebalov *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2018a) o la doble mutación *ufd:mc* que produce alteraciones en los sépalos sin reversión de inflorescencia (Poyatos *et al.*, 2016) a como se observó en la mayoría de las plantas. De igual manera, podrían estar actuando otros genes con efectos epistáticos o aditivos.

6.3.4. Pétalos y sépalos por flor, diámetro de corola y cáliz

Las poblaciones presentaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para diámetro de corola y de cáliz, separándose en 12 y 9 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 12 y 13), de igual manera, número de pétalos y sépalos (Figura 15).

Para la característica diámetro de corola, las poblaciones pueden ser reagrupadas en 2 categorías. La primera por diámetros >3 cm, con intervalo de

3.09 a 3.72 cm, donde se incluyeron las poblaciones 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13, 14 y 15, y los testigos Floradade y Rio Grande con 3.49 y 3.63 cm, respectivamente; y la segunda por diámetros <3 cm, con intervalo de 2.14 a 2.96 cm, donde se incluyeron las poblaciones 4, 7, 8, 9, 11 y 12.

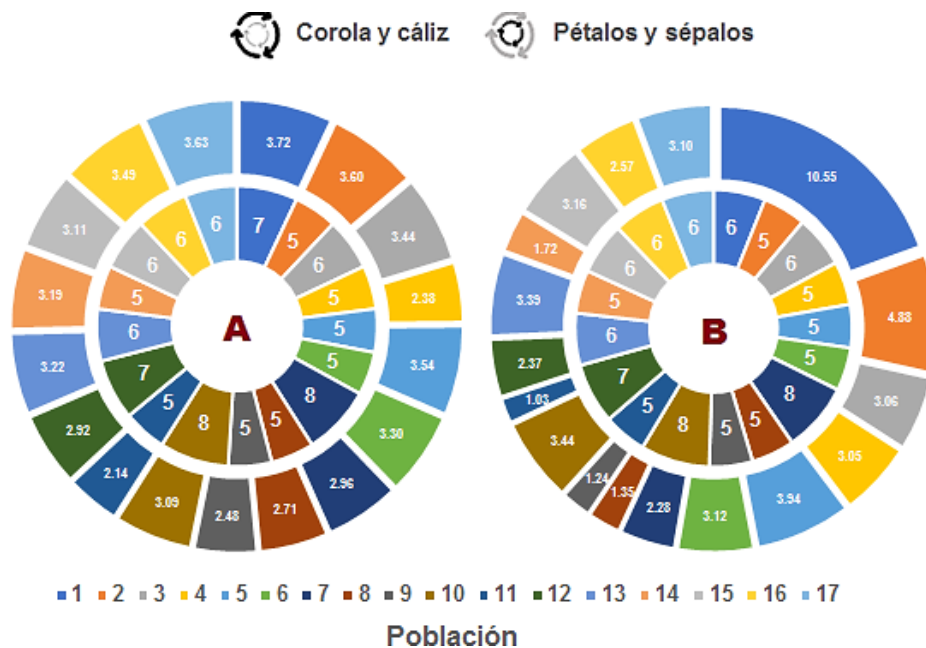


Figura 15. Verticilos de la flor. Número de pétalos y diámetro de la corola (A); número de sépalos y diámetro del cáliz (B) para diecisiete poblaciones de tomate.

Para la característica diámetro de cáliz, las poblaciones se agruparon en tres categorías respecto al comportamiento de los testigos 16 y 17 con diámetros de 2.57 cm y 3.10 cm, respectivamente. La primera estuvo conformada por las poblaciones 7, 8, 9, 11, 12 y 14, con intervalo de 1.03 a 2.37 cm y comportamiento inferior a los testigos; la segunda por la 3, 4, 6, y 15, con intervalo de 3.05 a 3.16 cm y comportamiento similar a los testigos; y la tercera por la 2, 5, 10 y 13, con intervalo de 3.39 a 4.88 cm y comportamiento superior a los testigos.

Respecto a la población 1, esta presentó comportamiento extremo en diámetro del cáliz, con promedio de 10.55 cm. Posiblemente se deba a la mutación *sft* o la doble mutación *sft;j*, implicadas en la formación de sépalos parecidos a hojas (Figura 16) (Thouet *et al.*, 2012). De igual manera, podría estar implicada la mutación *mc* (Rick y Butler, 1956) o la doble mutación *ufd:mc* (Poyatos *et al.*,

2016), que también alteran la estructura de los sépalos a tipo hoja rudimentaria, como se observó en todas las plantas en esta población.

Peralta *et al.* (2008) indicaron que normalmente el tomate presenta corolas con diámetro de 2 cm y aproximadamente lo mismo de cáliz, pero este último se incrementa a medida que lo hace el fruto. Resultados similares reportó Ramos *et al.* (2006) con diámetros de corola entre 1.9 y 2.6 cm, y de cáliz entre 1.2 y 2.3 cm, similar a los resultados encontrados en este estudio.

Peralta y Spooner (2005), Ramos *et al.* (2006) y Monniaux *et al.* (2018) consideraron que, flores grandes y atractivas se han asociado con la presencia de un sistema de autoincompatibilidad y cruzamiento, los que juegan un papel importante en el grado de variación genética, ya que, entre más grande sea la estructura floral mayor es la atracción de insectos polinizadores. Por tanto, es ventajoso que las plantas produzcan flores similares en tamaño y color para obtener una polinización eficiente, mayor tasa de fecundación y formación de semillas, favoreciendo el cuajado e incremento en tamaño de fruto.

Las poblaciones mostraron variabilidad para las variables número de pétalos y sépalos (Figura 16). La 2, 4, 5, 6, 8, 9, 11 y 14 formaron un mismo grupo con 5 pétalos y sépalos; la 3, 13, 15 y los testigos con 6 pétalos y sépalos; la 12 con 7 pétalos y sépalos; la 1 con 7 pétalos y 6 sépalos; y la 7 y 10 con 5 pétalos y 8 sépalos.

El número de pétalos y sépalos normalmente es de seis en el tomate, aunque algunos cultivares presentan cinco sépalos y cinco pétalos, y en otros se presentan más de siete cuando son cultivados a bajas temperaturas (Atherton y Harris, 1986; Lozano *et al.*, 1998; Gallego, 2016). Ramos *et al.* (2006) en estudio con líneas, bajo sistema hidropónico, encontraron de 5.6 a 7.0 pétalos y de 5.4 a 6.7 sépalos por flor; mientras que, Fornés (2012) observó de 5 a 11 pétalos y normalmente la misma cantidad de sépalos, donde los mayores valores corresponden a tomates tipo arriñonado. Por su parte, Bonilla *et al.* (2014) en estudio con variedades tipo arriñonado y tipo pimiento refirieron que el número de pétalos por flor oscila entre 5.0 y 8.5.

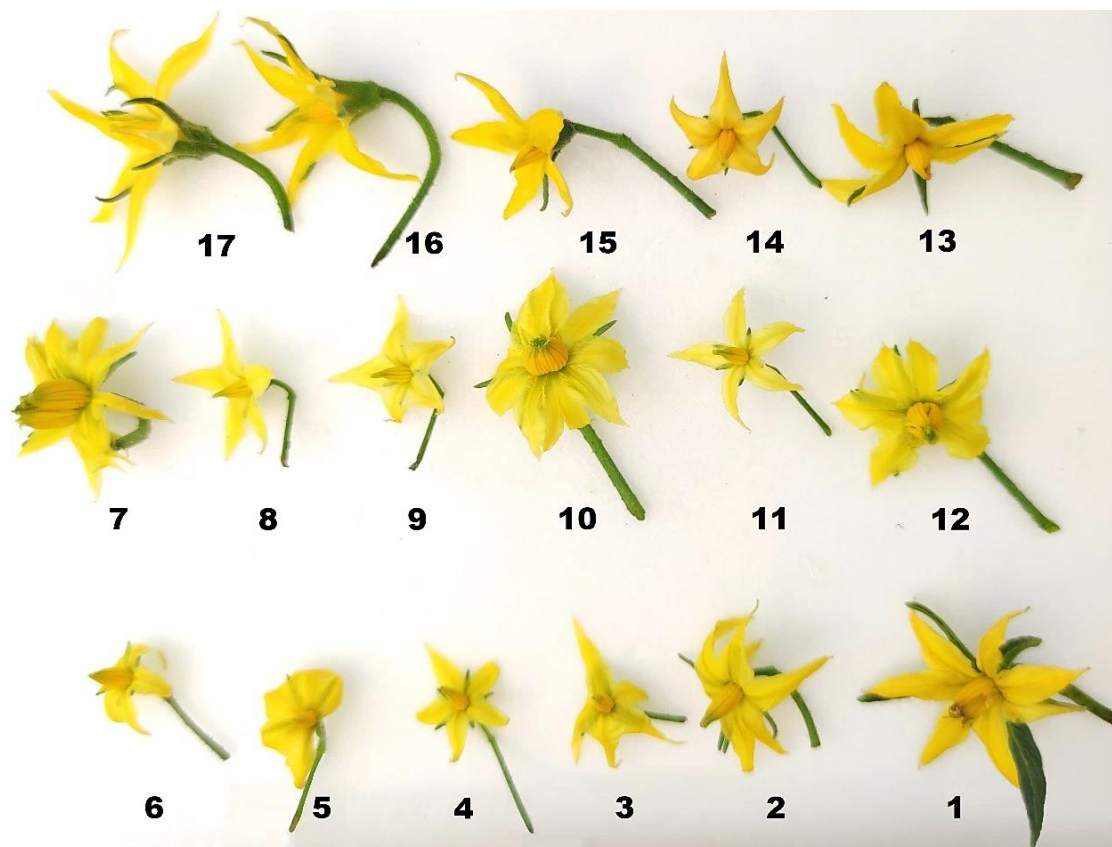


Figura 16. Diferentes formas y tamaños de flores para diecisiete poblaciones de tomate. Los números indican la población.

Para el carácter color de la corola, en todas las poblaciones se presentó pétalos color amarillo, pero con diferentes intensidades (Figura 17). Las poblaciones 1, 13, 14 y 15 tuvieron intensidad alta (más oscuro); las poblaciones 2, 3, 5, 6, 7, 10 y 12 intensidad intermedia, al igual que los testigos; mientras que, las poblaciones 4, 8, 9 y 11 fueron de intensidad baja (más claro).

Estos cambios de intensidades son debidos a la enzima β -caroteno hidroxilasa 2 codificada por *CrtR-b2* e involucrada en la conversión de β -caroteno a xantofilas en pétalos de tomate; un bloqueo en esta reacción da como resultado mutaciones con cambio del color de la corola de amarillo brillante a amarillo pálido (Galpaz *et al.*, 2006; D'Ambrosio *et al.*, 2011; Stigliani *et al.*, 2011: citados por D'Ambrosio *et al.*, 2018).

6.3.5. Posición del estigma, estambres por flor y longitud de estambres

Las poblaciones presentaron diferencias para número y longitud de estambres, siendo estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) para esta última, quienes se agruparon en 10 categorías (Anexos 14), de igual manera, las poblaciones mostraron diferencias en cuanto a la posición del estigma (Figura 17).

En la población 2 se observó la mayor longitud de estambres con 11 mm; seguido por las poblaciones 3, 1 y 5 con longitudes mayor a 8 mm, al igual que los testigos. Valores intermedios tuvieron las poblaciones 13 con longitudes mayor a 7 mm, y la 15, 10, 14, 11, 4 y 6 con longitudes mayor a 6 mm. Por último, estuvieron las poblaciones 12, 7, 8 y 9 con las menores longitudes, entre 5 a 6 mm.

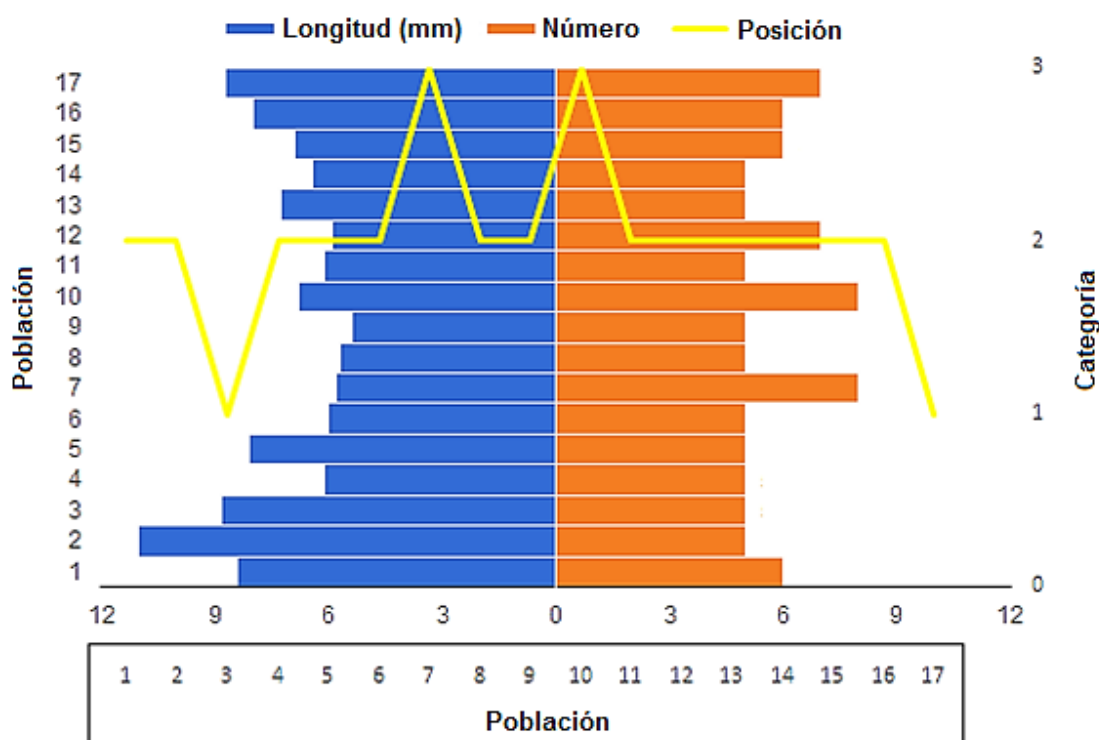


Figura 17. Posición del estigma, número y longitud de estambres para diecisiete poblaciones de tomate.

Las poblaciones con mayor cantidad de estambres son la 10 y la 7 (mayor a ocho), seguido por la 12, 2 y 15 (entre seis a siete) al igual que el testigo 17, mientras que el resto presentaron la menor cantidad (entre cinco a seis) al igual que el testigo 16.

Chamarro (1995) mencionó que el tomate cultivado tiene cinco o seis estambres fusionados en cono estaminal. Sin embargo, este número puede ser modificado por la exposición a bajas temperaturas, dando paso a la formación de flores anormales con el incremento a 8 o más estambres por flor (Lozano *et al.*, 1998). Ramos *et al.* (2006) en estudio con líneas de mejora tipo bola y saladette, encontraron de 6.0 a 7.7 estambres. Estos resultados son congruentes a los reportado en este estudio, donde flores fasciadas en las poblaciones 7, 10 y 12 presentaron los mayores números; el resto con flores normales mostraron entre 5 a 6 estambres.

Para la posición del estigma, las poblaciones 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14 y 15 junto al testigo Rio Grande (16) presentaron estigma al mismo nivel que los estambres (categoría 2); en cambio, la posición exserto (categoría 3) solo se observó en las poblaciones 7 y 10, y la posición inserto (categoría 1) en la población 3 y en el testigo Floradade (17).

La mayor frecuencia de estigmas con posición al mismo nivel que las estambres (80 %), podría indicar que en estas poblaciones aún ocurre la fecundación cruzada, al igual que las poblaciones con posición de ligeramente a muy exserto (Figura 18). En cambio, en la población con posición inserto se puede asumir que ocurre menor fecundación cruzada. Sin embargo, se necesita de otros estudios para aseverar estas hipótesis. Esto es basado en lo reportado por Rick *et al.* (1978) en comparaciones de fertilidad, donde exserción de 1.5 mm o más interfiere con la autopolinización y aumenta las tasas de polinización cruzada.



Figura 18. Posición exserto del estigma en las poblaciones 7 y 10.

Young y MacArthur (1947) mencionaron que, las plantas de tomates con estigmas exsertos presentan 4.9 % de fecundación cruzada, mientras tomates con estigmas insertos mostraron solamente 0.59 %. Las posiciones de estigmas más bajos permiten una mejor autofecundación y, por lo tanto, un mejor cuajado de la fruta (Rick y Dempsey, 1969). La exserción es típico en mutaciones con flores anormales o es favorecida por condiciones climáticas como alta temperatura, baja luminosidad y baja humedad relativa, pero presentan los efectos negativos de desecación del estigma y reducción de la receptividad, seguido de aborto de flores (Chamarro, 1995).

Rick y Robinson (1951), Frary *et al.* (2004) y Peralta *et al.* (2008) indicaron que los materiales modernos son autocompatibles y suelen producir flores con estigmas insertos o al mismo nivel de los estambres, lo que promueve la autofecundación. La migración y domesticación de la especie favorecieron el cambio de posición de estigmas exsertos a insertos, pasando de alogamia (tipo más primitivo) a autogamia con la fijación de genotipos altamente adaptados (Rick, 1983a; Chen y Tanksley, 2004; Díez y Nuez, 2008). Aunque también depende de la longitud de los estambres (Rick y Dempsey, 1969).

Este cambio de longitud del estilo es regulado por el QTL *se2.1* que representa los vestigios de un antiguo complejo de genes co-adaptados para controlar el comportamiento del apareamiento y comprende a genes estrechamente ligados; tres controlan la longitud del estambre, uno afecta la dehiscencia de las anteras y uno controla la longitud del estilo (Chen y Tanksley, 2004). De este último, se ha reportado el fenotipo mutado *Style2.1* que codifica un factor de transcripción putativo que regula el alargamiento celular de estilos en desarrollo y que está asociado con la autofecundación en tomates cultivados (Chen *et al.*, 2007).

Rick *et al.* (1978) y Rick (1983a) indicaron que, el tamaño de la flor está más fuertemente correlacionado con las medidas de variabilidad, que la exserción del estigma sobre las anteras, propiamente dicho. Sin embargo, flores más grandes y con estigmas exsertos tienen mayor capacidad de atracción de polinizadores y la transferencia de polen de una planta a otra, aumentando así la variabilidad

genética. Al respecto, en este estudio se mostró que tanto en flores pequeñas y grandes la posición al mismo nivel predomina sobre la exserta. Además, que existe una correlación positiva entre el diámetro de corola y el largo de estambres ($r = 0.75$), con el mismo valor encontrado por Vosters *et al.* (2014).

Cox (2000), Chen *et al.* (2007), Bauchet y Causse (2012) y Blanca *et al.* (2012) refirieron que la variedad *cerasiforme* con distribución en Centroamérica presenta flores con estilos insertos o ligeramente exserto como resultado del síndrome de domesticación, a diferencia de los parientes silvestres. Mientras cultivados tradicionales y modernos, son insertos o al mismo nivel (Blanca *et al.*, 2012).

6.4. Variables de fruto

6.4.1. Días a maduración de fruto

En los programas de mejora genética se presta atención y cautela a la precocidad, puesto que es una característica que presenta correlación negativa con el tamaño de fruto (Martínez *et al.*, 2017: citados por Marín *et al.*, 2019). La maduración inicia una vez el fruto ha cesado su crecimiento y depende de una amplia gama de reacciones sintéticas y degradativas, que de forma independiente son coordinadas y reguladas por hormonas vegetales, factores genéticos y ambientales (temperatura e irradiancia) que determinan el color, aroma, textura y composición química del fruto (Grierson y Kader, 1986; Tanksley, 2004; Gautier *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2020).

Chamarro (1995) indicó que, la maduración del tomate cultivado inicia a los 90 días después de la siembra (dds), tal como se comportaron los testigos 16 (Rio Grande) y 17 (Floradade) con tiempo a maduración intermedia a los 84 y 90 dds, respectivamente, quienes además presentaron tiempo de floración intermedia.

Las poblaciones silvestres fueron clasificadas por su comportamiento respecto a la maduración de los testigos (Figura 19): 1) maduración similar a los testigos (poblaciones 2 y 3 con maduración a los 86 y 85 dds, respectivamente, pero con floración temprana), 2) maduración temprana (poblaciones 8 y 9 que maduraron a los 62 y 64 dds, respectivamente, que también florecieron temprano), 3)

maduración intermedia anterior a los testigos (poblaciones 12, 14, 7 y 6 con maduración a los 81, 82, 80 y 80 dds, respectivamente, pero con floración temprana), 4) maduración intermedia posterior a los testigos (poblaciones 5, 10, 15, 13, 4 y 11 con maduración a los 78, 87, 81, 80, 80 y 85 dds, respectivamente, con floración intermedia), y 5) maduración tardía (población 1 con maduración a los 105 dds y con floración tardía).

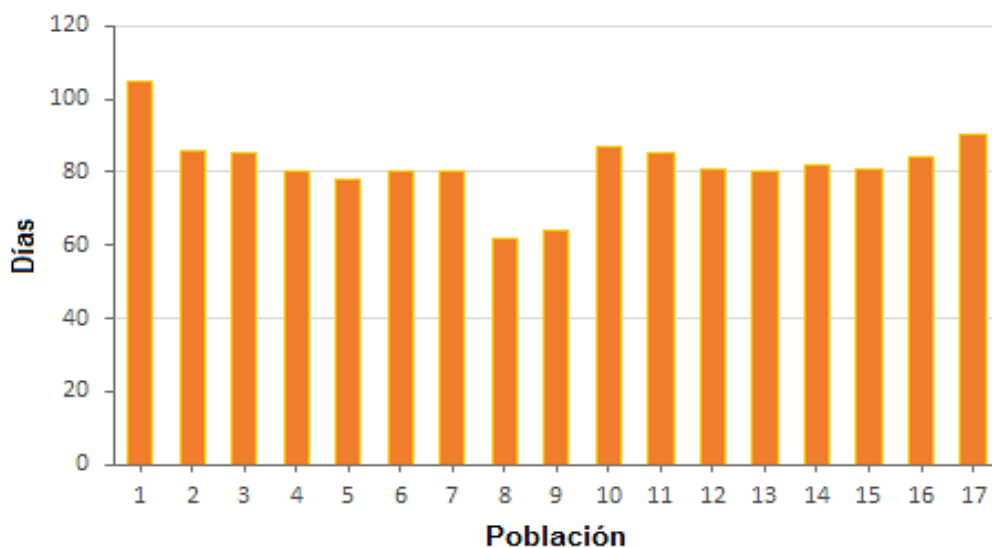


Figura 19. Días a maduración del primer fruto para diecisiete poblaciones de tomate.

Para entender mejor el comportamiento de precocidad en estas poblaciones, se comparó el tiempo desde el inicio de la floración hasta la maduración del primer fruto en el >50 % de las plantas (Figura 20), encontrándose diferencias respecto a las variedades testigos 16 y 17 que maduraron a los 27 y 30 días después de la floración (ddf), respectivamente.

Las poblaciones 8 y 9 con tiempo de maduración precoz tardaron 16 y 18 ddf, respectivamente. Las poblaciones 12, 14, 7 y 6 con maduración intermedia y anterior a los testigos tardaron 36, 35, 32 y 31 ddf, respectivamente; y las poblaciones 2 y 3 con tiempo de maduración similar a los testigos tardaron 36 y 34 ddf, respectivamente; mientras que, las poblaciones 5, 10, 15, 13, 4 y 11 con maduración intermedia y posterior a los testigos tardaron 23, 27, 21, 18, 16 y 21 ddf, respectivamente; en cambio, la población 1 con maduración tardía respecto a los testigos, completó su proceso a los 32 ddf.

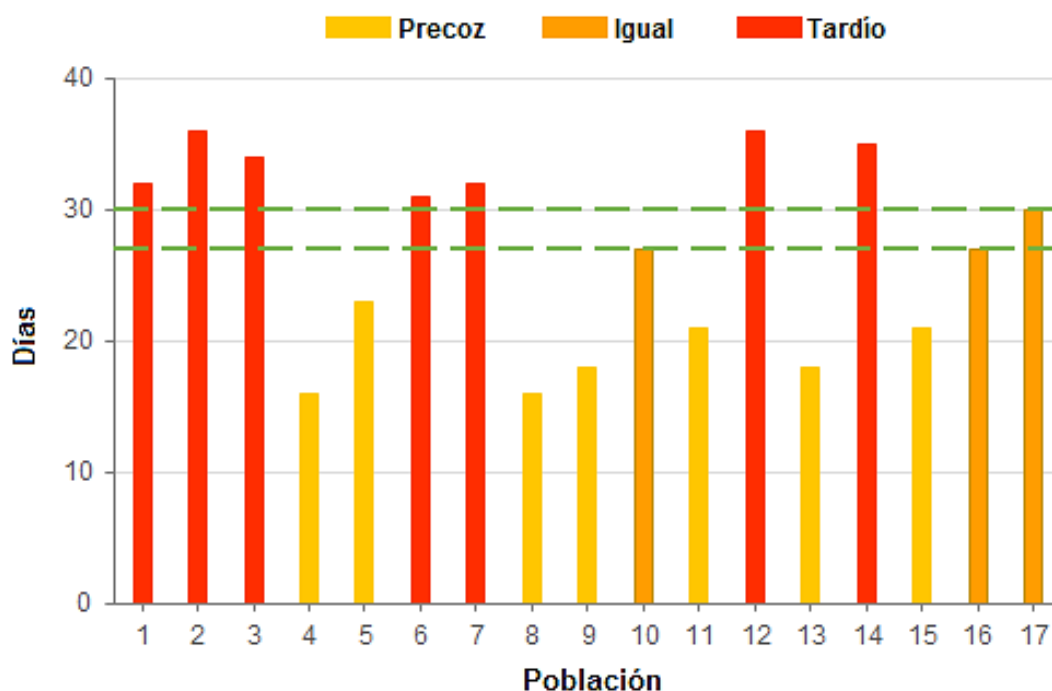


Figura 20. Días desde el inicio de la floración a la maduración en cosecha comercial para diecisiete poblaciones de tomate.

Además, se observó diferencias en las poblaciones respecto al hábito de crecimiento. En las poblaciones con hábito semi determinado, el 43 % presentó maduración precoz y el resto maduración tardía. En cambio, las poblaciones con hábito indeterminado, el 50 % fueron de maduración precoz, el 37 % maduración tardía y solo el 13 % de maduración intermedia, similar a los testigos.

Santiago *et al.* (1998) reportaron que las variedades Rio Grande y Floradade maduran a los 129 y 116 días, respectivamente. Estos resultados son superiores a los encontrados en este estudio con las mismas variedades como testigo, quienes son superados en 45 y 26 días, respectivamente. Posiblemente, estas diferencias se deban a que el cultivo fue establecido en camas convencionales y con plan de fertilización tradicional.

Al respecto, Sánchez y Escalante (1989) y Urrestarazu (2000) afirmaron que, bajo condiciones de hidroponía, el cultivo de tomate presentó mejor comportamiento agronómico y frutos con alta calidad, ya que se hace más eficiente el aprovechamiento del agua y los nutrientes respecto a la siembra directa en suelo.

Autores como Carrillo y Chávez (2010) y Chávez *et al.* (2011) han destacado la diversidad en cuanto a tiempo a maduración en los materiales silvestres y semi domesticados de tomate tipo cherry. Los primeros, observaron maduración desde 91 hasta 106 días después de la siembra, similar a los encontrados en este estudio para los materiales tardíos. En contraste, los segundos encontraron maduración más temprana desde 70 hasta 89 días, similar a los reportados en este estudio para los materiales más precoces.

6.4.2. Forma y tamaño de fruto

Las poblaciones silvestres y semi domesticadas de tomates nativos de México, presentan alta variabilidad morfológica en tamaño y formas de frutos, que van desde muy pequeño hasta grande, con formas redondos, piriformes y achatados; siendo los de mayor tamaño a su carácter biológico de materiales semi domesticados (Álvarez *et al.*, 2009; Carrillo y Chávez, 2010; Chávez *et al.*, 2011; Bonilla *et al.*, 2014).

El tamaño y la forma de la fruta están determinados en gran medida genéticamente, aunque pueden verse afectados por la nutrición, factores internos como el número y la distribución de las semillas dentro de los lóculos, la posición de la fruta dentro del racimo y la secuencia de polinización entre las flores donde frutos más distales son de tamaño pequeño en comparación a los proximales; aunque suelen igualarse cuando todas las flores se polinizan simultáneamente (Bohner y Bangerth, 1988; Grandillo *et al.*, 1999).

En este estudio se observó diversidad en formas y tamaños de frutos (Figura 21, 23). La variedad 16 (Rio Grande) presentó forma redondo-alargada (categoría 4) al igual que la población 5. En cambio, la variedad 17 (Floradade) mostró forma ligeramente achatada (categoría 2) al igual que las poblaciones 1, 2, 9, 13 y 15.

Las poblaciones 7, 10 y 12 presentaron forma achatada (categoría 1), la 3, 4, 6, 8 y 11 redondeada (categoría 3) y solamente la 14 tuvo forma oblongo-alargada (categoría 6).

Cabe mencionar que, algunas poblaciones presentaron forma secundaria. La población 5 dio frutos con forma cordiforme (categoría 5) y en menor frecuencia piriforme (categoría 7). Asimismo, las poblaciones 7, 10 y 12 mostraron forma secundaria tipo ligeramente achatada o calabaza (categoría 2) y la población 14 tipo piriforme (categoría 7).

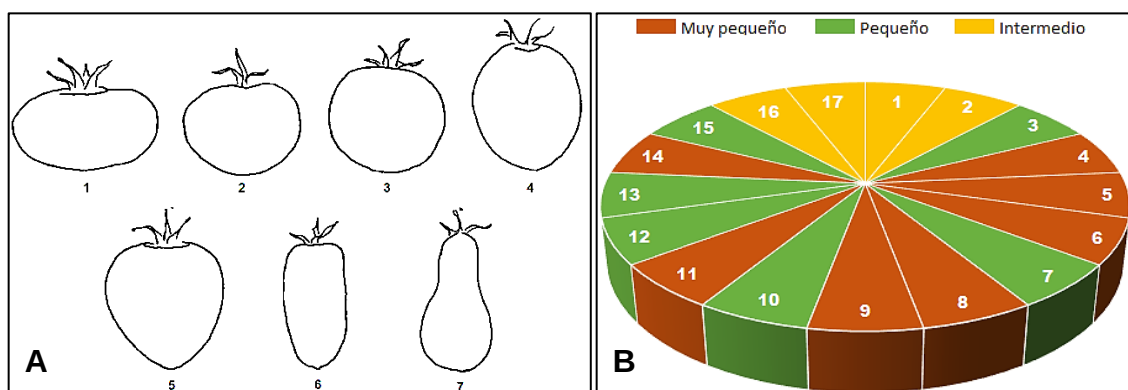


Figura 21. Forma (A) y tamaño (B) de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.

Para el carácter tamaño de fruto también hubo diferencias entre poblaciones. Las poblaciones 2 y 1 presentaron tamaño intermedio (5.1 a 8 cm) con frecuencia de 13.33 %, comportándose similar a los testigos. El tamaño pequeño (3 a 5 cm) se presentó con frecuencia de 40 % con las poblaciones 15, 7, 10, 13, 3 y 12. El tamaño muy pequeño (<3 cm) es el más frecuente con 46.67 %, donde se incluyeron las poblaciones 14, 6, 5, 9, 8, 4 y 11.

Este último grupo representó la mayor diversidad de formas, contrario a lo encontrado por van der Knaap y Tanksley (2003), quienes reportaron una correlación directa entre el tamaño y la forma del fruto, de modo que, frutos más grandes tienden a mostrar formas no redondeadas. Por el contrario, Nesbitt y Tanksley (2001) y Cong *et al.* (2002) encontraron que el incremento del tamaño de fruto afectado por el gen *fw2.2*, es debido al aumento tanto de largo como ancho con muy leve o sin alteración de la forma. En cambio, aumentos en el número de lóculos afectado por las mutaciones *eno*, *fas* (Fernández *et al.*, 2015) y *lc* conducen a un fruto plano y de mayor tamaño (Muños *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2011: citados por van der Knaap *et al.*, 2014).

Díez y Nuez (2008) señalaron que una de las consecuencias más importantes de la domesticación del tomate fue el aumento en tamaño de fruto. La evidencia indica que, el gen mutado *fw2.2* modula el aumento en peso y tamaño del fruto hasta 30 % en el tomate cultivado respecto a los tomates silvestres, estando asociado a la regulación genética con cambios concomitantes de la actividad mitótica en la etapa temprana del desarrollo del fruto (Frary *et al.*, 2000; Cong *et al.*, 2002; Tanksley, 2004).

Los tomates cultivados varían enormemente en cuanto al tamaño y forma del fruto, contrario a los tomates silvestres y semi silvestres que son casi invariablemente redondos y pequeños, adaptados para la dispersión de semillas de manera natural por su pulpa blanda o por pequeños roedores y pájaros que los comen por su buen sabor al madurar (Tanksley, 2004); sin embargo, para el hombre le es necesario los genotipos con frutos grandes (obtenidos por mutaciones) que le permiten obtener más masa de fruto en menor tiempo y por ende, mayor rendimiento (Grandillo *et al.*, 1999).

Los frutos con formas esféricas son una manera muy económica para proteger el desarrollo de las semillas y es poco probable que formas alternativas hayan proporcionado algún beneficio para la dispersión de estas por los animales (Tanksley, 2004). La variación en formas de fruto es un proceso muy complejo y al parecer está relacionada con la selección de frutas más grandes por sus efectos pleiotrópicos y/o la expresión de “alelos ocultos” que tienen poco o ningún efecto visible en frutos pequeños (Grandillo *et al.*, 1999; Tanksley, 2004).

Estudios genéticos recientes en las primeras etapas y posteriores al desarrollo del carpelo, han demostrado que estos cambios fenotípicos en la forma del fruto poseen alto valor comercial y son el resultado de los genes mutados *eno*, *fas*, *ovate*, *sun* y *fs8.1* que producen formas tipo aplanado, aplanado, pera, alargado y pimiento (bloque), respectivamente (Grandillo *et al.*, 1999; van der Knaap y Tanksley, 2001; Liu *et al.*, 2002; Tanksley, 2004; van der Knaap *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2015), pero la combinación de estos en dobles y triples mutaciones controlan otros fenotipos (Rodríguez *et al.*, 2011; Yuste *et al.*, 2020).

6.4.3. Color de fruto inmaduro, color e intensidad de fruto maduro

Los tipo cherry presentan una gran variabilidad en cuanto a forma y color de fruto, con características similares al tomate cultivado (Lobato *et al.*, 2012; Pacheco *et al.*, 2014; Patiño *et al.*, 2015). Por tanto, el desarrollo genético del color del fruto y el contenido de pigmentos es un área de investigación interesante para mejorar la calidad de la fruta y satisfacer las diferentes demandas y preferencias de los consumidores (Li *et al.*, 2018b).

De manera general, las poblaciones fueron agrupadas en cuatro colores de fruto, tanto en estado inmaduro como en estado maduro (Figura 22, 23). Para el estado inmaduro, el primer grupo correspondió a las poblaciones 5, 8, 12 y 14 con frutos de color blanco verduzco (categoría 1); el segundo grupo por las poblaciones 1, 2, 6, 7, 9 y 11 con frutos color verde claro (categoría 2); el tercer grupo por las poblaciones 3, 4 y 10, al igual que los testigos, correspondiente a frutos color verde (categoría 3); y el cuarto grupo por las poblaciones 13 y 15 con frutos de color verde oscuro y manchas en morado (categoría 4).

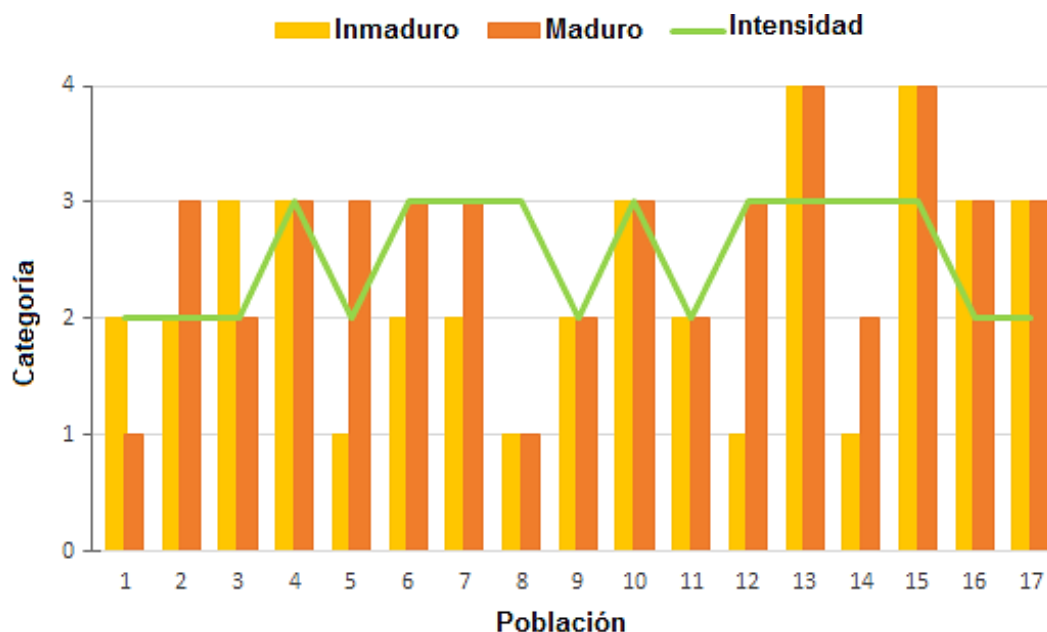


Figura 22. Color en estado inmaduro y maduro, e intensidad de color de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.

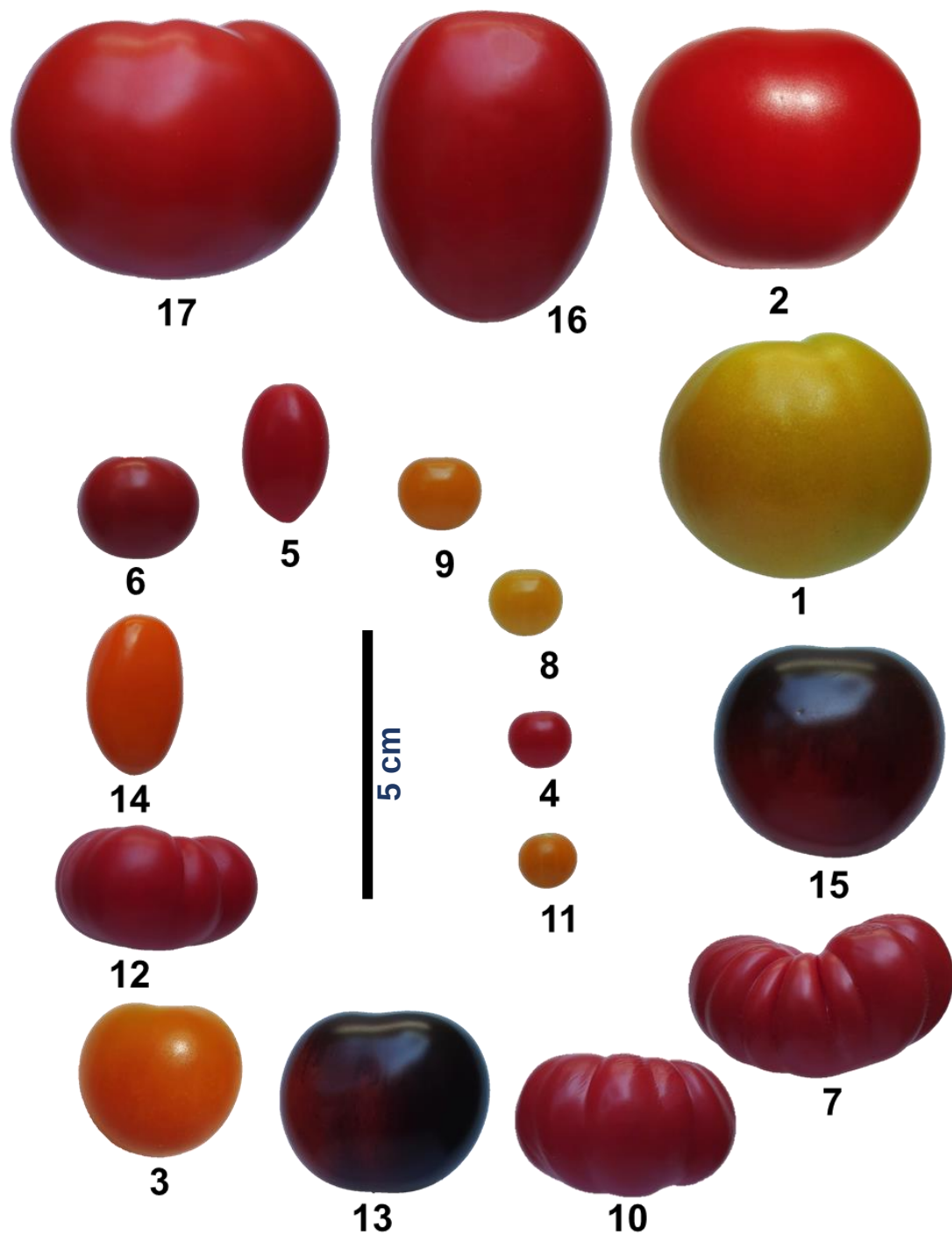


Figura 23. Tamaño, forma y color de frutos para diecisiete poblaciones. Los números indican las poblaciones de tomate. La barra (5 cm) equivale a medida de referencia.

Para el carácter color de frutos maduros (Figura 23), el grupo de frutos amarillos (categoría 1) estuvo conformado por la población 1 con intensidad intermedia

(categoría 2) y la población 8 con intensidad fuerte (categoría 3); el grupo de los frutos anaranjados (categoría 2) estuvo constituido por las poblaciones 3, 9 y 11 con intensidad intermedia, y la 14 con intensidad fuerte; el grupo de frutos rojos (categoría 3) se formó por las poblaciones 2 y 5 con intensidad intermedia, al igual que los testigos; asimismo las poblaciones 4, 6, 7, 10 y 12 con intensidad fuerte (categoría 3); mientras que el grupo de frutos morado-naranjas (categoría 4) fue integrado por las poblaciones 13 y 15 con intensidad fuerte (categoría 3).

El inicio y la progresión de la maduración en el tomate se asocia típicamente con cambios en el color externo del pericarpio, lo que refleja la acumulación de pigmentos carotenoides y flavonoides (Shinozaki *et al.*, 2018: citados por Quinet *et al.*, 2019). La enzima fitoeno sintasa 1, codificado por el gen *PSY1*, es la principal responsable de la acumulación de licopeno durante la maduración, dando la coloración roja típica del fruto de tomate; cuando este gen está alterado, como en la mutación natural *r*, los frutos son amarillos en lugar de rojos ya que carecen de licopeno (Fray y Grierson, 1993; Giorio *et al.*, 2008; Kachanovsky *et al.*, 2012: citados por D'Ambrosio *et al.*, 2018).

Frutos de color anaranjado son poco comunes en la fuente del germoplasma de *S. lycopersicum*, pero se han identificado mutaciones *t* con acumulación de ζ -caroteno y otros carotenoides, así como mutaciones dominantes *delta* y *beta* con mayor acumulación de δ -caroteno y β -caroteno, respectivamente (Stevens y Rick, 1986; Isaacson *et al.*, 2002; Paran y van der Knaap, 2007). En cambio, mutaciones *hp* altos en pigmentos producen frutos con dos veces más carotenoides y niveles incrementados de otros antioxidantes (Yen *et al.*, 1997; Bino *et al.*, 2005; Carrari y Fernie, 2006: citados por Quinet *et al.*, 2019). Al parecer, mutaciones como los antes mencionados son los responsables para las tonalidades amarillo, naranja y rojos intensos referidos en este estudio.

En cuanto a los frutos con pigmentos púrpura. Este color se debe a la expresión del regulador transcripcional *Ant* para la biosíntesis de antocianinas; un tipo de flavonoide presente en plantas con mutaciones *ant1* (Sapir *et al.*, 2008). Recientemente, especies emparentadas con altas cantidades de antocianinas

han demostrado ser una fuente importante para enriquecer frutos de variedades modernas mediante mejoramiento convencional y/o biotecnológico, debido a la actividad antioxidante y al beneficio a la salud humana de estos flavonoides (Jones *et al.*, 2003; Willits *et al.*, 2005; Sapir *et al.*, 2008; Angarita, 2012).

6.4.4. Forma transversal, facilidad para pelar y lóculos por fruto

Para la forma transversal del fruto, en este estudio se presentaron los tres tipos (Figura 24) referidos por Bioversity. Las poblaciones con forma redondeada correspondieron a la 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 13 y 15, así como las variedades testigos 16 y 17. La población 14 fue la única con forma angular. Las poblaciones con forma irregular correspondieron a la 7, 10 y 12, que además fueron multiloculares. Blanca *et al.* (2012) indicaron que la forma redondeada es la más frecuente en tipo cherry y modernos, seguidos del irregular en el primero y angular en el segundo; mientras que, tradicionales tienen tanto irregulares como redondeados.

En cuanto al número de lóculos, las especies silvestres muestran dos o tres por fruto (Grandillo y Tanksley, 1996), siendo significativamente más bajo que el promedio entre 2.6 y 3.6 en las variedades modernas (Grandillo y Tanksley, 1996; Kumar *et al.*, 2019); sin embargo, estas últimas pueden oscilar entre 2 a 30 lóculos, con un caso excepcional arriba de 250 (Ahuja, 1968).

En el presente estudio, las poblaciones mostraron diferencias y fueron agrupadas en 4 categorías (Figura 24). El primer grupo lo conformaron las poblaciones 7, 10 y 12 con frutos multiloculares desde 5 hasta 10. El fenotipo de las últimas quizá se deba a las mutaciones *eno* o *fas*, que además de aumentar el tamaño de los verticilos florales también lo hacen para lóculos, y la primera a *eno* o la doble mutación *fas:lc* con efecto sinérgico en el aumento del número de lóculos por fruto (Barrero y Tanksley, 2004; van der Knaap *et al.*, 2014). El segundo grupo estuvo constituido por la población 2 que mostró tres o cuatro lóculos y el testigo 17 (Floradade) de tres a seis. Cabe resaltar que estos dos genotipos son similares en la mayoría de las características como color de fruto, número de flores por racimo, forma de fruto ligeramente achatado, entre otros.

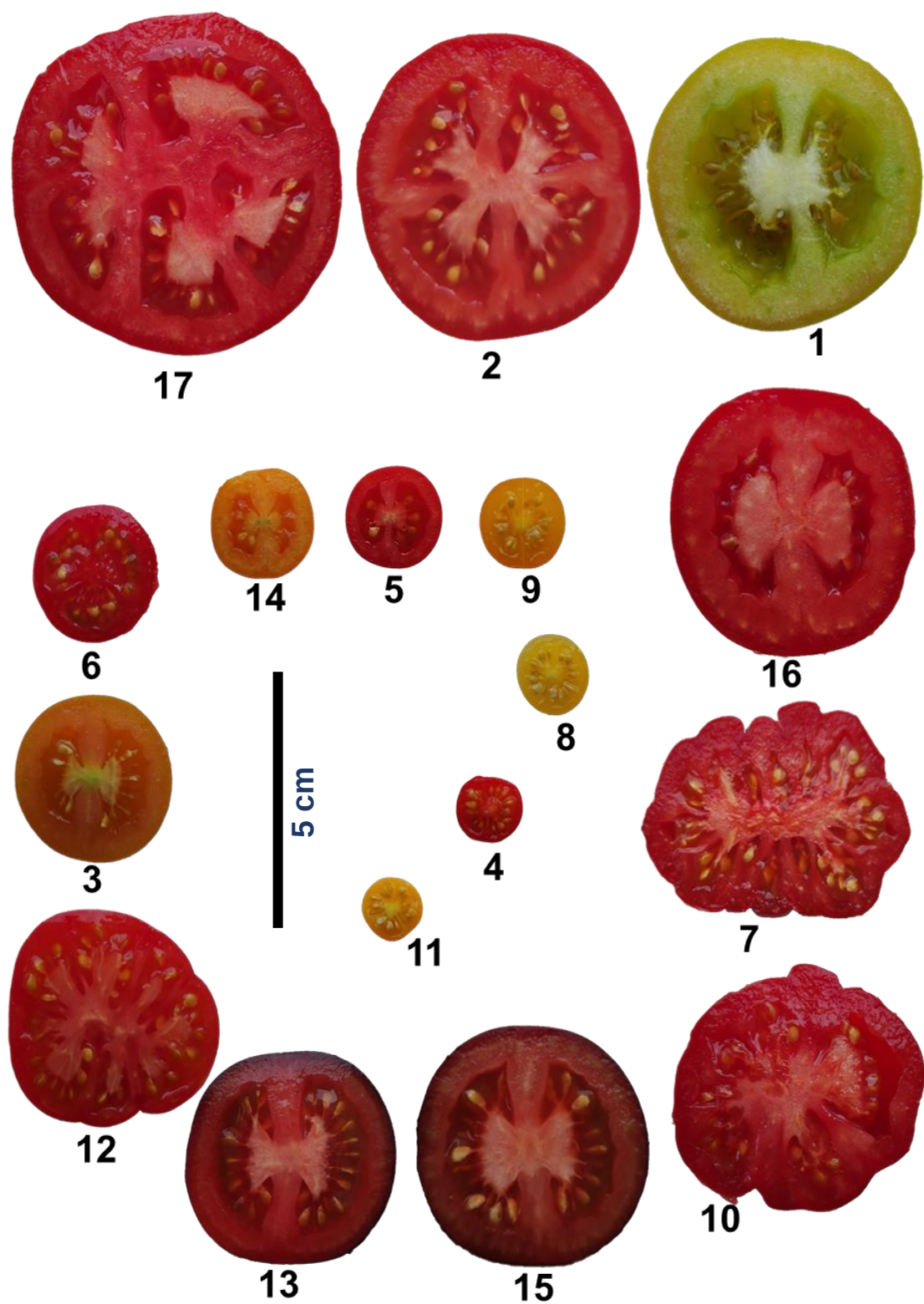


Figura 24. Lóculos y forma transversal del fruto para diecisiete poblaciones de tomate. Los números indican la población. La barra (5 cm) equivale a medida de referencia.

El tercer grupo lo formó la población 1 y el testigo 16 (Rio Grande) con dos o tres lóculos, predominando tres en la primera y dos en la última, sin embargo, difieren en otras características. El cuarto grupo y el más frecuente (67 %) lo integraron las poblaciones 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 14 y 15 con dos lóculos, que además representan casi toda la variabilidad de formas y tamaño de fruto.

Se sabe que, el número de lóculos define el tamaño y forma del fruto, aunque en algunos casos no existe asociación positiva (Rick, 1958). El número de lóculos es determinado por los QTLs *lcn1.1*, *lcn2.1* y *lcn2.2*, y *lcn3.1* en los cromosomas 1, 2 y 3, respectivamente, siendo biloculares en tomates silvestres y usualmente frutos multiloculares en el cultivado (Grandillo y Tanksley, 1996; Lippman y Tanksley, 2001), mientras que, en frutos fasciados se debe al QTL *lcn11.1* (*locus fas*) en el cromosoma 11 (Grandillo y Tanksley, 1996; Barrero y Tanksley, 2004).

El proceso de domesticación fue favorecido por mutaciones que afectaron el tamaño y forma del fruto (Tanksley, 2004), tal como *eno* (en pre domesticación) que fue la primera para el incremento de dos lóculos a tres, favoreciendo la selección y expresión de *lc* (Yuste *et al.*, 2020) que luego dio origen a *fas* (en la domesticación) (Rodríguez *et al.*, 2011); sin embargo, estos últimos fueron los más importantes con incremento de dos lóculos a tres o cuatro en el primero y a más de seis en el segundo, ambos con efectos aditivos como la expresión del fenotipo fasciado en combinación y ‘beefsteak’ con uno o más *loci* (Muños *et al.*, 2011; Yuste *et al.*, 2020).

Para la facilidad de pelar el fruto. Las poblaciones 1, 2, 5, 7, 10, 11, 12, 14 presentan dificultad para desprender la epidermis del fruto; las poblaciones 3, 8, 9, 13, 15, así como los testigos Rio Grande (16) y Floradade (17) son intermedios; mientras que, las poblaciones 4 y 6 son muy fáciles de pelar.

6.4.5. Grosor del pericarpio y columela

Díez y Nuez (2008) señalaron que, los tomates de calidad presentan frutos con adecuadas características internas, siendo importante el grosor de la columna que no debe ser suberizada, así como paredes externas y radiales del pericarpio

gruesas, pesadas y firmes para reducir al mínimo las pérdidas durante la recolección y el transporte. Para grosor de pericarpio, se han detectado los QTLs *fp2.1*, *fp8.1*, *fp8.2* y *fp10.1*, donde los tres primeros están correlacionados positivamente con el peso y diámetro de fruto (Grandillo y Tanksley, 1996).

Las poblaciones presentaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para las características grosor de pericarpio y de columela, siendo agrupadas en 9 y 11 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 15 y 16). Para una sencilla interpretación, estas fueron reagrupadas en 3 categorías para cada carácter (Figura 25) de acuerdo con intervalos.

Para grosor de pericarpio, el primer grupo correspondió a las poblaciones 1, 2, 13, 3 y 15 junto a testigos, que presentaron grosores desde >6 hasta 9 mm; el segundo grupo por las poblaciones 10, 7, 12, 14 y 5 desde >3 hasta 6 mm; y el tercer grupo por las poblaciones 11, 6, 9, 4 y 8 desde 1 hasta 3 mm.

Para grosor de columela, el primer grupo lo integraron la población 10 y el testigo 17, con grosores >20 mm; el segundo grupo por las poblaciones 2, 7, 12, 15, 1, 13 y 3 junto al testigo 16, desde >10 hasta 20 mm; y el tercer grupo por las poblaciones 6, 5, 14, 8, 9, 11 y 4 desde 3 hasta 10 mm.

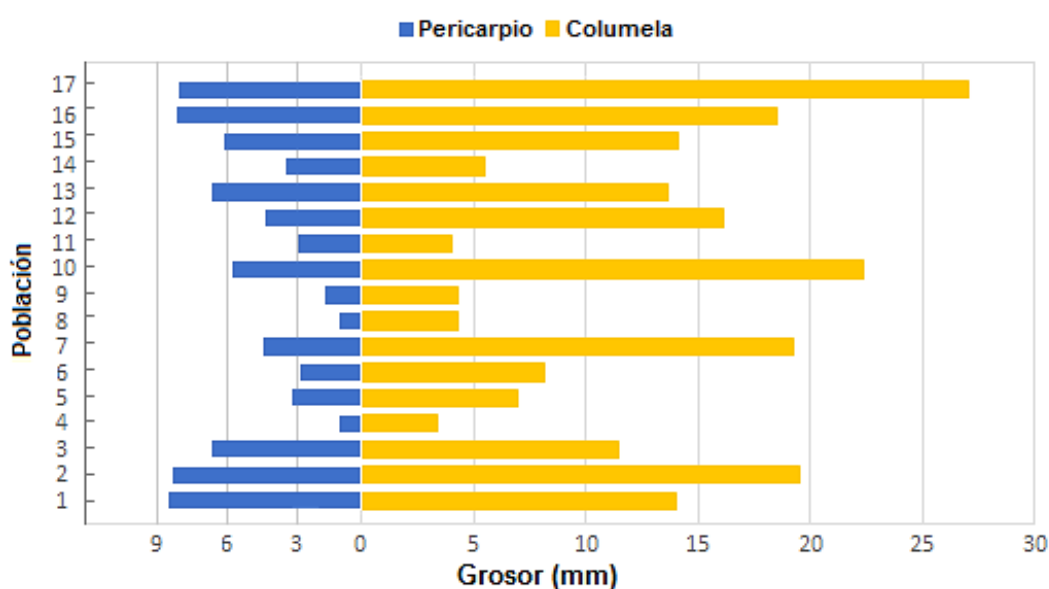


Figura 25. Grosor de pericarpio y columela para diecisiete poblaciones de tomate.

Fornés (2012) en estudio con variedades tradicionales de tomates, encontró grosor de pericarpio desde 3.24 hasta 9.79 mm en tipo arriñonados, grosor desde 3.98 hasta 7.07 mm en tipo acorazonado y ovoide, y grosor desde 2.54 hasta 7.87 mm en tipo aplanado y redondeado con presencia de acostillado ligero a moderado. Estos resultados son similares a los encontrados por Ali *et al.* (2017), quienes reportaron grosor de pericarpio de 0.47 a 7.2 mm en accesiones de tomate cultivado de origen local y exótico.

Grandillo y Tanksley (1996) y Mounet *et al.* (2007) señalaron que, el aumento del peso fresco del fruto, paralelo al aumento del diámetro, corresponden a aumentos del grosor del pericarpio y la columela. Los primeros reportaron $r = 0.78$ para peso y grosor de pericarpio, y $r = 0.77$ para diámetro y grosor de pericarpio. Al respecto, en este estudio se demuestra que estos caracteres están fuertemente correlacionados (Anexo 24), el peso y grosor de columela presentaron $r = 0.88$, peso y grosor de pericarpio $r = 0.84$, diámetro ecuatorial de fruto y grosor de columela $r = 0.95$, y diámetro ecuatorial de fruto y grosor de pericarpio $r = 0.90$.

6.4.6. Color de epidermis y columela, intensidad y color del pericarpio

Para la característica color de la epidermis no hubo mucha variación. Las poblaciones 8, 10 y 12 (20 %) presentaron frutos con epidermis incolora, la población 7 (6.67 %) presentó la mitad incolora y la otra amarillo; el resto de las poblaciones (73.33 %), mostraron epidermis color amarillo, así como los testigos Rio Grande y Floradade. Blanca *et al.* (2012) encontraron que la epidermis color amarillo es el más frecuente en tomates tipo cherry y tradicionales, seguido de la incolora; mientras que, los materiales modernos en su totalidad son amarillo.

La acumulación de flavonoides es dependiente del tejido y se desarrolla en etapas específicas. Por ejemplo, la naringenina-chalcona se acumula casi exclusivamente en la epidermis (cutícula) de forma simultánea con la acumulación de carotenoides y la degradación de clorofilas, alcanzando los mayores niveles en epidermis sobre maduras, dando el típico color amarillo, en contraparte, la mutación y provoca fenotipos con epidermis transparente o sin

color, típico en materiales con frutos de color rosado (Muir *et al.*, 2001; Bovy *et al.*, 2002: citados por Ballester *et al.*, 2010).

Para el color de la columela, la población 3 presentó color verde, la 1 blanco, la 2, 7, 10, 12, 13 y 15 rojo claro, la 5 rojo, la 4 y 6 rojo oscuro y el resto amarillo (Figura 24). Para la intensidad y color del pericarpio hubo diferencias en las poblaciones (Figura 24, 26). Las poblaciones 1, 8, 9 y 11 mostraron pericarpio color amarillo (categoría 1) con intensidad intermedia (categoría 2); la 14 color naranja (categoría 2) con alta intensidad (categoría 3); la 3 color rosado (categoría 3) con baja intensidad (categoría 1); la 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 16 y 17 color rojo (categoría 4) con alta intensidad, asimismo la 13 y 15, pero con intensidad intermedia (muy alta en algunos individuos).

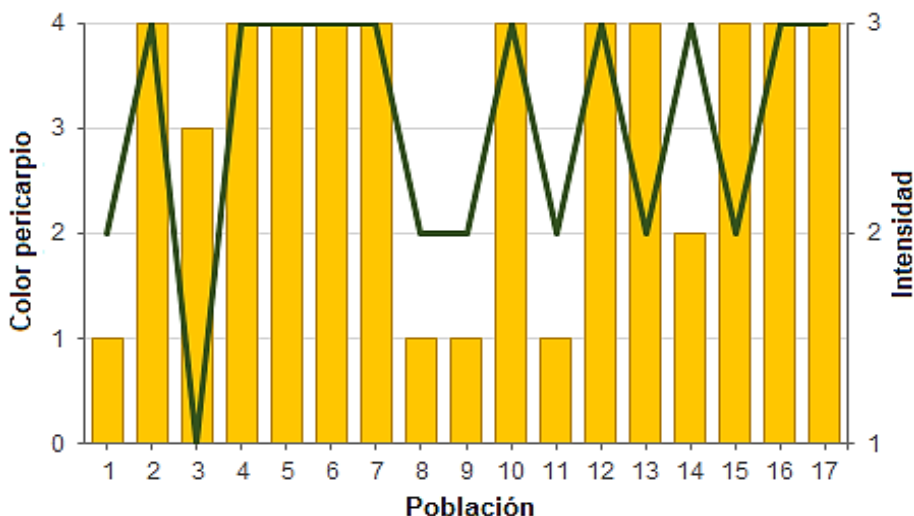


Figura 26. Intensidad y color del pericarpio para diecisiete poblaciones de tomate.

El color rojo característico del tomate es el resultado de la acumulación del carotenoide licopeno tanto en la epidermis como en la pulpa de la fruta, y el bloqueo de la enzima fitoeno sintasa 1, da como resultado frutos de color amarillo, en vez del típico rojo (Seymour *et al.*, 2013; Borghesi *et al.*, 2016; D'Ambrosio *et al.*, 2018: citados por Quinet *et al.*, 2019). En ese sentido, la mutación *hp* con alta acumulación de licopeno (Mohr, 1979; Sapir *et al.*, 2008), posiblemente este afectando a las poblaciones 4, 5 y 6, que destacan sobre las demás del mismo grupo.

En los frutos de las especies cultivadas de tomate es extraño encontrar antocianinas, aunque en especies emparentadas se han identificado mutaciones como *Aft* en *S. chilense* (Jones *et al.*, 2003), *Abg* en *S. lycopersicoides* (Mes *et al.*, 2008), *atv* en *S. cheesmanii* y la doble mutación *Aft:atv* introgresados al tomate que se denominó 'Indigo Rose' y que genera fenotipos con acumulación de antocianinas en el pericarpio del fruto (Qiu *et al.*, 2019; Zhang y Zhang, 2019), al igual que la mutación *Ant* propio de *S. lycopersicum* (Sapir *et al.*, 2008). Sin embargo, ninguno de esas mutaciones es capaz de inducir fenotipos con acumulación de antocianinas en la pulpa del fruto (Martí, 2018) y sólo se han obtenido mediante ingeniería genética (Butelli *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2019).

A pesar del relativo éxito obtenido en el aumento del contenido de flavonoides en frutos de tomate mediante modificaciones transgénicas, existe un interés continuo en la obtención de un tomate con alto contenido de flavonoides sin ingeniería genética. En este sentido, la alta acumulación de pigmentos de antocianinas en las poblaciones 13 y 15, y de licopeno en las poblaciones 4, 5 y 6, permitiría dar paso a investigaciones en caracterizaciones metabólicas y moleculares de estos materiales promisorios, en pro de la mejora genética de los materiales modernos, tal como refieren Passam *et al.* (2007).

6.4.7. Peso de fruto

El peso del fruto es una característica importante para el productor y es uno de los componentes del que depende el rendimiento. En el tomate, el peso de la fruta está controlado por muchos QTLs, algunos de los cuales tienen efectos importantes sobre esta característica, tales como las mutaciones *fw2.2* y *fw11.3*, así como los genes *fas* y *lc* que también están implicados en el mayor número de lóculos y tamaño de fruto (Alpert y Tanksley, 1996; Grandillo y Tanksley, 1996; Frary *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2002; Huang y van der Knaap, 2011).

Análisis comparativo de la secuencia de los alelos de *fw2.2* en frutos grandes y pequeños, indica que el efecto sobre el peso y tamaño probablemente se deba a cambios en la regulación génica (Cong *et al.*, 2002).

Para este carácter, las poblaciones presentaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$), agrupadas en 9 categorías (Anexo 17). Sin embargo, para mejor interpretación, las poblaciones fueron reagrupadas en 3 categorías de acuerdo con la escala ordinal (Figura 27).

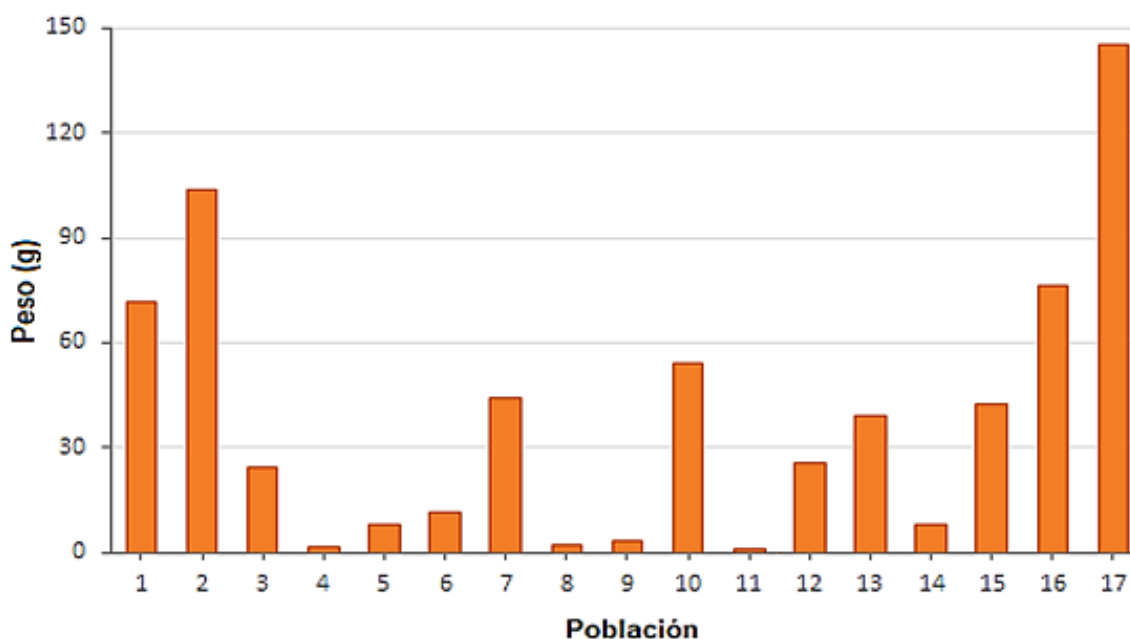


Figura 27. Peso por fruto para diecisiete poblaciones de tomate.

El grupo con mayores pesos estuvo conformado por los testigos 17 (Floradade) y 16 (Rio Grande) con 145.27 g y 76.33 g, respectivamente; así como las poblaciones 2 y 1 con 105.67 g y 71.76 g, respectivamente. Estas poblaciones presentaron frutos con pesos similares a los encontrados por Hernández *et al.* (2015) en materiales nativos de tomate con forma redondeada y peso promedio de 120.77 g por fruto. Esto apunta a que, probablemente, estas poblaciones constituyen a materiales biológicos del tipo semi domesticado, debido a que muestran altos valores en los caracteres de tamaño y peso de acuerdo con lo referido por Frary *et al.* (2000), Bai y Lindhout (2007) y Kumar *et al.* (2019).

El grupo con peso intermedio correspondieron a las poblaciones 10, 7 y 15 con 53.90, 44.31 y 42.69 g, respectivamente; seguida por las poblaciones 13, 12 y 3 con 36.82, 27.16 y 24.12 g, respectivamente; mientras que, el grupo con menores pesos fueron las poblaciones 6, 14 y 5 con 11.26, 8.00 y 7.92 g, respectivamente,

seguido por las poblaciones 9, 8, 4 y 11 con 3.56, 2.43, 1.49 y 1.37 g, respectivamente. Resultados similares fueron reportados en materiales silvestres y semi domesticados por Carrillo y Chávez (2010), Chávez *et al.* (2011) y Kumar *et al.* (2019) con rangos desde 1.5 a 19.4 g, 5.6 a 128.7 g y 4.55 g por fruto, respectivamente.

6.4.8. Diámetro polar y ecuatorial

Las poblaciones mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para diámetro polar y ecuatorial, siendo agrupadas en 7 y 10 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 18 y 19); sin embargo, estos caracteres fueron reagrupadas en 3 categorías de acuerdo con intervalos (Figura 28), ambas con asociación positiva $r = 0.86$ (Anexo 24). Para la primera característica. El grupo 1 estuvo conformado por la población 2 junto a los testigos Rio Grande y Floradade, con diámetros >5 cm. El grupo 2 se integró con la 1, 15, 13, 14, 10, 3, 7 y 5 con intervalo desde >3 hasta 5 cm, representando la mayor variabilidad de formas y colores. El grupo 3 lo estructuraron la 12, 6, 9, 8, 4 y 11 con intervalo desde 1 hasta 3 cm.

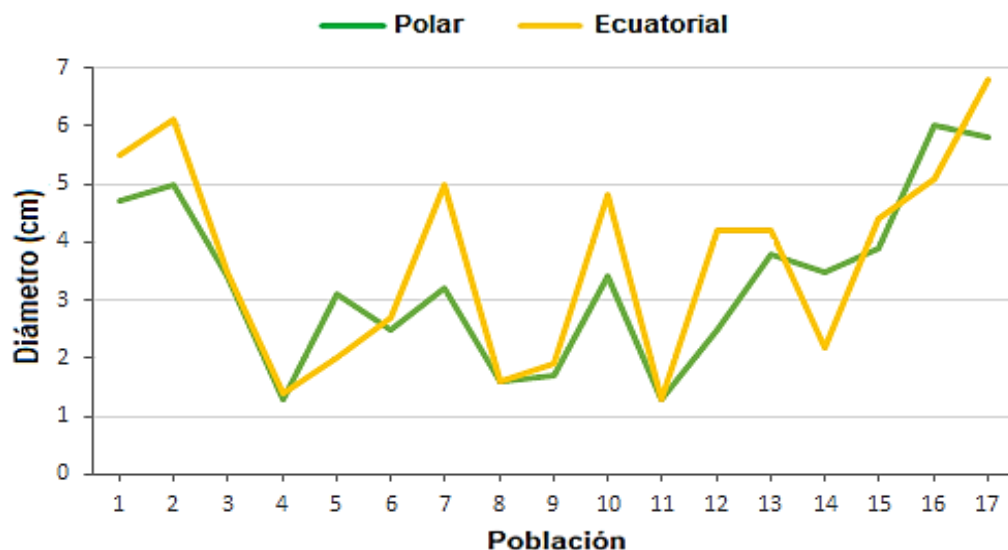


Figura 28. Diámetro polar y ecuatorial de fruto para diecisiete poblaciones de tomate.

Para la segunda característica. El grupo 1 fue conformado por las poblaciones 2 y 1 junto a los testigos Rio Grande y Floradade, con diámetros >5 cm. El grupo 2

por la 7, 10, 15, 13, 12 y 3, con intervalo desde >3 hasta 5 cm. El grupo 3 por la 6, 14, 5, 9, 8, 4 y 11, con intervalo desde 1 hasta 3 cm.

Resultados similares fueron obtenidos por Florido *et al.* (2008), Álvarez *et al.* (2009), Carrillo y Chávez (2010), Chávez *et al.* (2011) y Marín *et al.* (2019) en poblaciones silvestres y semi domesticadas de tomate tipo cherry, pimiento y arriñonado, donde reportaron diferencias de frutos para diámetro ecuatorial que van desde 1.0 hasta 4.8 cm y polar desde 2.2 hasta 5.5 cm.

Grandillo y Tanksley (1996) enfatizaron la asociación entre el peso y diámetro de fruto, estando altamente correlacionados con $r = 0.88$; resultado corroborado en este estudio con $r = 0.93$ (Anexo 24).

6.4.9. Longitud de pedicelo, amplitud de cicatriz de pedicelo y facilidad para separar el fruto

Las poblaciones presentaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para los caracteres longitud de pedicelo y amplitud de la cicatriz del pedicelo en el fruto, separándose en 9 y 10 categorías estadísticas, respectivamente (Anexos 20 y 21). Para el mejor entendimiento del comportamiento de las poblaciones, estas fueron reagrupadas en 3 y 4 categorías respectivas (Figura 29).

Los materiales con las mayores longitudes de pedicelo fueron el testigo 16 junto a las poblaciones 10, 7, 3, 4 y 12 con intervalo desde >20 hasta 26 mm; seguido por las poblaciones 15, 14, 2, 13, 9, 8, 1, 6 y 5 con intervalo desde >16 hasta 20 mm; y los de menor longitud fueron el testigo 17 junto a la población 11 con intervalo desde 10 hasta 12 mm.

La mayor amplitud de cicatriz se obtuvo en el testigo 17 sobresaliendo con 15 mm, seguido por las poblaciones 1, 2 y 10 con intervalo desde >9 hasta 12 mm. Las poblaciones 7, 13 y 15 junto con el testigo 16 presentaron amplitud intermedia, con intervalo desde 8 hasta 9 mm. Los materiales con las menores amplitudes fueron la 12, 3, 6 y 11 con intervalo desde >3 hasta 6 mm, y la 5, 9, 4, 8 y 14 con intervalo desde 1 hasta 3 mm.

Para el carácter facilidad de desprendimiento del fruto, las poblaciones también mostraron diferencias al momento de la cosecha (Figura 30). Las poblaciones 5 y 14 presentaron mucha facilidad para separar el fruto (categoría 1); las poblaciones 3, 6, 13 y 15 facilidad intermedia (categoría 2); mientras que las poblaciones 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, así como los testigos 16 y 17 tuvieron dificultad para separar el fruto del pedicelo.

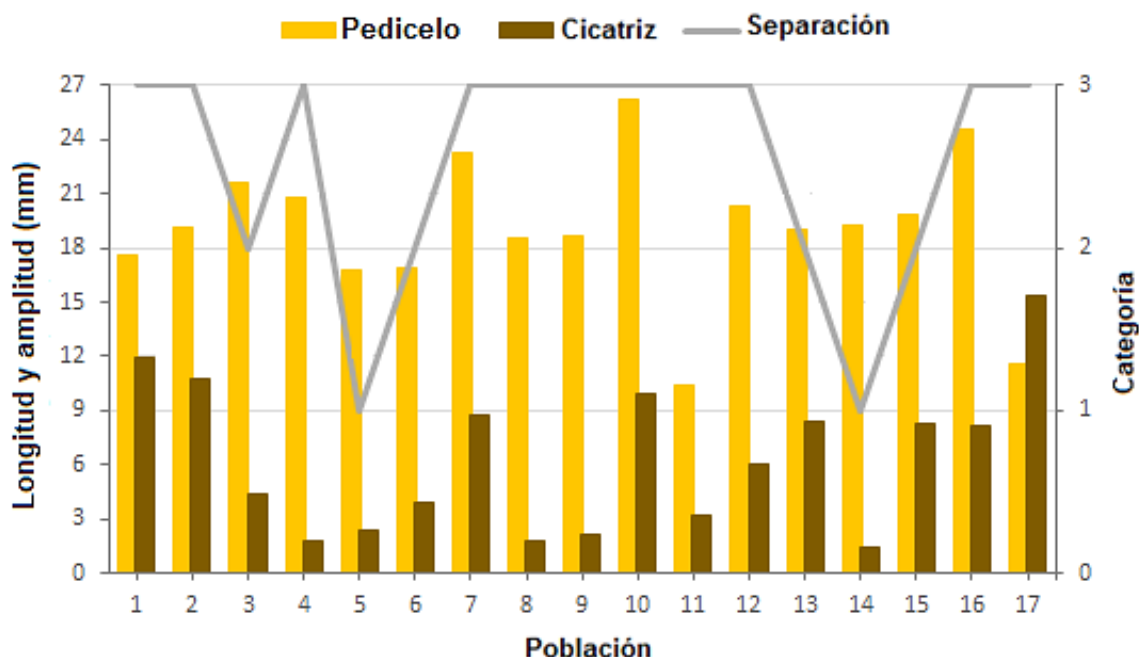


Figura 29. Longitud de pedicelo, amplitud de cicatriz y facilidad de separación de frutos para diecisiete poblaciones de tomate.

Respecto a la amplitud de la cicatriz del pedicelo en la base del fruto y la facilidad para desprender el fruto de dicho punto de unión (fruto-pedicelo), las poblaciones tuvieron diferentes comportamientos para su recolección, lo que permite clasificarlas de acuerdo con el tipo y especialidad de tomate, tal como refiere INTAGRI (2017).

Las poblaciones de tipo bola grande 1, 2, 13 y 15 junto al testigo 17 (Floradade), pueden ser cosechadas individualmente y en ramilletes tipo TOV bola o tradicional, debido a que presentan amplia cicatriz y dificultad para desprendimiento. De igual manera, el testigo 16 (Rio Grande) tipo roma o saladette puede ser cosechado de forma individual y tipo TOV roma.

Las poblaciones tipo bola mediano 3 y 6 con cicatriz de tamaño intermedio y dificultad intermedia para separar, permiten recolectarlos en forma tipo TOV bola y en tipo cocktail (tomate de especialidad).

Las poblaciones tipo bola pequeño 4, 8, 9 y 11 con tamaño pequeño de cicatriz y difícil separación, son tomates de maduración uniforme que permiten ser cosechados individualmente como cherry, pero preferiblemente deben ser cosechados en tipo TOV cherry cuando la recolección es retrasada, debido a que se estropean a partir de la cicatriz de la base del fruto al separarlos del pedicelo, lo que conllevaría a la entrada de patógenos, pérdida de agua y peso, y en consecuencia a menor vida de anaquel.

Las poblaciones 5 y 14 (con muchas características en común) de cicatriz pequeña y fácil desprendimiento de fruto, son tomates de maduración uniforme que pueden ser cosechados de manera individual y en tipo TOV grape (tomate de especialidad), aunque al manipularlos con frecuencia estos tienden a desprenderse con facilidad, pero su cicatriz permanece sin lesiones.

Las poblaciones 7, 10 y 12 producen tomates arriñonados o heirloom que son cosechados de forma individual, pero se observó que al momento de la cosecha se tiende a provocar rupturas (incrementándose con el estado de madurez del fruto) debido a su dificultad para desprender y a su amplia cicatriz, por ello deben colectarse estrictamente en un cuarto de madurez.

La facilidad para separar el fruto, es una característica de gran relevancia en variedades para procesamiento, donde es necesario convertir el cultivo hortícola (variedades de consumo fresco) en cultivo industrial, permitiendo la recolección mecanizada del fruto sin tejido verde; para ello, las variedades deben reunir características especiales como frutos homogéneos en color, tamaño y forma, con alta consistencia y pedicelo sin articulación, llamada mutación *j* (jointless) (Szymkowiak y Irish, 1999; Díez y Nuez, 2008; Nakano *et al.*, 2013; Ito y Nakano, 2015).

Villalon y Bryan (1970) en estudios con líneas *j* y *j+* (jointed= pedicelo con articulación), encontraron que la separación del fruto fue significativamente mayor en las líneas articuladas con forma alargada que en aquellas con forma redonda, no así en las líneas sin articulación. Además, se observó que el desprendimiento aumenta a mayor madurez del fruto.

Estos resultados de las líneas con articulación son congruentes con los encontrados en este estudio. Se observó que los tomates tipo bola y roma con dificultad para separarlos, al dejarlos completar su maduración en la planta, los primeros conservaron la cualidad de prendimiento de fruto que posiblemente se debe a su amplia zona de unión del fruto con el pedicelo.

6.4.10. Forma de la base y ápice del fruto, apariencia y forma de la cicatriz del ápice

En este estudio se registró todas las formas de base y ápice de fruto (Figura 23, 30), así como la forma de la cicatriz del ápice del fruto de tomate (Figura 30), según los descriptores de Bioversity. El 47 % de las poblaciones presentaron forma aplanada en la base del fruto, el 67 % aplanada del ápice del fruto y el 60 % punteada de la cicatriz del estilo en el ápice del fruto. Resultados similares fueron reportados por Rodríguez *et al.* (2017) en líneas con resistencia a begomovirus.

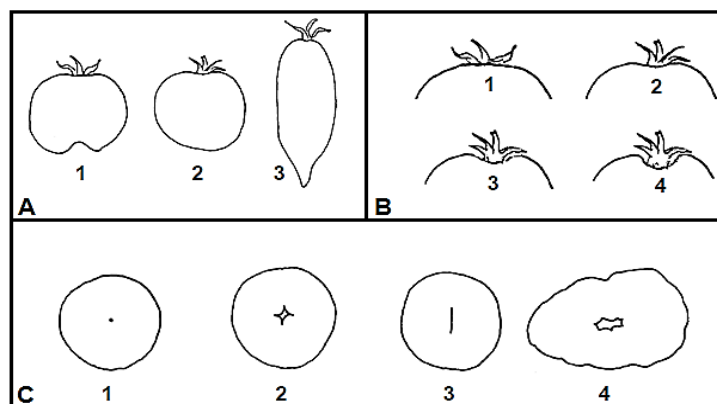


Figura 30. Formas del ápice y base del fruto de tomate. Forma del ápice (A); 1: indentada, 2: aplanada, 3: puntiaguda. Forma de la base (B); 1: aplanada, 2: ligeramente hundida, 3: moderadamente hundida, 4: muy hundida. Forma de la cicatriz del ápice (C); 1: punteada, 2: estrellada, 3: lineal, 4: irregular.

Para el carácter forma de la base del fruto. Las poblaciones 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 11 tuvieron forma aplanada; las poblaciones 9, 13, 14, 15, junto con el testigo 16, ligeramente hundida; las poblaciones 1 y 12, junto el testigo 17, moderadamente hundida; y la población 7 mostró forma muy hundida. Para el carácter forma del ápice del fruto. Las poblaciones 7, 10 y 12 mostraron forma indentada; las poblaciones 3 y 5 puntiaguda; mientras que el resto de las poblaciones, incluyendo los testigos, fueron de forma aplanada.

Para el carácter forma de la cicatriz del ápice. Las poblaciones 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 15 y el testigo 16 mostraron forma punteada, las poblaciones 1, 2 y el testigo 17 estrellada, la población 5 lineal, las poblaciones 7, 10 y 12 irregular y con fenotipo de hombros verdes (Figura 31), pero algunos frutos de la 7 y 10 mostraron malformación cat-face con o sin agrietamiento tipo cremallera en disposición radial y/o concéntrico en el ápice (Figura 31).

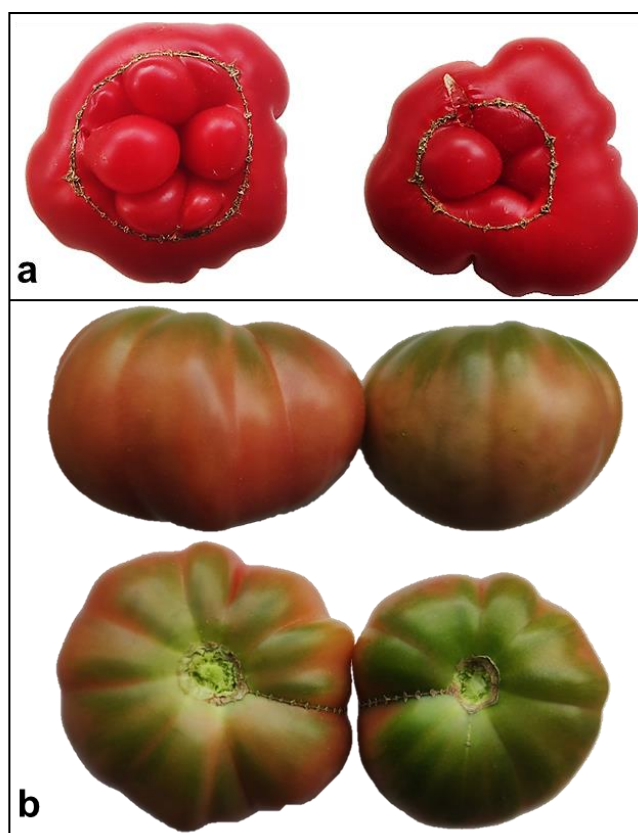


Figura 31. Fenotipos especiales en las poblaciones tipo heirloom. Apariencia cat-face y agrietamiento concéntrico (a). Hombros verdes y agrietamiento radial (b).

Blanca *et al.* (2012) refirieron que, de manera general los tomates tienen ápices en forma punteada, pero en tipo cherry la forma secundaria es la irregular y en las variedades modernas es la estrellada, en cambio tradicionales ambos tipo.

6.4.11. Número de semillas por fruto

Las poblaciones mostraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para el carácter número de semillas por fruto, siendo agrupadas en 10 categorías estadísticas (Anexo 22). Sin embargo, por motivos de mejor interpretación, estas fueron reagrupadas en 5 categorías de acuerdo con intervalos más amplios (Figura 32).

El primer grupo estuvo conformado por la población 7 y el testigo 17, con >120 semillas por fruto. El segundo grupo lo integraron las poblaciones 1 y 2 con intervalo desde >90 hasta 120 semillas. El tercer grupo con las poblaciones 15, 6, 3 y 10 junto al testigo 16, con intervalo desde >60 hasta 90 semillas. El cuarto grupo lo estructuraron las poblaciones 12, 8, 9, 11, 13 y 4 con intervalo desde >30 hasta 60 semillas por fruto. El quinto grupo, fue integrado por las poblaciones 5 y 14 con <30 semillas por fruto.

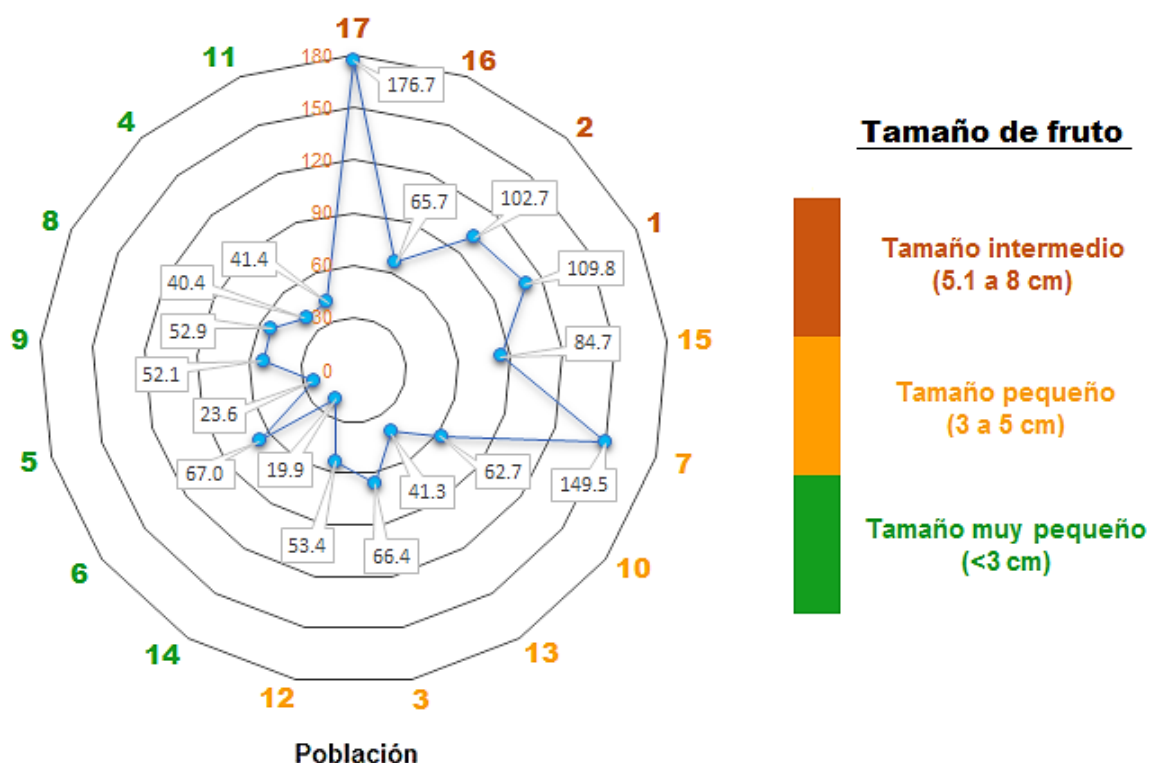


Figura 32. Número de semillas por fruto para diecisiete poblaciones de tomate.

Se han detectado algunos QTLs como *nsf4.1*, *nsf6.1*, *nsf7.1* y *nsf12.1* con efectos similares controlando el número de semillas por fruto, pero con baja contribución simultanea (24.0 %) a la variación fenotípica (Grandillo y Tanksley, 1996). Por otro parte, se ha visto que el número de lóculos no solo afecta el tamaño de la fruta, sino también el número de semillas y la forma de la fruta (Yeager, 1937; MacArthur y Butler, 1938; Lippman y Tanksley, 2001; van der Knaap y Tanksley, 2003: citados por Barrero y Tanksley, 2004), pero estas mutaciones que aumentan el tamaño y/o cambian la forma también reducen el rendimiento de semillas por gramo de tejido de fruto (Tanksley, 2004).

En el presente estudio se encontró asociación positiva entre número de semillas y tamaño de fruto (medido como peso) con $r = 0.79$ (Anexo 24), superior a $r = 0.63$ encontrado por van der Knaap y Tanksley (2003); además, con diámetro ecuatorial y lóculos por fruto con $r = 0.77$ y 0.43 , respectivamente (Anexo 24), siendo superior a lo encontrado por Lippman y Tanksley (2001) con $r = 0.44$ y 0.33 , respectivamente. En ese sentido, los grupos 1, 2 y 3 conformados por frutos más grandes (tamaños intermedios y pequeños) tuvieron la mayor cantidad de semillas por fruto (>60), excepto las poblaciones 12 y 13; por consiguiente, los grupos 4 y 5 integrados por frutos más pequeños (tamaño muy pequeño) tuvieron la menor cantidad de semillas por fruto (<60), excepto la población 6.

Chamarro (1995) mencionó que, el número de semillas varía entre 50 a 200 en las variedades comerciales. Evaluaciones realizados en tomates silvestres han reportado resultados similares a los encontrados en este estudio. Álvarez *et al.* (2009) contabilizaron desde 40 hasta 140 semillas por fruto y Benavides *et al.* (2011) entre 40 y 60, incrementando este número a medida que lo hace el tamaño de fruto.

6.4.12. Contenido de sólidos solubles totales

El gusto del consumidor determina que una mayor relación azúcares/acidez genera un efecto favorable en el sabor de los tomates de consumo fresco y de procesamiento (Baldwin *et al.*, 1998; Grandillo *et al.*, 1999; Viquez, 2015), lo que conlleva a la mejora de la calidad de la fruta y el incremento de su demanda, por

consiguiente, su valor de mercado (Ho y Hewitt, 1986; Grandillo *et al.*, 1999). Sin embargo, el fruto de tomate con buen sabor es el que tiene un balance de azúcares, ácidos y compuestos volátiles, preferiblemente altos en estos últimos (Baldwin *et al.*, 1991; Baldwin y Scott, 2002) que hacen que la percepción del dulzor sea más intensa de lo que realmente es (Tieman *et al.*, 2012).

Los contenidos de sólidos totales y sólidos solubles informan de la cantidad de sólidos del fruto de tomate, sin embargo, a nivel práctico se utiliza el segundo, conocido como grados Brix, por ser más fácil de determinar analíticamente mediante refractómetros (Ciruelos *et al.*, 2007), valor que oscila normalmente entre 4 a 6 en las variedades modernas (Stevens y Rick, 1986; Díez y Nuez, 2008) con facilidades para la comercialización (Marín, Gómez *et al.*, 2016). Los grados Brix representan aproximadamente 1 g de sólidos solubles, predominantemente azúcares, en 100 g de solución (Viquez, 2015) y tienen gran importancia en los subproductos procesados, donde un ligero incremento disminuirá el tiempo y los costos del procesamiento (Fulton *et al.*, 2002).

En este estudio, las poblaciones presentaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para el carácter sólidos solubles totales, siendo agrupadas en 9 categorías estadísticas (Anexo 23). Por motivos de mejor entendimiento del comportamiento, las poblaciones fueron reagrupadas en 3 categorías de acuerdo con intervalos (Figura 33). El primer grupo fue conformado por las poblaciones 4, 5, 14, 6, 12, 2, 7, 3, 9 y 8 con intervalo >8 hasta 10 grados Brix; el segundo por la 10, 11 y 1 con intervalo >6 hasta 8 grados Brix; y el tercero por la 13, 15 y los testigos con grados Brix >4 hasta 6.

Todas las poblaciones silvestres tuvieron más grados Brix que las variedades testigos Rio Grade y Floradade. En general, las poblaciones silvestres con frutos pequeños presentaron más grados Brix que los frutos grandes; mientras que, los frutos de tamaño mediano mostraron diferentes grados, tal como refirieron Ríos *et al.* (2014) y Tieman *et al.* (2017). Esto se puede demostrar con la asociación negativa entre sólidos solubles totales y tamaño de fruto (medido como peso de fruto) con $r = -0.68$, no así con número de hojas por simpodio con $r = 0.68$ (Anexo

24), de gran utilidad en la relación fuente/demanda de azúcares, donde mayor cantidad de hojas (fuente) sintetizarán más azúcares que serán dirigidos a los frutos (demanda).

De igual manera, plantas con hábito indeterminado presentaron más grados Brix que los semi determinados y los determinados (testigos), siendo congruente a lo referido por Klee y Tieman (2013).

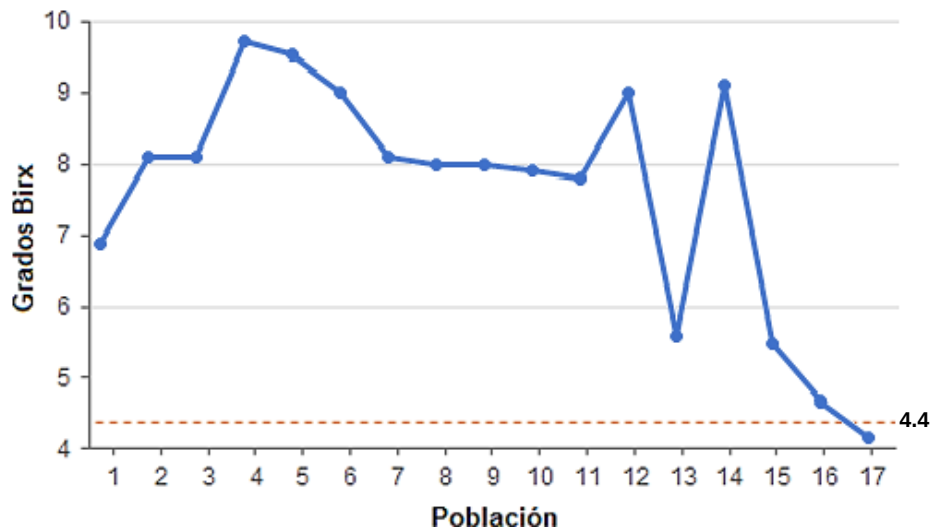


Figura 33. Contenido de sólidos solubles totales para diecisiete poblaciones de tomate. La línea roja indica promedio de los testigos.

Al respecto, Tieman *et al.* (2017) en un importante estudio de secuenciación del genoma completo y asociación amplia del genoma, identificaron loci que afectan a la mayoría de las sustancias químicas del sabor y el gusto del consumidor, incluidos azúcares, ácidos y volátiles. Estos resultados demostraron deficiencias de sabor en las variedades modernas en comparación con las antiguas y los silvestres emparentados, lo que proporciona una comprensión necesaria para su recuperación a través del mejoramiento molecular.

El humano percibe más dulce a los frutos con mayor contenido de fructosa que glucosa y de ácido cítrico que málico (Grierson y Kader, 1986). Durante los orígenes del tomate, las evidencias indican que las frecuencias de 'alelos de domesticación' se vieron modificadas, tales fueron los casos de las accesiones de la var. *cerasiforme* (ancestro) del norte de Sudamérica con el incremento del

alelo para ácido cítrico y en las mesoamericanas con la ganancia del nuevo alelo para glucosa; en cambio, las accesiones de la var. *lycopersicum* (cultivado) ganó un nuevo alelo para ácido málico y parece haber desaparecido para ácido cítrico (Razifard *et al.*, 2020).

Grierson y Kader (1986) vinculan los frutos de sabor agrio a niveles altos en ácidos y bajos en azúcares, sabor suave a altos en azúcares y bajos en ácidos, y sabor insípido a bajos en azúcares y ácidos. Sin embargo, los niveles de sólidos solubles no necesariamente están relacionados con el dulzor (Baldwin y Scott, 2002; Klee y Tieman, 2018).

En ese sentido, a pesar de que las poblaciones 13 y 15 (color morado-naranja) presentaron menos grados Brix, su sabor fue mejor que el de las otras, y junto a la 5 (color rojo) y 14 (color naranja) con altos grados Brix fueron las que se destacaron en palatabilidad, característica altamente demandada por el consumidor. En cambio, la población 2 (color rojo) alta en grados Brix mostró sabor insípido, similar a las variedades testigos. Esto podría explicarse por el alto contenido de carotenoides en las dos primeras, tal como refieren Grierson y Kader (1986) y Baldwin y Scott (2002).

En cambio, otras poblaciones altas en Brix tuvieron sabor agridulce. La 4 (color rojo), 8 (color amarillo), 9 y 11 (color naranja) son ideales para el consumo directo, y la 6, 7, 10 y 12 (color rojo) para la elaboración de salsas; mientras que la 1 (color amarillo) y 3 (color naranja) con genes retardantes de la maduración (ver acápite 6.4.13.), tuvieron sabor ácido respecto a las demás poblaciones, siendo ideales para el consumo en ensaladas.

Esta pérdida de sabor está asociada a la mutación *u* con fenotipo maduración uniforme, identificada a principios del siglo pasado (Klee y Tieman, 2018). Esta suprimió el factor *SIGLK2* que determina la acumulación de clorofila en el fenotipo hombros verdes (Figura 31b) y, por ende, disminuyó la biosíntesis de azúcares en el desarrollo del fruto, comprometiéndose la calidad, pero se potenció otras características como el aumento en tamaño, peso (Powell *et al.*, 2012) y resistencia al agrietamiento (Young y MacArthur, 1947).

Todas las variedades modernas presentan esta mutación por efecto del mejoramiento (Causse *et al.*, 2003; Lin *et al.*, 2014), donde se seleccionaron frutos inmaduros de color verde claro uniforme para obtener maduración uniforme del color rojo, haciéndolo visualmente más atractivo para el comercio (Powell *et al.*, 2012); esto trajo gran beneficio al productor para determinar el momento de la cosecha, pero no para el consumidor (Klee y Tieman, 2018). Por otra parte, se han detectado los QTLs *ssc3.1*, *ssc9.1* y *ssc6.1*, siendo este último el más significativo con una contribución de 47.2 % a la variación fenotípica y a la vez se encuentra ligado al gen *sp* (Grandillo y Tanksley, 1996).

Santiago *et al.* (1998) en estudio con las variedades modernas de polinización abierta Rio Grande y Floradade, obtuvieron valores de 4.0 y 3.9 grados Brix, respectivamente; mientras que, en híbridos obtuvieron 4.43 grados en promedio. Estos resultados son similares a los reportados en este estudio, donde se obtuvo medias de grados Brix de 4.65 en Rio Grande (testigo 16) y 4.19 en Floradade (testigo 17).

En cambio, San Martín *et al.* (2012) en estudio con una variedad híbrida cultivada en sustrato de tezontle a diferentes granulometrías, encontraron en promedio 7.13 grados Brix; sin embargo, este resultado fue atribuido a las condiciones de alta salinidad por acumulación de fertilizantes en el sustrato, lo cual incrementó la conductividad eléctrica desde 1.3 hasta 4.3 dS·m⁻¹.

Investigadores como Pérez *et al.* (1996), Cuartero y Fernández (1999), Grainferberg *et al.* (2000), Carvajal *et al.* (2000) y Yurtseven *et al.* (2005) mencionaron efectos benéficos de la salinidad sobre la calidad organoléptica del fruto de tomate, tales como aumento en sólidos solubles, acidez titulable y carotenoides. Sin embargo, los frutos son afectados en peso y tamaño, implicando una reducción del rendimiento debido a su correlación inversa, tal como sostienen Stevens y Rick (1986), Tanksley *et al.* (1996), Chen *et al.* (1999) y Díez y Nuez (2008). Por ello, el mejoramiento del incremento de sólidos solubles totales (principalmente azúcares y ácidos) tiene que ir de forma paralela

al mejoramiento del rendimiento de frutos (Grandillo *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 1999).

Varios estudios con materiales silvestres de tomate y sus parientes silvestres, demostraron que éstos presentan caracteres de calidad de fruto, tanto de interés agronómico como industrial, siendo las fuentes de variación más importantes para la mejora de los materiales modernos de tomate (Rick, 1982; Young *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 1999; Yousef y Juvik, 2001; Lecomte *et al.*, 2004; Díez y Nuez, 2008; Quinet *et al.*, 2019).

Uno de ellos, son los sólidos solubles estudiados por Juárez *et al.* (2009), Crisanto *et al.* (2010), Benavides *et al.* (2011), Chávez *et al.* (2011) y Méndez *et al.* (2011), quienes en colectas de tomates silvestres y nativos reportaron promedios de grados Brix de 6.9, 8.6, 11.2, 6.6 y 6.8, respectivamente, demostrando el potencial que poseen. Por otra parte, Fornés (2012), Bonilla *et al.* (2014), Maldonado *et al.* (2016), Tochiuitl *et al.* (2017) y Lara (2017) con materiales silvestres y tradicionales, reportaron desde 3.0 a 6.6 grados Brix, mostrando valores comparables o inferiores a las poblaciones 13 y 15, y los testigos comerciales.

6.4.13. Consistencia del fruto a la cosecha y en anaquel

Desde el punto de vista del consumidor, el color intenso y la firmeza son dos atributos básicos de calidad de los tomates frescos (Tijskens y Evelo, 1994: citados por Sharma *et al.*, 2020), pero estos presentan asociación negativa lo que dificulta el mejoramiento (Caruso *et al.*, 2015).

Buena consistencia del fruto permite prolongar la vida poscosecha, lo que evita el temprano deterioro por excesivo ablandamiento, aparición de manchas o arrugas que convierten al fruto en inaceptable para el consumo (Rodríguez, Prohens *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2010). La importancia de contar con cultivares que mantienen una buena consistencia más allá de la etapa de maduración en estantería, permitirán la recolección de frutos en etapas de maduración más avanzadas y aportarán mejor sabor (Díez y Nuez, 2008).

Las poblaciones criollas, aunque son de uso local o regional, son muy apreciadas por su mayor o igual calidad organoléptica que las variedades modernas de tomate, sin embargo, tienen menor firmeza y vida de anaquel (Parisi *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Vásquez *et al.*, 2010: citados por Maldonado *et al.*, 2016).

En este estudio, las poblaciones silvestres presentaron diferentes grados de consistencia del fruto al momento de la cosecha y en vida de anaquel (Figura 34). Al momento de la cosecha, las poblaciones con consistencia dura (66.67 %) fueron la 1, 2, 3, 5, 8, 9, 11, 13, 14 y 15, junto a los testigos 16 y 17, con frutos redondos, excepto las poblaciones 5 y 14 con frutos redondo-alargados y oblongo-alargados, respectivamente; las poblaciones intermedia (26.67 %) fueron la 4, 7, 10 y 12 con frutos achatados; mientras que la población blanda (6.66 %) fue la 6 con frutos redondos.

Rodríguez *et al.* (2017) en estudio con líneas de mejora, detectaron diferentes grados de compacidad en frutos con estado de madurez comercial, predominando los tipo blando (53.3 %), seguido por los intermedio (26.7 %) y los duro (20.0 %).

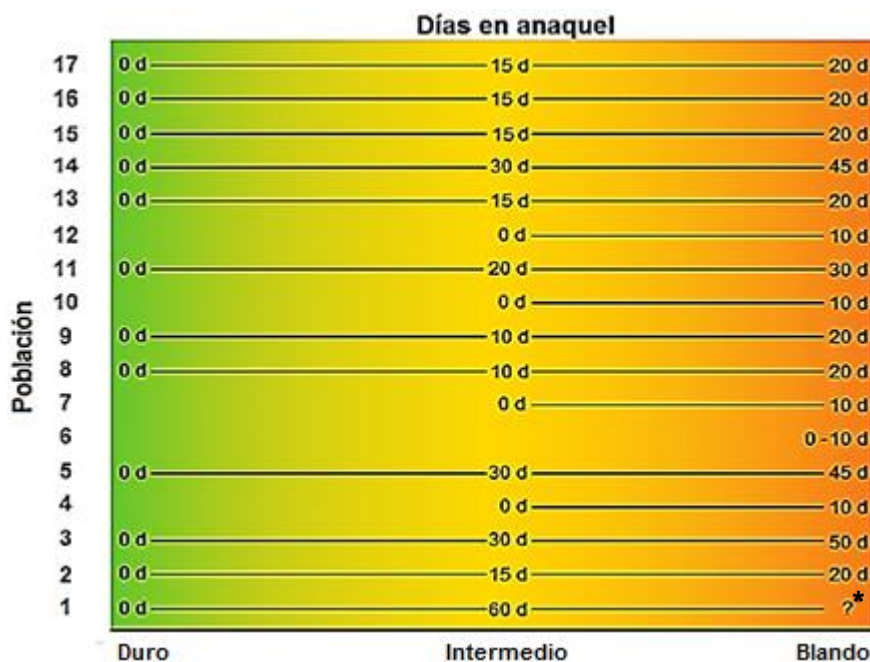


Figura 34. Escala de consistencia de frutos para diecisiete poblaciones de tomate, desde su cosecha (0 días) hasta su vida en anaquel. *dato no tomado.

En contraste, Bonilla *et al.* (2014) en estudio con materiales silvestres y nativos, encontraron menor cantidad de frutos blandos (23.0 %) en tipo arriñonado, seguido por los intermedios (27.0 %) en tipo cherry y la mayor cantidad lo constituyen los frutos duros (50.0 %) en tipo pimienta. De acuerdo con estos últimos resultados, los materiales silvestres presentan caracteres de alta calidad de fruto.

A los diez días en vida de anaquel, el 40.0 % de las poblaciones silvestres cambiaron de consistencia. Las poblaciones 8 y 9 pasaron a intermedia, y la 4 (tipo cherry), 7, 10 y 12 (tipo heirloom o arriñonado) pasaron a blanda en menos de 10 días, consideradas las de peor calidad. Rodríguez, Prohens *et al.* (2005) reportaron que los frutos de tomates tipo heirloom son de baja firmeza, pero presentan mejores cualidades nutricionales y organolépticas que las variedades modernas.

Después de 10 días en anaquel, no todas las poblaciones se comportaron de igual manera. Los testigos y las poblaciones 2, 13 y 15 pasaron a consistencia intermedia y luego a blanda en menos de 20 días. Sin embargo, las dos últimas mantuvieron la integridad de la epidermis (cutícula) entre 30 y 40 días en anaquel, el resto empezó a arrugarse más rápido.

Posiblemente este rápido proceso de cambio de consistencia se deba al mayor volumen del fruto en estas poblaciones; aunque las poblaciones 8 y 9 (con menor volumen) se comportaron similarmente, pero con menor tiempo a completar la consistencia intermedia (10 días).

Las poblaciones con alto potencial de uso para programas de mejora por su buena compacidad en anaquel fueron la 3, 5 y 14. Estas pasaron a consistencia intermedia después de 20 días y a blanda después de 40 días. De la misma manera, la población 1 es un material promisorio por el comportamiento de larga vida de anaquel, que pasó a consistencia intermedia después de 60 días.

Actualmente, este parámetro de calidad es de importancia debido a que las variedades modernas para consumo fresco poseen baja o intermedia

consistencia, lo que conduce al rápido deterioro en su comercialización, por lo que se ha optado a la recolección de los frutos en estado excesivamente verde para prevenir daños y prolongar la vida comercial, sin embargo, se reducen otras cualidades relevantes (Rodríguez, Prohens *et al.*, 2005; Caruso *et al.*, 2015). A pesar de las buenas prácticas en poscosecha, se siguen dando pérdidas sustanciales por la naturaleza de fruto climatérico, lo que favorece a la pérdida de la integridad física y la rápida reducción de la calidad que espera el consumidor.

La pérdida de firmeza es el resultado de la acción de las enzimas celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa; siendo esta última la que mejor se correlaciona con el ablandamiento, ya que su concentración se incrementa durante la maduración por síntesis *de novo*, proceso que requiere de la presencia de oxígeno y que a su vez es estimulado por el etileno (Tucker *et al.*, 1980; Abeles *et al.*, 1992: citados por Gómez y Camelo, 2002).

La producción de etileno al inicio de la maduración es regulado por factores de transcripción que modulan la biosíntesis y la transducción de señales (Alexander y Grierson, 2002), entre los que cabe destacar *RIN* (ripening inhibitor) necesario para completar la maduración (Ito *et al.*, 2017), *CNR* (colorless non-ripening) implicado durante la maduración (Thompson *et al.*, 1999; Manning *et al.*, 2006) y *NOR* (non-ripening) involucrado en el control de la maduración (Yuan *et al.*, 2016); así como *NR* (never ripe), *ALC* (alcobaca) (Chalukova y Manuelyan, 1991), *DFD* (delayed fruit deterioration) involucrado en la integridad de la pared celular (Saladié *et al.*, 2007), *CWP* (cuticular water permeability) implicado en la permeabilidad de la cutícula (Hovav *et al.*, 2007) y *NAC* (NAM/ATAF1/2/CUC2) que altera la biosíntesis de carotenoides (Zhu *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2018).

Según Baldwin y Scott (2002), Causse *et al.* (2003) y Pereira *et al.* (2009), mutaciones como *rin*, *nor* y *alc* podrían utilizarse como progenitores de híbridos, ya que confieren mayor firmeza de fruto y son una alternativa para aumentar la vida poscosecha, pero tienen el problema de efectos pleiotrópicos indeseables

sobre el color, el pH, el sabor y el aroma tanto en la condición homocigota como heterocigota.

Pratta *et al.* (2003) describieron que *rin* produce frutos esféricos y de color amarillo a la madurez; tal como el fenotipo descrito para la población 1 y que presuntamente es debida a esta mutación. En cambio, *nor* produce frutos esféricos y de color rosado pálido a la madurez, característica que no fue observada en este estudio.

La población 3, posiblemente presenta el fenotipo *nac* lo que implica una disminución de licopeno, pero elevada acumulación de β -caroteno que confiere el fenotipo de frutos color naranja, así como retraso en la maduración. Las poblaciones 5 (color rojo) y 14 (color naranja) con vida de anaquel de intermedia a alta, posiblemente estén afectadas por genes que controlan la pérdida de agua como *DFD* u otros tipo de mutaciones con genes no asociados a las mutaciones antes descritas con efectos pleiotrópicos en detrimento de la calidad.

En ese sentido, Pratta *et al.* (2003), Zorzoli *et al.* (2000), Cambiaso *et al.* (2019) y Di Giacomo *et al.* (2020) han encontrado que algunos híbridos formados por la línea LA0722 de *S. pimpinellifolium* en combinación con variedades comerciales de tomate cultivado, mostraron varios QTLs nuevos que no presentaron diferencias significativas en anaquel con las mutaciones *rin* y *nor*, y tampoco mostraron efectos pleiotrópicos, constituyendo una buena alternativa para incrementar la vida poscosecha de los materiales modernos.

Otra forma de mantener la calidad poscosecha de los tomates es mediante la presencia de antocianinas, capaces de duplicar la vida útil de los frutos al retrasar la maduración excesiva y reducir la susceptibilidad a ciertos patógenos (Zhang *et al.*, 2013; Petric *et al.*, 2018).

Al respecto, Petric *et al.* (2018) evaluaron frutos con acumulación de antocianinas de la línea de doble mutación *Aft:atv* (cruce interespecífico) expuestos a diferentes condiciones de luz y temperaturas en vida de anaquel. Observaron que, frutos expuestos a 24 °C con y sin luz, no aumentaron el contenido de

antocianinas, y la pérdida de firmeza y el deterioro de la fruta fueron claramente visibles durante la tercera semana de almacenamiento, similar a lo encontrado en este estudio en las poblaciones 13 y 15 con frutos pigmentados con antocianinas. En cambio, frutos expuestos a 12 °C con y sin luz la firmeza se mantuvo por más tiempo, pero en presencia de luz se potenció la concentración de antocianinas sin efectos negativos a otros caracteres de calidad.

Resultados superiores fueron reportados por Bassolino *et al.* (2013) con la misma línea a 17 °C y Zhang *et al.* (2013) con la línea transgénica *Del/Ros1* a 18 °C, obteniendo vida de anaquel hasta 49 días, tiempo en que los frutos empezaron a ablandar. Esto indica que la acumulación específica de antocianinas en la epidermis de la fruta del tomate, lograda ya sea mediante el mejoramiento tradicional o la ingeniería genética, puede ser una forma eficaz para retrasar la maduración, extender la vida útil del tomate y reducir la susceptibilidad a patógenos en poscosecha.

6.5. Variables de semilla

6.5.1. Forma, tamaño y color de semilla

Las poblaciones presentaron diferencias para las características de forma, tamaño y color de semillas (Figura 35). Para la característica forma de semilla. Las poblaciones 1, 2, 4, 7, 10, 11, 12, 14 y Rio Grande (16) mostraron forma globular (categoría 1); la 8, 9, 13, 15 y Floradade (17) son ovadas (categoría 2); y la 3, 5 y 6 son triangulares (categoría 3). Para el tamaño, las poblaciones 1, 4, 8, 9 y 11 son pequeñas (categoría 1), la 2, 3, 5, 6, 7, 12, 14 y 15 son medianas (categoría 2), mientras que, la 10, 13 y los testigos son grandes (categoría 3).

Pacheco *et al.* (2014) al caracterizar materiales silvestres y nativos, encontraron semillas con tamaños pequeños (40 %), medianos (40 %) y grandes (20 %), similar a lo encontrado en este estudio con 33.33 %, 53.34 % y 13.33 %, respectivamente. Sin embargo, para forma de semilla, reportaron que la ovada fue la más frecuente (70 %), seguida por la triangular (20 %) y la globular (10 %);

discrepando de lo encontrado en este estudio, donde la forma predominante fue la globular (53.33 %), seguida por la ovada (26.67 %) y la triangular (20 %).

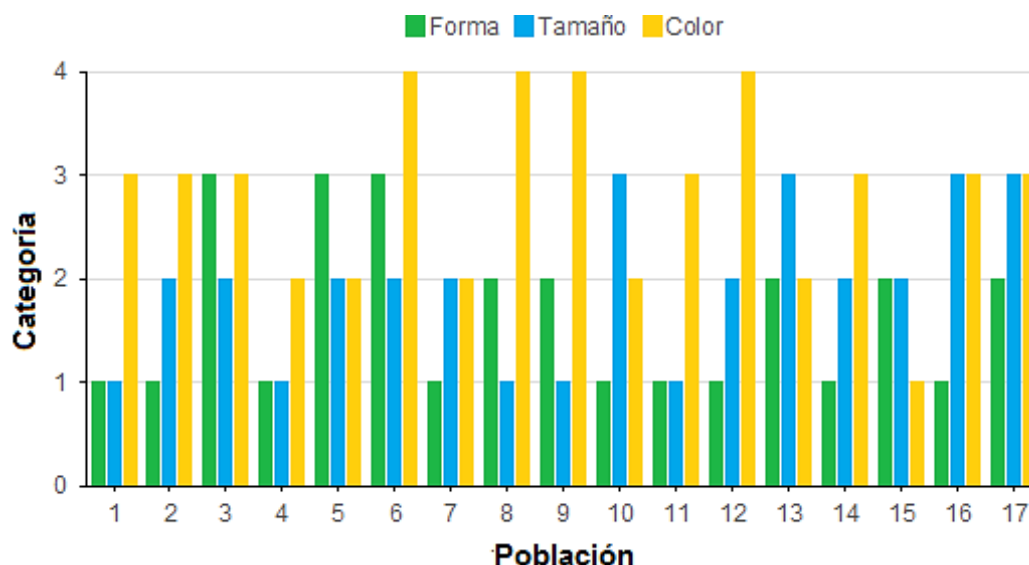


Figura 35. Características de semilla para diecisiete poblaciones de tomate.

Para la característica color, solo la población 15 es amarilla oscura (categoría 1); la 4, 5, 7, 10 y 13 gris (categorías 2); la 1, 2, 3, 11, 14 y los testigos, marrón (categoría 3); mientras que, la 6, 8, 9 y 12 son marrón oscuro (categoría 4).

6.6 Análisis de componentes principales

La matriz de correlaciones con datos estandarizados (Anexo 24), mostró una KMO=0.5 moderadamente aceptable para el análisis de componentes principales (ACP) con 29 características morfo-agronómicas del tipo cuantitativo, donde los primeros tres componentes principales (CP1, CP2 y CP3) explicaron el 67.41 % de la variación fenotípica observada (Cuadro 4) en las 15 poblaciones silvestres y las dos variedades comerciales testigos, Rio Grande y Floradade.

La contribución del CP1 a la variabilidad fue de 40.34 % y estuvo representado por los caracteres emergencia de plántula, diámetro de simpodio, amplitud de hoja, diámetro de corola, longitud de la zona de abscisión, días a maduración, amplitud de la cicatriz de pedicelo, peso de fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, grosor de pericarpio, grosor de columela y semillas por fruto.

El CP2 contribuyó en 15.14 % y estuvo definido principalmente por las variables foliolos por hoja, número de pétalos, número de sépalos, longitud de estambres, número de estambres, longitud de pedicelo y lóculos por fruto.

En cambio, el CP3 contribuyó con 11.93 % y fue explicado por los caracteres longitud de simpodio, hojas por simpodio, longitud de hoja, altura al primer racimo, flores por inflorescencia, longitud de inflorescencia, diámetro de cáliz y grados Brix.

Cuadro 4. Puntuación estandarizada de componentes para características morfo-agronómicas cuantitativas en diecisiete poblaciones de tomate.

No.	Característica	Código	CP1	CP2	CP3
1	Emergencia de plántula	EP	-0.14198804	0.11521405	-0.12579729
2	Longitud de simpodio	LS	0.13320737	-0.17528546	0.35529871
3	Diámetro de simpodio	DS	0.18321171	0.08319585	0.00757643
4	Hojas por simpodio	HS	-0.07523910	-0.10923667	0.25064273
5	Folios por hoja	FH	0.14058266	0.27455916	-0.12154306
6	Longitud de hoja	LH	0.11393586	0.09477567	0.20869656
7	Amplitud de hoja	AH	0.14493577	0.07362487	0.13757391
8	Altura al primer racimo	AR	0.17529247	-0.02925165	0.31747032
9	Días a floración	DF	0.11597196	0.17869755	-0.00578613
10	Flores por inflorescencia	FI	-0.08574209	0.08963171	0.36935312
11	Longitud de inflorescencia	LI	-0.04857321	0.05337954	0.42025007
12	Número de pétalos	NP	0.17782611	-0.33828452	0.02959308
13	Número de sépalos	NS	0.15265601	-0.37798700	-0.02001142
14	Diámetro de corola	DCO	0.21288692	0.12456773	0.20616778
15	Diámetro de cáliz	DCA	0.18580503	0.12907483	0.23916102
16	Longitud de estambres	LE	0.18568266	0.23435240	0.06262061
17	Número de estambres	NE	0.16737826	-0.35399539	-0.06575172
18	Longitud total del pedicelo	LP	0.05029053	-0.28628617	0.15991232
19	Longitud de zona de abscisión	LA	0.22620119	0.13930400	0.08418366
20	Días a maduración	DM	0.20394520	0.08432035	0.09869649
21	Amplitud de cicatriz del pedicelo	AC	0.27931441	-0.00396691	-0.12167903
22	Peso de fruto	PF	0.26249150	0.07044068	-0.13380377
23	Diámetro polar	DP	0.25179816	0.12224396	0.01619772
24	Diámetro ecuatorial	DE	0.27961214	-0.03989131	-0.08083599
25	Lóculos por fruto	LF	0.11858295	-0.39097791	-0.03009091
26	Grosor de pericarpio	GP	0.26439998	0.10644528	-0.02280295
27	Grosor de columela	GC	0.25827506	-0.12926713	-0.12077907
28	Semillas por fruto	SF	0.21938254	-0.05610109	-0.17972647
29	Grados Brix	GB	-0.18806195	-0.14116580	0.25398406
Eigenvalue			11.69899	4.39148	3.45959
Desviación estándar			3.4204	2.0956	1.8600
Porcentaje de varianza			40.34	15.14	11.93
Porcentaje acumulado de varianza			40.34	55.48	67.41

Los dos primeros componentes estuvieron relacionados mayormente a características de fruto e inflorescencia, tal como reportaron Carrillo y Chávez (2010), Lobato *et al.* (2012) y Bonilla *et al.* (2014). En cambio, Domingos (2003), Benavides *et al.* (2011), Rodríguez *et al.* (2010), Cebolla *et al.* (2013), Torrico *et al.* (2014) y Marín *et al.* (2019) reportaron que los dos primeros componentes definen la variabilidad fenotípica total con características de fruto y de planta.

Por otra parte, las asociaciones entre las poblaciones y los componentes principales permitieron diferenciar a estos materiales en grupos, de acuerdo con características morfo-agronómicas en común. Las poblaciones 1, 2, 4, 6, 8, 9, 11 y 15, junto a las variedades testigos, están mejor representadas por el CP1. Las poblaciones 7, 10, 12 y 13 por el CP2. Mientras que, las poblaciones 3, 5 y 14 se representaron bien por el CP3.

Para la representación gráfica de la asociación de las poblaciones y los caracteres morfo-agronómicos, se consideró los dos primeros componentes principales, aislando la variabilidad existente en los materiales silvestres con 55.48 %, los que se dispersaron por todos los cuadrantes y se diferenciaron en tres grupos, con separación de aproximadamente 120° uno del otro (Figura 36).

Posiblemente, esta baja contribución a la variación fenotípica total de parte de los dos primeros componentes se deba al mayor número de características morfo-agronómicas y de poblaciones en estudio.

De la misma manera, Benavides *et al.* (2011) encontraron variación acumulada de 63.6 % al evaluar 15 características en 6 poblaciones silvestres cultivadas con tres condiciones de cultivo; mientras que Carrillo y Chávez (2010) reportaron 68.5 % para 20 características de 49 poblaciones semidomesticadas y silvestres.

Por otra parte, Bonilla *et al.* (2014) determinaron 77.03 % para 20 características de 40 colectas de tomate nativo y Marín *et al.* (2019) indicaron 69.6 % de variación en 20 características de 26 accesiones nativas.

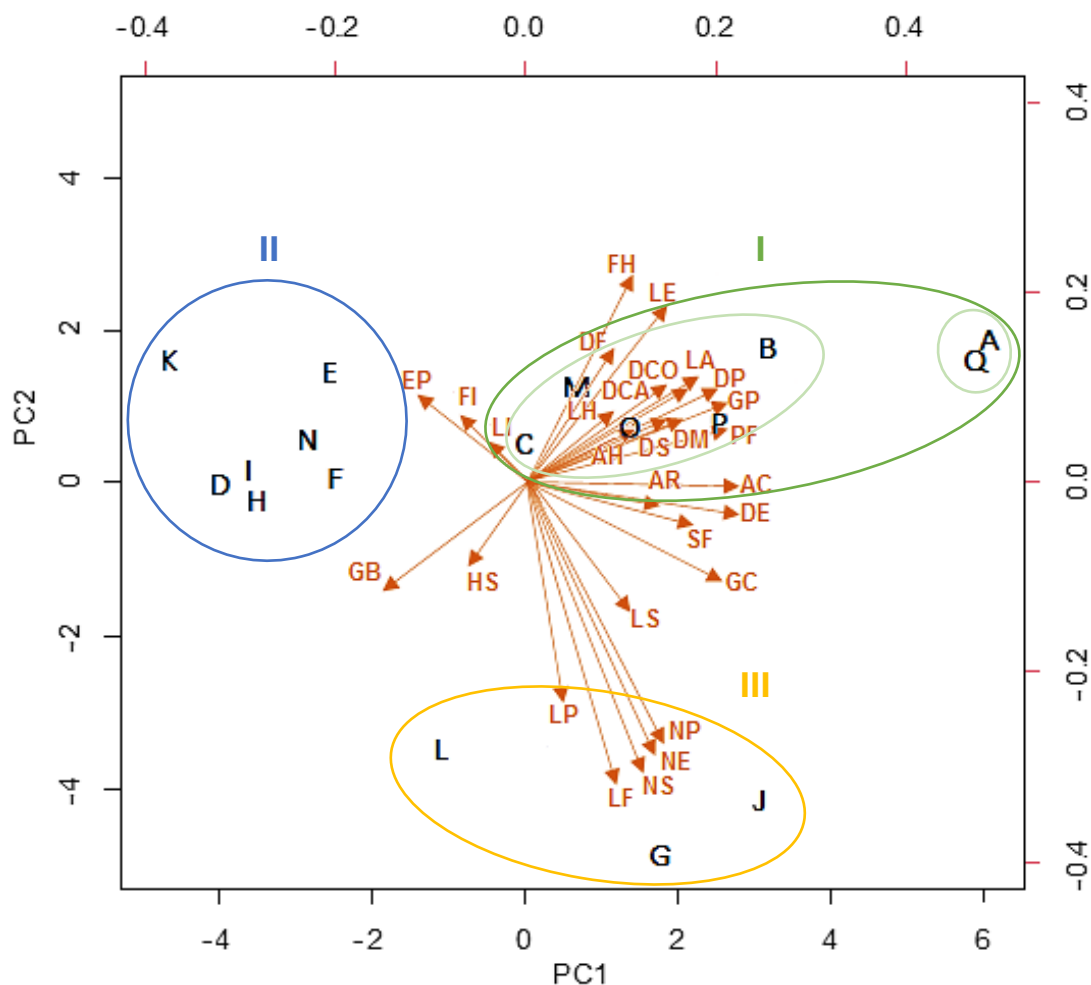


Figura 36. Biplot CP1 y CP2 para características morfo-agronómicas cuantitativas asociadas a diecisiete poblaciones de tomate.

El grupo I, se diferenció en dos subgrupos y reunió a todos los colores de frutos. El primer subgrupo fue conformado por las poblaciones 3 (C) de color naranja, la 13 (M) y 15 (O) de color morado-naranja, con frutos de tamaño pequeño (3 a 5 cm); de igual manera, la población 2 (B) junto al testigo Rio Grande (P) con frutos de color rojo y de tamaño intermedio (5.1 a 8 cm). El segundo subgrupo se constituyó por la población 1 (A) de color amarillo y el testigo Floradade (Q) color rojo, corresponden a frutos de tamaño intermedio.

Estas poblaciones con frutos de forma ligeramente achatada, excepto la 3 redondeada y Rio Grande redondo-alargada, se asociaron positivamente a las características de fruto: diámetro polar, peso de fruto, grosor de pericarpio, días

a maduración de fruto, longitud de la zona de abscisión y amplitud de cicatriz del pedicelo; a características de flores: diámetro de corola, diámetro de cáliz, longitud de estambres y días a floración; y a características de planta: longitud de hoja, amplitud de hoja y diámetro del segundo simpodio. Cabe destacar que, la población 3 también se asoció a las características de flores: longitud y número de flores por inflorescencia, y la característica de plántula: días a emergencia.

En general, este grupo mostró asociación negativa con la característica sólidos solubles totales, indicadora de la calidad de fruto, que fue inferior a 6, excepto en las poblaciones 2 y 3 con valores de grados Brix mayor a 8. Asimismo, con el número de hojas por simpodio, siendo de 2 hojas, excepto las poblaciones 1, 2 y 3 con 3.

El grupo II, se integró por las poblaciones 4 (D), 5 (E), 6 (F) y 14 (N) con frutos color rojo, la 8 (H) con color amarillo y la 9 (I) y 11 (K) con color naranja; además, todas con frutos de tamaño muy pequeño (<3 cm). Estas poblaciones con forma de fruto redondeada, excepto las poblaciones 5 redondo alargado, la 9 ligeramente achatada y la 14 oblongo-alargada, se correlacionaron positivamente a las características de flores: longitud de inflorescencia y número de flores por inflorescencia; de plántula: días a emergencia; y de fruto: grados Brix (Anexo 24).

Este grupo tuvo asociación negativa con las características de fruto, debido a que lo integran las poblaciones con los menores tamaños, pesos (1 a 11 g), diámetro polar y ecuatorial (<3.5 cm), grosor de pericarpio y columela (<5 mm) y amplitud de la cicatriz del pedicelo (<3.5 mm), así como número de semillas por fruto (<50).

El grupo III, se estructuró por las poblaciones 7 (G), 10 (J) y 12 (L) con frutos color rojo, tamaño pequeño (3 a 5 cm) y forma achatada. Estas poblaciones se asociaron positivamente a las características de fruto: longitud total de pedicelo y lóculos por fruto, y a características de flores: número de sépalos, número de pétalos y número de estambres; siendo congruentes con la fenología observada en estas poblaciones, las cuales presentaron frutos multiloculares (5 a 10 lóculos) y flores grandes con promedio de 7 sépalos e igual número de pétalos. Además,

estas poblaciones estuvieron representadas siempre dentro del promedio en las otras características cuantitativas.

6.7. Análisis de correspondencia múltiple

El análisis mostró que en las primeras tres dimensiones (Dim1, Dim2 y Dim3) se explicó el 42.06 % de la variabilidad fenotípica total de las 34 características morfo-agronómicas cualitativas, evaluadas en quince poblaciones silvestres y dos variedades testigos, Rio Grande y Floradade. Estas características generaron 105 categorías o niveles, de las cuales, se seleccionaron cuarenta, siendo las más representativas y con mayor contribución a las dos primeras dimensiones. Estas correspondieron a cuatro de plántula, nueve de planta, cuatro de inflorescencia, diecinueve de fruto y cuatro de semilla (Cuadro 5).

Garzón (2011) encontró que la variación total de 36 introducciones de tomate tipo cherry fue explicada con 76.98 % en las tres primeras dimensiones con 16 variables cualitativas. De igual manera, Pacheco *et al.* (2014) con 80.02 % en 102 colectas nativas y silvestres a partir de 27 variables cualitativas. En el presente estudio, el >80 % se alcanzó hasta la octava dimensión.

Las características cualitativas pubescencia de hipocótilo y color de corola fueron descartadas por no presentar poder discriminativo entre las poblaciones, ya que todas muestran pubescencia escasa y pétalos de color amarillo. Álvarez *et al.* (2009) reportaron resultados similares para color de corola y concluyeron que este rasgo no es discriminante. Asimismo, Agudelo *et al.* (2011) concluyeron para color de corola, pero también para pubescencia, color e intensidad del hipocótilo. Sin embargo, en el presente estudio si hubo para las dos últimas características.

La primera dimensión (Dim1) explicó el 17.17 % de la variación y estuvo representada por las características de fruto, principalmente de forma y consistencia, asimismo por la de inflorescencia como paría múltiple y posición proyectado del estilo. La segunda dimensión (Dim2) explicó el 13.02% y representó mayormente a las características de planta relacionadas a hojas y crecimiento, seguidas por las de fruto como tamaño y color, así como los de

plántula relacionados a intensidad del color del hipocótilo. En cambio, la tercera dimensión (Dim3) explicó el 11.81 % de la variación, representando mayormente a las características de fruto relacionadas al color.

Cuadro 5. Características morfo-agronómicas cualitativas con mayor contribución a las dimensiones en diecisiete poblaciones de tomate.

No.	Característica	Código	Dim1	Dim2	Dim3
1	Semilla color amarillo oscuro	aCS	0.6684402	2.0297843	2.0881350
2	Hipocótilo color morado	mCH	1.0915815	3.8292992	3.9739250
3	Hoja tipo papa	ppTH	1.0915815	3.8292992	3.9739250
4	Fruto maduro color morado-naranja	mCFM	1.0915815	3.8292992	3.9739250
5	Fruto inmaduro color verde-morado	vmCF	1.0915815	3.8292992	3.9739250
6	Facilidad intermedia para separar el fruto	iSP	1.2132500	2.2585527	1.0104040
7	Foliolos con margen ondulado	oMF	0.7440139	1.6607922	0.3125941
8	Hipocótilo con coloración de intensidad alta	aIH	0.0089196	3.4410878	1.7452220
9	Inflorescencia terminada en flor	fPV	1.1645026	2.4048689	0.8925949
10	Hábito de crecimiento semideterminado	sHC	1.2628357	1.2238481	0.0333420
11	Planta con tamaño intermedio	iTP	1.2944758	1.4165056	0.1365200
12	Fruto con firmeza alta en estantería (10 ddc)	fFE	1.3976733	0.6467704	0.9987624
13	Fruto con base ligeramente hundida	IFB	0.9743000	0.9013400	0.9734923
14	Fruto con tamaño pequeño	pTF	0.7561467	2.6603956	0.7735197
15	Follaje con densidad intermedia	iDF	0.3894345	1.8728563	0.0277012
16	Semilla color gris	gCS	1.1993170	0.7731033	0.1997073
17	Inflorescencia tipo múltipara	mPI	3.0136009	0.2436924	0.4061571
18	Fruto con firmeza baja en estantería (10 ddc)	dFE	3.8586452	0.0072673	0.3857630
19	Fruto con firmeza intermedia en cosecha	iFC	5.1271148	0.0381446	0.2380655
20	Fruto con sección transversal irregular	iFT	5.8708385	0.2078257	0.1033894
21	Fruto con forma achatado	aFF	5.8708385	0.2078257	0.1033894
22	Fruto con cicatriz irregular del ápice	iCA	5.8708385	0.2078257	0.1033894
23	Fruto con ápice indentado	iFA	5.8708385	0.2078257	0.1033894
24	Estilo con posición ligeramente proyectado	IPE	4.5409601	0.3207046	0.0731773
25	Fruto con apariencia cat-face	pACF	4.5409601	0.3207046	0.0731773
26	Planta con tamaño alto	aTP	1.5123073	1.6146075	0.5467456
27	Fruto con epidermis incolora	iCE	2.0324658	0.3782076	0.8280825
28	Inflorescencia terminada vegetativa y/o flor	aPV	0.9250148	1.9872506	0.6346747
29	Hábito de crecimiento indeterminado	iHC	1.5123073	1.6146075	0.5467456
30	Semillas color marrón oscuro	oCS	0.0386171	2.1683382	1.3910380
31	Pericarpio con coloración de intensidad intermedio	iIP	1.3232791	0.5456709	2.8052140
32	Follaje con densidad alta	aDF	0.4023615	2.0551404	0.0500720
33	Fruto con tamaño muy pequeño	mTF	0.1701719	2.7182851	0.0849405
34	Hipocótilo con coloración de intensidad baja	bIH	0.1710982	3.3076166	0.4143379
35	Semilla con tamaño pequeño	pTS	0.2033297	4.9517903	0.5795743
36	Fruto maduro color amarillo	aCFM	0.1893568	2.1148779	0.0718591
37	Pericarpio color amarillo	aCP	0.4490272	5.2368754	0.4117801
38	Hoja tipo con brotes	bTH	0.3150106	5.5416175	1.2303180
39	Fruto con firmeza intermedia en estantería (10 ddc)	iFE	0.2137655	3.7368020	1.5691100
40	Hipocótilo color verde	vCH	0.1599537	4.2070902	0.6804410
Eigenvalue			0.34833078	0.26523764	0.23946287
Porcentaje de varianza			17.17	13.08	11.81
Porcentaje acumulado de varianza			17.17	30.25	42.06

PCA plot showing the first two dimensions (Dim 1: 17.17%, Dim 2: 13.08%) of the data. The plot displays 18 brain regions (A-L) and 18 variables (aCS, aCFM, aCP, aDF, aFE, aH, aIH, aIP, aPV, aTP, bTH, bTF, cTF, dFE, dTF, eTF, fTF, gTF, hTF, iTF, jTF, kTF, lTF). The regions are grouped into four clusters (I, II, III, IV) based on their position in the plot. Cluster I (green) includes regions J, G, and L. Cluster II (yellow) includes regions P, Q, B, E, N, A, F, and D. Cluster III (purple) includes regions iSP, O, M, and oMF. Cluster IV (blue) includes regions aDF, I, K, mTF, bIH, H, pTS, aCFM, aCP, bTH, iFE, and vCH. The variables are represented by red triangles, with some variables (aCS, aCFM, aCP, aDF, aFE, aH, aIH, aIP, aPV, aTP, bTH, bTF, cTF, dFE, dTF, eTF, fTF, gTF, hTF, iTF, jTF, kTF, lTF) having arrows pointing to their corresponding regions.

El grupo I se conformó por las poblaciones 7 (G), 10 (J) y 12 (L) con características propias de fruto como forma transversal irregular (iFT), consistencia intermedia a la cosecha (iFC) (junto con la 4), consistencia blanda en estantería (dFE) (junto con la 4 y 6), forma achatada (aFF), color de epidermis incolora (iCE) (solo en la 10 y 12 junto con la 8), ápice con cicatriz irregular (iCA), ápice indentado (iFA) y

apariencia cat-face (pACF); así como las de inflorescencia, estilo ligeramente proyectado (IPE) y racimo tipo múltipara (mPI) (junto con la 5 y 14).

El grupo II fue el más diverso y se integró con las poblaciones 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E), 6 (F) y 14 (N), junto con las variedades testigos Rio Grande (P) y Floradade (Q). Este grupo presentó características compartidas con los demás grupos, sin embargo, la más destacada fue la consistencia dura de fruto en estantería 10 ddc (fFE) (excepto en la 4 y 6) compartido con las poblaciones 11, 13 y 15. Además, por las características de hábito de crecimiento semideterminado (SHC) y tamaño de planta intermedio (iTP) en las poblaciones 1, 2, 3, 5 y 6 (55.56 %) (junto con la 13 y 15).

El grupo III fue constituido por las poblaciones 13 (M) y 15 (O) con características propias como frutos color verde-morado en estado inmaduro (vmCF) y morado-naranja en maduro (mCFM), hojas tipo papa (ppTH), hipocótilos color morado (mCH) y semillas color amarillo oscuro (aCS) (solo en la 15).

El grupo IV se estructuró por las poblaciones 8 (H), 9 (I) y 11 (K) con características propias de frutos color amarillo (aCFM) (solo en la 8), pericarpio color amarillo (aCP) (junto con la 1), consistencia intermedia en estantería 10 ddc (iFE) (solo en la 8 y 9), así como de hipocótilos color verde (vCH) (en la 8 y 11) y hojas tipo 'con brotes' (bTH).

Además, hubo poblaciones dentro de cada grupo que compartieron características con otros grupos.

En el grupo combinado I, II y III, las poblaciones 3, 7, 10, 12, 13 y 15 mostraron frutos con tamaño pequeño (pTF); la 2, 3, 4, 7, 10, 12, 13, 15 y Rio Grande follaje de densidad intermedia (iDF); y la 4, 5, 7, 10 y 13 semillas color gris (gCS).

En el grupo combinado I, II y IV, las poblaciones 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 14 tuvieron hábito de crecimiento indeterminado (iHC) y planta con tamaño alto (aTP); la 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 inflorescencias terminadas en vegetativa y/o flor (aPV); y la 6, 8, 9 y 12 semillas de color marrón oscuro (oCS).

En el grupo combinado II y III, las poblaciones 3, 6, 13 y 15 presentaron facilidad intermedia para separar el fruto (iSP); la 5, 6, 13 y 15 foliolos con margen ondulado (oMF); la 10, 13, 15 y Rio Grande hipocótilos con coloración de intensidad alta; y la 2, 3, 5, 13, 14 y 15 junto a los testigos las inflorescencias fueron terminadas en flor (fPV).

En el grupo combinado II, III y IV, las poblaciones 9, 13, 14, 15 y 16 mostraron frutos con bases ligeramente hundidas (IFB), y en la 1, 8, 9, 11, 13 y 15 pericarpio con coloración de intensidad intermedia (iIP).

Por último, en el grupo combinado II y IV, las poblaciones 1, 6, 8, 9 y Floradade mostraron follaje con densidad alta (aDF); la 1, 4, 8, 9 y 11 semillas con tamaño pequeño (pTS); la 4, 5, 6, 8, 9 y 11 hipocótilos con coloración de intensidad baja (bIH) y junto a la 14 tuvieron frutos con tamaños muy pequeños (mTF).

La variabilidad fenotípica de las poblaciones estuvo representada principalmente por características cualitativas de frutos con formas achatadas, redondeadas y alargadas; tamaños muy pequeños, pequeños e intermedios; colores rojos, naranjas, amarillos y morado-naranjas; y consistencias intermedia y dura. Además de inflorescencias uníparas y/o multíparas, terminadas en flor y/o vegetativa y proyección del estilo en posiciones insertas, mismo nivel y exsertas.

Chime *et al.* (2017) encontraron resultados similares. Las características más discriminantes fueron el color de corola, color de fruto inmaduro y maduro, forma y tamaño de fruto, así como forma de sección transversal, base (hombro) y ápice del fruto. De igual manera, Florido *et al.* (2008) con características de frutos como colores desde amarillo a rojo-naranja, formas achatadas y redondeadas; tamaños pequeños e intermedios, consistencia intermedia y blanda; así como de inflorescencias como estilos con posiciones insertas y exsertas, y plantas con hábito de crecimiento indeterminado.

Por su parte, Torrico *et al.* (2014) indicaron que las características cualitativas más discriminantes fueron formas de hombro (base), tipo de hoja, frutos de tamaño pequeño y formas redondeadas. Marín, Rodríguez *et al.* (2016)

observaron que las características más discriminantes fueron las de fruto como formas achatadas, redondeadas y cilíndricas; tamaños pequeños, intermedios y grandes; y colores de fruto en estado inmaduro desde el verde claro hasta el oscuro.

De igual manera, Agudelo *et al.* (2011), Bonilla *et al.* (2014), Ríos *et al.* (2014) y Pacheco *et al.* (2014) sostienen que las características más importantes para discriminar materiales silvestres de tomate son los de fruto. Estos autores encontraron variabilidad en colores amarillos, rosados, naranjas y rojos en diferentes intensidades, así como en formas redondeadas, piriformes, cuadradas, achatadas, cilíndricas y redondo-alargadas.

VII. CONCLUSIONES

Todas las poblaciones silvestres mostraron alta variabilidad fenotípica en las fases vegetativa y reproductiva, siendo las características de fruto e inflorescencia las que más aportaron a su discriminación.

Aproximadamente el 53.33 % de las poblaciones mostraron hábito indeterminado con inflorescencias terminadas en vegetativa y frutos de colores rojo, amarillo y anaranjado, mientras que el 46.67 % fueron semideterminados con inflorescencias terminadas en flor y frutos con iguales colores, más morado-naranjas. Además, las primeras tuvieron mayor precocidad en días a floración y maduración de fruto.

Las formas de fruto más frecuentes fueron las ligeramente achatadas (33.33 %) y redondeadas (33.33 %), seguido de las achatadas (20 %), redondo-alargadas (6.67 %) y oblongo-alargadas (6.67 %). Los tamaños de fruto observados fueron los muy pequeños (46.67 %), pequeños (40 %) y en menor medida los intermedios (13.33 %).

Todas las poblaciones silvestres tuvieron mayores grados Brix que las variedades testigos Floradade y Rio Grande. En general, las plantas indeterminadas mostraron mayores grados (promedio 8.45) que las semi determinadas (promedio 7.52). Los frutos de color rojo tuvieron mayores valores (promedio 8.8) que los naranjas (promedio 8.3), amarillos (promedio 7.5) y morado-naranjas (promedio 5.6), pero con mejor sabor estos últimos. Además, los frutos con tamaño muy pequeño presentaron mayores valores (promedio 8.7) que los intermedios (promedio 7.5) y los pequeños (promedio 7.4).

Se detectaron poblaciones con gran potencial en cuanto a consistencia de fruto, lo que garantiza mayor vida de anaquel, mismas que se podrán utilizar para la mejora genética de las variedades modernas.

Se descubrió un tipo de hoja no reportado en los descriptores para el tomate, al cual se le denominó tipo 'con brotes'. La característica hojas tipo papa mostró asociación con alto contenido de antocianinas.

Las poblaciones se relacionaron según sus características morfo-agronómicas formando cuatro grupos: el primero y más estable fue el conformado por las poblaciones de hábito indeterminado, con frutos tipo arriñonado, de tamaños pequeños a intermedios y de color rojo; el segundo por poblaciones de hábito indeterminado, frutos de tamaños muy pequeños, tipo cherry, cocktail y grape con colores rojos, amarillos y anaranjados; el tercero por poblaciones de hábito semideterminado, con frutos de tamaños pequeños e intermedios, tipo bola y cocktail de colores rojos, amarillos y anaranjados; y el cuarto por poblaciones de hábito semideterminado con frutos de tamaño intermedio, tipo bola y de colores morado-naranjas.

VIII. REFERENCIAS

- Abadie, T., and Berretta, A. (2001). Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. In A. Berretta and M. Rivas (Eds.), *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur* (pp. 89–97). PROCISUR. <http://repiica.iica.int/docs/B2247e/B2247e.pdf>
- Aflitos, S., Schijlen, E., de Jong, H., de Ridder, D., Smit, S., Richard, F., Wang, J., Zhang, G., Li, N., Mao, L., Bakker, F., Dirks, R., Breit, T., Gravendeel, B., Huits, H., Struss, D., Swanson, R., Van Leeuwen, H., Van Ham, R., ... Peters, S. (2014). Exploring genetic variation in the tomato (*Solanum* section *Lycopersicon*) clade by whole-genome sequencing. *The Plant Journal*, 80, 136–148. <https://doi.org/10.1111/tpj.12616>
- Agudelo, A., Ceballos, N., and Orozco, F. (2011). Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* Linnaeus). *Agronomía*, 19(2), 44–53. <https://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2013/20133297549.pdf>
- Ahuja, Y. (1968). Diallel analysis of locule number in the tomato. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 28(3), 323–331. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijgpb&volume=28&issue=3&article=011>
- Alexander, L., and Grierson, D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: A model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2039–2055. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf072>

- Ali, Q., Erkan, M., and Jan, I. (2017). Morphological and agronomic characterization of tomato under field conditions. *Pure and Applied Biology*, 6(3), 1021–1029. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2017.600108>
- Alpert, K., and Tanksley, S. (1996). High-resolution mapping and isolation of a yeast artificial chromosome contig containing *fw2.2*: A major fruit weight quantitative trait locus in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 15503–15507. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.26.15503>
- Álvarez, J., Cortez, H., and García, I. (2009). Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (*Solanaceae*) en tres regiones de Michoacán, México. *PoliBotánica*, 28, 139–159. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000200007
- Ambili, P. (2018). *Systematic, ethnobotanic and pollination biology (commercially important plants) of family Solanaceae of Kerala State* [Doctoral thesis, Mahatma Gandhi University]. <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/273546#>
- Angarita, M. (2012). *Generación de líneas T-DNA de tomate (*Solanum lycopersicum* cv. P73) e identificación de mutantes de inserción* [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14718/tesisUPV3006.pdf>
- Atherton, J., and Harris, G. (1986). Flowering. In J. Atherton and J. Rudich (Eds.), *The tomato crop: a scientific basis for improvement* (pp. 167–200).

Chapman and Hall. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-009-3137-4>

Bai, Y., and Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100, 1085–1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>

Baldwin, E., and Scott, J. (2002). Update on Tomato flavor. In P. Gilreath (Comp.), *Florida tomato institute proceedings* (pp. 7–14). Tomato Institute Program. <https://crec.ifas.ufl.edu/extension/soilipm/pdf/Florida%20Tomato%20Institute%202002.pdf>

Baldwin, E., Nisperos, M., and Moshonas, M. (1991). Quantitative analysis of flavor and other volatiles and for certain constituents of two tomato cultivars during ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2), 265–269. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.2.265>

Baldwin, E., Scott, J., Einstein, M., Malundo, T., Carr, B., Shewfelt, R., and Tandon, K. (1998). Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123, 906–915. <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/123/5/article-p906.xml>

Ballester, A., Molthoff, J., de Vos, R., te Lintel Hekkert, B.; Orzaez, D., Fernández, J., Tripodi, P., Grandillo, S., Martin, C., Heldens, J., Ykema, M., Granell, A., and Bovy, A. (2010). Biochemical and molecular analysis of pink tomatoes: deregulated expression of the gene encoding transcription factor

- SIMYB12 leads to pink tomato fruit color. *Plant Physiology*, 152, 71–84.
<https://doi.org/10.1104/pp.109.147322>
- Baracaldo, A., Carvajal, R., Romero, A., Prieto, A., García, F., Fischer, G., and Miranda, D. (2014). El anegamiento afecta el crecimiento y producción de biomasa en tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado bajo sombrío. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 8(1), 92–102.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2803>
- Barrero, L., and Tanksley, S. (2004). Evaluating the genetic basis of multiple-locule fruit in a broad cross section of tomato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 669–679. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1676-y>
- Bassolino, L., Zhang, Y., Schoonbeek, H.-j., Kiferle, C., Perata, P., and Martin, C. (2013). Accumulation of anthocyanins in tomato skin extends shelf life. *New Phytologist*, 200, 650–655. <https://doi.org/10.1111/nph.12524>
- Bauchet, G., and Causse, M. (2012). Genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicum*) and its wild relatives. In M. Çalışkan (Ed.), *Genetic diversity in plants* (pp. 133–162). InTech.
<https://www.intechopen.com/books/genetic-diversity-in-plants>
- Bauhin, G. (1623). *Pinax theatri botanici*.
<https://books.google.es/books?id=eMhAAAAcAAJandprintsec=frontcoverandhl=es#v=onepageandqandf=false>

Bauhin, J., and Cherler, J. H. (1651). *Historia plantarum universalis* (Tomo III).

<https://bibdigital.rjb.csic.es/viewer/13097?offset=#page=1andviewer=pictureando=bookmarkandn=0andq=>

Benavides, A., Cisne, J., Querol, D., and Morán, J. (2011). Germoplasma de tomate silvestre (*Lycopersicum* spp.) en la reserva de recursos genéticos de Apacunca (RRGA), Chinandega. *La Calera*, 11(17), 33–40.

<https://doi.org/10.5377/calera.v11i17.775>

Bergounoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32, 170–189.

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>

Bioversity International. (1996). *Descriptores para el tomate (Lycopersicon* spp.).

<https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptores-para-el-tomate-lycopersicon-spp/>

Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Díez, M., and Nuez, F. (2012). Variation revealed by SNP genotyping and morphology provides insight into the origin of the tomato. *PLoS ONE*, 7(10), e48198.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048198>

Blanca, J., Montero, J., Sauvage, C., Bauchet, G., Illa, E., Díez, M., Francis, D., Causse, M., van der Knaap, E., and Cañizares, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, 16, 257 [https://doi.org/10.1186/s12864-015-](https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1)

[1444-1](https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1)

- Boada, H., Mejía, J., Ceballos, A., and Orozco, F. (2010). Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía*, 18(2): 59–67.
<https://biblat.unam.mx/ca/revista/agronomia-manizales/articulo/evaluacion-agronomica-de-treinta-introducciones-de-tomate-silvestre-tipo-cereza-solanum-lycopersicum-l>
- Bohner, J., and Bangerth, F. (1988). Cell number, cell size and hormone levels in semi-isogenic mutants of *Lycopersicon pimpinellifolium* differing in fruit size. *Physiologia Plantarum*, 72, 316–320. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1988.tb05839.x>
- Bohs, L., and Olmstead, R. (1997). Phylogenetic relationships in *Solanum* (Solanaceae) based on *ndhF* sequences. *Systematic Botany*, 22(1), 5–17.
https://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Bohs_and_Olmstead-1997.pdf
- Bohs, L., and Olmstead, R. (1999). *Solanum* phylogeny inferred from chloroplast DNA sequence data. In M. Nee, D. Symon, R. Lester and J. Jessop (Eds.), *Solanaceae IV* (pp. 97–110). Royal Botanic Gardens.
https://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Bohs_and_Olmstead_1999_SolanaceaeIV.pdf
- Bonilla, O., Lobato, R., García, J., Cruz, S., Reyes, D., Hernández, E., and Hernández, A. (2014). Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2014.2.129>

Bovy, A., de Vos, R., Kemper, M., Schijlen, E., Almenar, M., Muir, S., Collins, G., Robinson, S., Verhoeyen, M., Hughes, S., Santos, C., and Van Tunen, A. (2002). High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes *LC* and *C1*. *The Plant Cell*, 14, 2509–2526. <https://doi.org/10.1105/tpc.004218>

Bretó, M., Asins, M., and Carbonell, E. (1993). Genetic variability in *Lycopersicon* species and their genetic relationships. *Theoretical and Applied Genetics*, 86, 113–120. <https://doi.org/10.1007/BF00223815>

Broome, C., Terrell, E., and Reveal, J. (1983). Proposal to conserve *Lycopersicon esculentum* Miller as the scientific name of the tomato. *Report of the Tomato Genetics Cooperative*, 33, 55–56. <https://tgc.ifas.ufl.edu/vol33/vol33.pdf>

Brummitt, R. (1988). Report of the Committee for Spermatophyta: 34. Synopsis of decisions Sydney 1981–Berlin 1987. *Taxon*, 37(1), 139–189. <https://doi.org/10.2307/1220944>

Bustamante, J., Vázquez, J., Trujillo, A., Reyes, J., and Escalona, O. (2013). *Manual para el cultivo del jitomate en bioespacio e invernadero*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. https://backend.aprende.sep.gob.mx/media/uploads/proedit/resources/manual_para_el_culti_ebf1d3aa.pdf

Butelli, E., Titta, L., Giorgio, M., Mock, H., Matros, A., Peterek, S., Schijlen, E., Hall, R., Bovy, A., Luo, J., and Martin, C. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnology*, 26, 1301–1308.
<https://doi.org/10.1038/nbt.1506>

Caicedo, A., and Peralta, I. (2013). Basic information about tomatoes and the tomato group. Genetics, Genomics and Breeding of Tomato. In B. Liedl, J. Labate, J. Stommel, A. Slade and C. Kole (Eds.), *Genetics, genomics, and breeding of Tomato* (pp. 1–36). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b14578>

Cambiaso, V., Pereira da Costa, J., Picardi, L., Pratta, G., Zorzoli, R., and Rodríguez, G. (2019). ¿Cómo utilizar la información generada por la secuenciación de genomas vegetales en Agronomía? Un caso con aplicación al mejoramiento genético de tomate. *Agromensajes de la Facultad*, (54), 11–14. <https://fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2019/09/AM54.pdf>

Carrillo, J., and Chávez, J. (2010). Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 1–6.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a3.pdf>

Caruso, G., Broglia, V., and Pocovi, M. (2015). Uso de germoplasma silvestre en el programa de mejora de tomate. *Lhawet*, 4(1), 21–25.

<http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/Lhawet/issue/view/29/showToc>

- Carvajal, M., Cerdá, A., and Martínez, V. (2000). Modification of the response of saline stressed tomato plants by the correction of cation disorders. *Plant Growth Regulation*, 30, 37–47. <https://doi.org/10.1023/A:1006359503099>
- Causse, M., Buret, M., Robini, K., and Verschave, P. (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*, 68(7), 2342–2350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05770.x>
- Causse, M., Zhao, J., Diouf, I., Wang, J., Lefebvre, V., Caromel, B., Génard, M., and Bertin, N. (2020). Genomic designing for climate-smart tomato. In C. Kole (Ed.), *Genomic designing of climate-smart vegetable crops* (pp. 47–159). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97415-6>
- Cebolla, J., Roselló, S., and Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Scientia Horticulturae*, 162, 150–164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.044>
- Chalukova, M., and Manuelyan, H. (1991). Breeding for carotenoid pigments in tomato. In G. Kallo (Ed.), *Genetic improvement of tomato* (pp. 179–195). Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-84275-7>
- Chamarro, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. In F. Nuez (Ed.), *El cultivo del tomate* (pp. 43–91). Ediciones Mundi-Prensa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298619>

- Chávez, J., Carrillo, J., Vera, A., Rodríguez, E., and Lobato, R. (2011). *Utilización actual y potencial del jitomate silvestre mexicano*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000025623>
- Chen, F., Foolad, M., Hyman, J., St. Clair, D., and Beelaman, R. (1999). Mapping of QTLs for lycopene and other fruit traits in a *Lycopersicon esculentum* x *L. pimpinellifolium* cross and comparison of QTLs across tomato species. *Molecular Breeding*, 5, 283–299. <https://doi.org/10.1023/A:1009656910457>
- Chen, K.-Y., and Tanksley, S. (2004). High-resolution mapping and functional analysis of se2.1: A major stigma exertion Quantitative Trait Locus associated with the evolution from allogamy to autogamy in the genus *Lycopersicon*. *Genetics*, 168, 1563–1573. <http://dx.doi.org/10.1534/genetics.103.022558>
- Chen, K.-Y., Cong, B., Wing, R., Vrebalov, J., and Tanksley, S. (2007). Changes in regulation of a transcription factor lead to autogamy in cultivated tomatoes. *Science*, 318(5850), 643–645. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1148428>
- Chetelat, R., and Ji, Y. (2006). Cytogenetics and Evolution. In M. Razdan and A. Mattoo (Eds.), *Genetic improvement of Solanaceous crops* (Vol. 2: Tomato, pp. 77–112). Science Publishers. <https://doi.org/10.1201/b10744>

- Child, A. (1990). A synopsis of *Solanum* subgenus *Potatoe* (G. Don) (D'Arcy) (*Tuberarium* (Dun.) Bitter (s. l.)). *Feddes Repertorium*, 101, 209–235.
<https://doi.org/10.1002/fedr.19901010502>
- Chime, A., Aiwansoba, R., Osawaru, M., and Ogwu, M. (2017). Morphological evaluation of tomato (*Solanum lycopersicum* Linn.) cultivars. *Makara Journal of Science*, 21(2), 97–106. <https://doi.org/10.7454/mss.v21i2.7421>
- Ciruelos, A., de la Torre, R., and González, C. (2007). Parámetros de calidad en el tomate para industria. *La Agricultura y la Ganadería Extremeñas*, 22, 157–169. https://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/contenido_portlets_configurables/servinfo/informe/informe07
- CONABIO. (2009). *Capital natural de México* (Vol. 2: Estado de conservación y tendencias de cambio). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.conabio.gob.mx/pais/edoConservacion.html>
- Cong, B., Liu, J., and Tanksley, S. (2002). Natural alleles at a tomato fruit size quantitative trait locus differ by heterochronic regulatory mutations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(21), 13606–13611.
<https://doi.org/10.1073/pnas.172520999>
- Contreras, E., Arroyo, H., Ayala, J., Sánchez, F., and Moreno, E. (2013). Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(4), 59–70.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.010>

Cox, S. (2000, December 14). *I say tomayto, you say tomahto...* Tomato History.

<http://www.landscapeimagery.com/tomato.html>

Crisanto, A., Vera, A., Chávez, J., and Carrillo, J. (2010). Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 7–13.

https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial_4.7

Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press.

Cuartero, J., and Fernández, R. (1999). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 83–125. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00191-](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00191-5)

[5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00191-5)

D'Ambrosio, C., Stigliani, A., and Giorio, G. (2018). CRISPR/Cas9 editing of carotenoid genes in tomato. *Transgenic Research*, 27, 367–378.

<https://doi.org/10.1007/s11248-018-0079-9>

D'Arcy, W. (1972). Solanaceae studies II: typification of subdivisions of *Solanum*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 59, 262–278.

<https://doi.org/10.2307/2394758>

Darwin, S., Knapp, S., and Peralta, I. (2003). Taxonomy of tomatoes in the Galápagos Islands: native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (Solanaceae). *Systematics and Biodiversity*, 1(1), 29–53.

<https://doi.org/10.1017/S1477200003001026>

- De Candolle, A. (1855). *Géographie botanique raisonnée* (Tome II).
<https://www.biodiversitylibrary.org/item/127613#page/9/mode/1up>
- De Candolle, A. (1884). *Origin of cultivated plants*.
<https://www.biodiversitylibrary.org/item/115769#page/4/mode/1up>
- Delgado, F., Jiménez, A., and Paredes, O. (2000). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(3), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>
- Di Giacomo, M., Luciani, M., Cambiaso, V., Zorzoli, R., Rodríguez, G., and Pereira, J. (2020). Tomato near isogenic lines to unravel the genetic diversity of *S. pimpinellifolium* LA0722 for fruit quality and shelf life breeding. *Euphytica*, 216, 126. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02649-z>
- Díez, M., and Nuez, F. (2008). Tomato. In J. Prohens and F. Nuez (Eds.), *Vegetables II* (pp. 249–323). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9>
- Díez, M., and Picó, B. (2016). Las variedades tradicionales como fuente de variación en mejora. In J. Ruiz, J. Prohens and R. Tierno (Eds.), *Las variedades locales en la mejora genética de plantas* (pp. 61–78). Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. <https://www.euskadi.eus/web01-a2aznscp/es/k75aWebPublicacionesWar/k75aObtenerPublicacionDigital>

[Servlet?R01HNoPortal=trueandN_LIBR=051886andN_EDIC=0001andC_IDIOM=esandFORMATO=.pdf](#)

Domingos, J. (2003). *Análisis de la variabilidad en las especies del subgénero *Eulycopersicon* más relacionadas con el tomate cultivado* [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de València].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10914/tesisUPV1679.pdf>

Eigenbrode, S., Trumble, J., and Jones, R. (1993). Resistance to beet armyworm, hemipterans, and *Liriomyza* spp. in *Lycopersicon* accessions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(4), 525–530.

<https://doi.org/10.21273/JASHS.118.4.525>

Engels, J., Ebert, A., Thormann, I., and De Vicente, M. (2006). Centres of crop diversity and/or origin, genetically modified crops and implications for plant genetic resources conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 1675–1688. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-1215-y>

Esquinas, J. (1981). *Genetic resources of tomatoes and wild relatives*. International Board for Plant Genetic Resources.

<https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/genetic-resources-of-tomatoes-and-wild-relatives-a-global-report/>

FAOSTAT. (2020, March 2). *Datos sobre alimentación y agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- Fernández, A., Yuste, F., Pérez, F., Pineda, B., Moreno, V., Lozano, R., and Angosto, T. (2015). Mutation at the tomato *EXCESSIVE NUMBER OF FLORAL ORGANS* (*ENO*) locus impairs floral meristem development, thus promoting an increased number of floral organs and fruit size. *Plant Science*, 232, 41–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.007>
- Fernández, C., Urdaneta, N., Silva, W., Poliszuk, H., and Marín, M. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 23(2), 188–196.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26610>
- Fernie, A., and Yan, J. (2019). *De Novo* domestication: An alternative route toward new crops for the future. *Molecular Plant*. 12, 615–631.
<https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.03.016>
- Florido, M., Álvarez, M., Lara, R., Plana, D., Caballero, A., Florido, R., Shagarodsky, T., and Moya, C. (2008). análisis de la variabilidad morfoagronómica en la colección de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) conservada *ex situ* en cuba. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 43–48.
<http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/2792>
- Florido, M., Álvarez, M., Lara, R., Plana, D., Varela, M., Shagarodsky, T., and Moya, C. (2002). Caracterización morfoagronómica y bioquímica de 20

- accesiones de tomate (*Lycopersicon* spp.). *Cultivos Tropicales*, 23(4), 61–69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218135008>
- Foolad, M. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007, 64358. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Fornés, R. (2012). *Caracterización de 15 variedades locales de tomate de l'Horta de Lleida* [Doctoral thesis, Universitat de Lleida]. https://urbanisme.paeria.cat/copy_of_serveis-urbans/horta/les-varietats-tradicionals-de-lhorta-de-lleida
- Fortuny, F., Ferrer, M., and Ruenes, M. (2017). Centros de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 121, 7–38. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1289>
- Frary, A., and Doğanlar, S. (2003). Comparative genetics of crop plant domestication and evolution. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 59–69. <http://hdl.handle.net/11147/4683>
- Frary, A., Fritz, L., and Tanksley, S. (2004). A comparative study of the genetic bases of natural variation in tomato leaf, sepal, and petal morphology. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 523–533. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1669-x>
- Frary, A., Nesbitt, T., Frary, A., Grandillo, S., van der Knaap, E., Cong, B., Liu, J. Meller, J., Elber, R., Alpert, K., and Tanksley, S. (2000). *fw2.2*: a

- quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. *Science*, 289, 85–88. <https://doi.org/10.1126/science.289.5476.85>
- Fulton, T., Bucheli, P., Voirol, E., López, J., Pétiard, V., and Tanksley, S. (2002). Quantitative trait loci (QTL) affecting sugars, organic acids and other biochemical properties possibly contributing to flavor, identified in four advanced backcross populations of tomato. *Euphytica*, 127, 163–177. <https://doi.org/10.1023/A:1020209930031>
- Gallego, M. (2016). *Papel de la GA 20-oxidasa en la fructificación del tomate*. [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/61958>
- Gao, L., Gonda, I., Sun, H., Ma, Q., Bao, K., Tieman, D., Burzynski, E., Fish, T., Stromberg, K., Sacks, G., Thannhauser, T., Foolad, M., Diez, M., Blanca, J., Canizares, J., Xu, Y., van der Knaap, E., Huang, S., Klee, H., Giovannoni, J. and Fei, Z. (2019). The tomato pan-genome uncovers new genes and a rare allele regulating fruit flavor. *Nature Genetics*, 51, 1044–1051. <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0410-2>
- Gao, Y., Wei, W., Zhao, X., Tan, X., Fan, Z., Zhang, Y., Jing, Y., Meng, L., Zhu, B., Zhu, H., Chen, J., Jiang, C.-Z., Grierson, D., Luo, Y., and Fu, D.-Q. (2018). A NAC transcription factor, NOR-like1, is a new positive regulator of tomato fruit ripening. *Horticulture Research*, 5, 75. <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0111-5>

- Garzón, J. (2011). *Caracterización y evaluación morfoagronómica de la colección de tomate tipo cherry de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira*. [Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10024>
- Gautier, H., Diakou, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J., Caris, C., and Génard, M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1241–1250. <https://doi.org/10.1021/jf072196t>
- Gebhardt, C., Ritter, E., Barone, A., Debener, T., Walkemeier, B., Schachtschabel, U., Kaufmann, H., Thompson, R., Bonierbale, M., Ganai, M. Tanksley, S., and Salamini, F. (1991). RFLP maps of potato and their alignment with the homoeologous tomato genome. *Theoretical and Applied Genetics*, 83, 49–57. <https://doi.org/10.1007/BF00229225>
- Gentilcore, D. (2010). *Pomodoro!: a history of the tomato in Italy*. Columbia University Press. <https://www.jstor.org/stable/10.7312/gent15206>
- Gómez P., and Camelo A. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 38–43. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100007>
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M., and Srinivasan, M. (2015). Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an

- overview of its analytical perspectives. *Genetics Research International*, 2015, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2015/431487>
- Grainferberg, A., Giustiniani, L., Barsanti, L., and Botrini, L. (2000). Effect of salt-stress on tomato fruit quality. *Colture Protette*, 29(6), 71–80. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20000316396>
- Grandillo, S., and Tanksley, S. (1996). QTL analysis of horticultural traits differentiating the cultivated tomato from the closely related species *Lycopersicon pimpinellifolium*. *Theoretical and Applied Genetics*, 92, 935–951. <https://doi.org/10.1007/BF00224033>
- Grandillo, S., Chetelat, R., Knapp, S., Spooner, D., Peralta, I., Cammareri, M., Perez, O., Tripodi, P., Termolino, P., Chuisano, M., Ercolano, M., Frusciante, L., Monti, L., and Pignone, D. (2011). *Solanum* sect. *Lycopersicon*. In C. Kole (ed.) *Wild crop relatives: genomics and breeding resources vegetables* (pp. 129–216). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0>
- Grandillo, S., Ku, H., and Tanksley, S. (1999). Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*, 99, 978–987. <https://doi.org/10.1007/s001220051405>
- Grierson, D., and Kader, A. (1986). Fruit ripening and quality. In J. Atherton and J. Rudich (Eds.), *The tomato crop: a scientific basis for improvement* (pp. 241–280). Chapman and Hall. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4>

- Hammerschmidt, D., and Franklin, M. (2005). The edible wolf peach. *Translational Research*, 146(4), 251–252. <https://doi.org/10.1016/j.lab.2005.08.010>
- Harlan, J. (1971). Agricultural origins: centers and noncenters. *Science*, 174, 469–474. <https://doi.org/10.1126/science.174.4008.468>
- Hatier, J.-H., and Gould, K. (2009). Anthocyanin function in vegetative organs. In K. Gould, K. Davis and C. Winefield (Eds.), *Anthocyanins biosynthesis, functions, and applications* (pp. 1–20). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77335-3>
- Hawkes, J. (1999). The economic importance of the family Solanaceae. In M. Nee, D. Symon, R. Lester and J. Jessop (Eds.), *Solanaceae IV* (pp. 1–8). Royal Botanic Gardens. https://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Bohs_and_Olmstead_1999_SolanaceaeIV.pdf
- Hay, R., and Walker, A. (1989). *An introduction to the physiology of crop yield*. Longmans Scientific and Technical. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:000183193>
- Herison, C., Sutjahjo, S., Sulastrini, I., Rustikawati, S., and Marwiyah, S. (2018). Genetic diversity analysis in 27 tomato accessions using morphological and molecular markers. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 40(1), 36–44. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v40i1.726>
- Hernández, A., Lobato, R., Cruz, S., García, J., Chávez, J., Hernández, E., and Bonilla, O. (2015). Fruit size QTLs affect in a major proportion the yield in

tomato. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(4), 402–409.

<http://doi.org/10.4067/S0718-58392015000500004>

Hill, J. (1768). *Hortus Kewensis*.

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044102799665andview=1upandseq=174>

Ho, L., and Hewitt, J. (1986). Fruit development. In J. Atherton and J. Rudich (Eds.), *The tomato crop: a scientific basis for improvement* (pp. 201–239).

Chapman and Hall. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4>

Hosmani, P., Flores, M., van de Geest, H., Maumus, F., Bakker, L., Schijlen, E., van Haarst, J., Cordewener, J., Sanchez, G., Peters, S., Fei, Z., Giovannoni, J., Mueller, L., and Saha, S. (2019). An improved *de novo* assembly and annotation of the tomato reference genome using single-molecule sequencing, Hi-C proximity ligation and optical maps. *bioRxiv*, 767764. <https://doi.org/10.1101/767764>

Hovav, R., Chehanovsky, N., Moy, M., Jetter, R., and Schaffer, A. (2007). The identification of a gene (*Cwp1*), silenced during *Solanum* evolution, which causes cuticle microfissuring and dehydration when expressed in tomato fruit. *The Plant Journal*, 52, 627–639. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03265.x>

Hoyt, E. (1992). *Conservando los parientes silvestres de las plantas cultivadas* (E. Forero, Trans.). Wilmington, Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana. (Original work published 1992).

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/1992-010-Es.pdf>

Huang, Z., and van der Knaap, E. (2011). Tomato *fruit weight 11.3* maps close to *fasciated* on the bottom of chromosome 11. *Theoretical and Applied Genetics*, 123, 465–474. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1599-3>

Huerres, C., and Carballo, N. (1988). *Cultivo de tomate y pimiento*. Pueblo y Educación.

Hymowitz, T. (1972). The trans-domestication concept as applied to guar. *Economic Botany*, 26, 49–60. <https://doi.org/10.1007/BF02862261>

INTAGRI. (2017). *Tipos y especialidades de tomate*. Serie Hortalizas Núm. 13. Artículos Técnicos de INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-y-especialidades-de-tomate>

Iqbal, R., Saeed, K., Khan, A., Noreen, I., and Bashir, R. (2019). Tomato (*Lycopersicum esculentum*) fruit improvement through breeding. *Scholar Journal of Applied Sciences and Research*, 2, 21–25. <http://innovationinfo.org/articles/SJASR/SJASR-1-243.pdf>

Isaacson, T., Ronen, G., Zamir, D., and Hirschberg, J. (2002). Cloning of *tangerine* from tomato reveals a carotenoid isomerase essential for the production of β -carotene and xanthophylls in plants. *The Plant Cell*, 14, 333–342. <https://doi.org/10.1105/tpc.010303>

- Ito, Y., and Nakano, T. (2015). Development and regulation of pedicel abscission in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 6, 442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00442>
- Jenkins, J. 1948. The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*, 2(4), 379–392. <https://www.jstor.org/stable/4251913>
- Jones, C., Mes, P., and Myers, J. (2003). Characterization and inheritance of the anthocyanin fruit (*Aft*) tomato. *Journal of Heredity*, 94(6), 449–456. <https://doi.org/10.1093/jhered/esq093>
- Juárez, P., Castro, R., Colinas, T., Ramírez, P., Sandoval, M., Reed, D., Cisneros, L., and King, S. (2009). Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 5–9. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextandpid=S1027-152X2009000400002
- Juárez, P., Castro, R., Colinas, T., Sandoval, M., Ramírez, P., Reed, D., Cisneros, L., and King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(2), 207–216. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.02.013>
- Klee, H., and Tieman, D. (2013). Genetic challenges of flavor improvement in tomato. *Trends in Genetics*, 29(4), 257–262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tig.2012.12.003>

- Klee, H., and Tieman, D. (2018). The genetics of fruit flavour preferences. *Genetics*, 19, 347–356. <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0002-5>
- Knapp, S., and Jarvis, C. (1990). The typification of the names of New World *Solanum* species described by Linnaeus. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 104, 325–367. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1990.tb02227.x>
- Knapp, S., and Peralta, I. (2016). The tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and its botanical relatives. In M. Causse, J. Giovannoni, M. Bouzayen and M. Zouine (Eds.), *The tomato genome* (pp. 7–22). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5>
- Knapp, S., Bohs, L., Nee, N., and Spooner, D. (2004). Solanaceae — a model for linking genomics with biodiversity. *Comparative and Functional Genomics*, 5, 285–291. <https://doi.org/10.1002/cfg.393>
- Krapovickas, A. (2010). La domesticación y el origen de la agricultura. *Bonplandia*, 19(2), 193–199. <https://www.jstor.org/stable/41941373>
- Kumar, P., Acharya, B., Dutta, S., Saha, S., Choudhury, J., and Hazra, P. (2019). Comparative expression of different characters in cultivated tomato and its wild relatives. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8, 3410–3419. <https://www.phytojournal.com/archives/?year=2019andvol=8andissue=3andArticleId=8545>

Labate, J., Grandillo, S., Fulton, T., Muños, S., Caicedo, A., Peralta, I., Ji, Y., Chetelat, R., Scott, J., Gonzalo, M., Francis, D., Yang, W., van der Knaap, E., Baldo, A., Smith, B., Mueller, L., Prince, J., Blanchard, N., Storey, D., ... Causse, M. (2007). Tomato. In C. Kole (Ed.), *Genome mapping and molecular breeding in plants* (Vol. 5: Vegetables, pp. 1–126). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34536-7>

Lara, M. (2017). *Caracterización morfológica y agronómica de una colección de variedades de tomate y pimiento de la comarca de la Vall d'Albaida*. [Master's thesis, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/discover?scope=%2Fandquery=Lara+2017+Caracterizaci%C3%B3n+morfol%C3%B3gica+y+agron%C3%B3mica+de+una+colecci%C3%B3n+de+variedades+de+tomate&submit=Buscar>

Larín, M., Díaz, L., and De Serrano, R. (2018). *Cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf

Lecomte L., Gautier, A., Luciani, A., Duffé, P., Hospital, F., Buret, M., and Causse, M. (2004). Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits. *Acta Horticulturae*, 637, 231–242. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2004.637.28>

Lifschitz, E., and Eshed, Y. (2006). Universal florigenic signals triggered by *FT* homologues regulate growth and flowering cycles in perennial day-neutral

- tomato. *Journal of Experimental Botany*, 57(13), 3405–3414.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erl106>
- Li, F., Xietian, S., Lang, W., Haixu, C., Yan, L., and Yan, Z. (2018b). Heredities on fruit color and pigment content between green and purple fruits in tomato. *Scientia Horticulturae*, 235, 391–396.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.030>
- Li, S., Xu, H., Ju, Z., Cao, D., Zhu, H., Fu, D., Grierson, D., Qin, G., Luo, Y., and Zhu, B. (2018a). The *RIN-MC* fusion of MADS-Box transcription factors has transcriptional activity and modulates expression of many ripening genes. *Plant physiology*, 176, 891–909. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01449>
- Lin, T., Zhu, G., Zhang, J., Xu, X., Yu, Q., Zheng, Z., Zhang, Z., Lun, Y., Li, S., Wang, X., Huang, Z., Li, J., Zhang, C., Wang, T., Zhang, Y., Wang, A., Zhang, T., Lin, K., Li, C., ... Huang, S. (2014). Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. *Nature Genetics*, 46, 1220–1226. <https://doi.org/10.1038/ng.3117>
- Lippman, Z., and Tanksley, S. (2001). Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. Giant Heirloom. *Genetics*, 158(1), 413–422. <https://www.genetics.org/content/158/1/413>
- Lippman, Z., Cohen, O., Álvarez, J., Abu, M., Pekker, I., Paran, I., Eshed, Y., and Zamir, D. (2008). The making of a compound inflorescence in tomato and

related nightshades. *PLoS Biology*, 6, 2424–2435.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060288>

Liu, J., Van Eck, J., Cong, B., and Tanksley, S. (2002). A new class of regulatory genes underlying the cause of pear-shaped tomato fruit. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 13302–13306.
<https://doi.org/10.1073/pnas.162485999>

Lobato, R., Rodríguez, E., Carrillo, J., Chávez, J., Sánchez, P., and Aguilar, A. (2012). *Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate*. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura.
https://www.researchgate.net/publication/260592634_Exploracion_colecta_y_conservacion_de_recursos_geneticos_de_jitomate_avances_en_la_Red_de_Jitomate

Lobo, M., and Jaramillo, J. (1983). Tomate. In J. Jaramillo and M. Lobo (Eds.), *Hortalizas, manual de asistencia técnica No. 28* (pp. 41–67). Instituto Colombiano Agropecuario.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13359/21491_1442.pdf?sequence=1&disAllowed=y

Long, J. (1995). De tomates y jitomates en el siglo XVI. *Estudios de Cultura Náhuatl*, 25, 239–252.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5826581>

- López, J., and Pardo, J. (1996). *La influencia de Francisco Hernández (1515-1587) en la constitución de la botánica y la materia médica modernas*. Universitat de València-CSIC. <http://digital.csic.es/handle/10261/92148>
- López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- López, M. (2010). *La historia de la llegada del tomate a Europa: una primera aproximación*. Traditom. <http://traditom.eu/es/proyecto/historia/>
- Lozano, R., Angosto, T., Gómez, P., Payán, C., Capel, J., Huijser, P., Salinas, J., and Martínez, J. (1998). Tomato flower abnormalities induced by low temperatures are associated with changes of expression of MADS-Box genes. *Plant Physiology*, 117, 91–100. <https://doi.org/10.1104/pp.117.1.91>
- Luckwill, L. (1943a). The genus *Lycopersicon*: an historical, biological, and taxonomic survey of the wild and cultivated tomatoes. *Aberdeen, The University Press*, 120, 1–44.
- Luckwill, L. (1943b). The evolution of the cultivated tomato. *Journal of the Royal Horticultural Society*, 68, 19–25.
- Maldonado, R., Ramírez, P., González, V., Castillo, F., Sandoval, M., Livera, M., and Cruz, N. (2016). Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agro Productividad*, 9(12), 68–75. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/864>

- Manning, K., Tör, M., Poole, M., Hong, Y., Thompson, A., King, G., Giovannoni, J., and Seymour, G. (2006). A naturally occurring epigenetic mutation in a gene encoding an SBP-box transcription factor inhibits tomato fruit ripening. *Nature Genetics*, 38(8), 948–952. <https://doi.org/10.1038/ng1841>
- Marín, E. (2013). *Control de la floración por los genes Tempranillo en respuesta a señales ambientales y endógenas* [Doctoral thesis, Universitat Autònoma de Barcelona]. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2013/hdl_10803_129094/emg1de1.pdf
- Marín, I., Lobato, R., Carrillo, G., Rodríguez, J., García, J., and Velasco, A. (2019). Riqueza alélica de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el mejoramiento genético. *Agrociencia*, 53(3), 355–370. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1789>
- Marín, I., Rodríguez, J., Sahagún, J., Hernández, L., and Velasco, A. (2016). Variación morfológica y molecular de 55 colectas de tomate nativo de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 117–131. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.03.008>
- Marín, V., Gómez, J., and Herrera, E. (2016). Comportamiento agronómico de 12 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), Tisma, Masaya, Nicaragua. *La Calera*, 16(27), 53–60. <https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/251>

- Márquez, C., Cano, P., Chew, Y., Moreno, A., and Rodríguez, N. (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 183–189. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2005.01.001>
- Martí, R. (2018). *Metodologías para la evaluación del contenido en polifenoles en tomate aplicadas al estudio del efecto del genotipo y de estrategias de cultivo respetuosas con el medio ambiente* [Doctoral thesis, Universitat Jaume I]. <http://dx.doi.org/10.6035/14104.2018.168948>
- Martínez, E., Lobato, R., García, J., and Reyes, D. (2016). Heterosis de cruas entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimiento y líneas tipo saladette. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(1), 67–77. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61045279011>
- McCue, G. (1952). The history of the use of the tomato: an annotated bibliography. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 39(4), 289–348. <https://doi.org/10.2307/2399094>
- Medina, C., and Lobo, M. (2001). Variabilidad morfológica en el tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) precursor del tomate cultivado. *Revista Corpoica*, 3(2), 39–50. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/16568>
- Mejía, F. (2020). *Manejo de esquejes enraizados para la producción de jitomate en alta densidad de población, bajo invernadero e hidroponía*. [Unpublished master's thesis, Universidad Autónoma Chapingo].

- Méndez, I., Vera, A., Chávez, J., and Carrillo, J. (2011). Calidad de frutos en variedades nativas mexicanas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *VITAE*, 18(1), 26–32. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/vitae/article/view/6170>
- Mes, P., Boches, P., Myers, J., and Durst, R. (2008). Characterization of tomatoes expressing anthocyanin in the fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 262–269. <https://doi.org/10.21273/133.2.262>
- Miller, J., and Tanksley, S. (1990). RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics*, 80, 437–448. <https://doi.org/10.1007/BF00226743>
- Mohr, W. (1979). Pigment bodies in fruits of *crimson* and *high pigment* lines of tomatoes. *Annals of Botany*, 44, 427–434. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085751>
- Monniaux, M., Pieper, B., McKim, S., Routier, A., Kierzkowski, D., Smith, R., and Hay, A. (2018). The role of *APETALA1* in petal number robustness. *eLife*, 7, e39399. <https://doi.org/10.7554/eLife.39399>
- Morales, M., Espinosa, G., Morales, A., Sánchez, B., Jiménez, A., and Milián, Y. (2014). Caracterización morfológica y evaluación de resistencia a *Fusarium oxysporum* en especies silvestres del género *Solanum* sección *Lycopersicon*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 62–73. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.38259>

- Mounet, F., Lemaire, M., Maucourt, M., Cabasson, C., Giraudel, J.-L., Deborde, C., Lessire, R., Gallusci, P., Bertrand, A., Gaudillère, M., Rothan, C., Rolin, D., and Moing, A. (2007). Quantitative metabolic profiles of tomato flesh and seeds during fruit development: complementary analysis with ANN and PCA. *Metabolomics*, 3(3), 273–288. <https://doi.org/10.1007/s11306-007-0059-1>
- Muller, C. H. (1940). *A revisión of the genus Lycopersicon*. United States Department of Agriculture. <https://books.google.ca/books?id=gK0oAAAAYAAJ>
- Muños, S., Ranc, N., Botton, E., Bérard, A., Rolland, S., Duffé, P., Carretero, Y., Le Paslier, M., Delalande, C., Bouzayen, M., Brunel, G., and Causse, M. (2011). Increase in tomato locule number is controlled by two single-nucleotide polymorphisms located near *WUSCHEL*. *Plant Physiology*, 156(4), 2244–2254. <https://doi.org/10.1104/pp.111.173997>
- Muñoz, J. (2009). Manejo del cultivo de tomate en invernadero. In J. Castellanos (Ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero* (pp. 45–92). Intagri.
- Nakano, T., Fujisawa, M., Shima, Y., and Ito, Y. (2013). Expression profiling of tomato pre-abscission pedicels provides insights into abscission zone properties including competence to respond to abscission signals. *BMC Plant Biology*, 13, 40. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/40>
- Nesbitt, T., and Tanksley, S. (2002). Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implications for the evolution of fruit size in the domestication

of cultivated tomatoes. *Genetics*, 162(1), 365–379.

<https://www.genetics.org/content/162/1/365.long>

Nuez, F. (1995). Desarrollo de nuevos cultivares. In F. Nuez (Ed.), *El cultivo del tomate* (pp. 625–669). Mundi-Prensa.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298619>

Obón, C., and Rivera, D. (2005). Origen y conservación de las plantas cultivadas: la agrobiodiversidad en la cuenca del río Segura (España). *Recursos Rurais*, 1(1), 51–59. <https://doi.org/10.15304/rr.id5340>

Olmstead, R., and Palmer, J. (1997). Implications for the phylogeny, classification, and biogeography of *Solanum* from cpDNA restriction site variation. *Systematic Botany*, 22(1), 19–20.

<https://depts.washington.edu/phylo/OlmsteadPubs/Olmstead%2526Palmer.1997.pdf>

Olmstead, R., Bohs, L., Migid, H., Santiago, E., Garcia, V., and Collier, S. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*, 57(4), 1159–1181.

<https://doi.org/10.1002/tax.574010>

Pacheco, I., Chávez, J., and Carrillo, J. (2014). Relación entre variación ecológica-orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1), 28–39.

https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20vol%201_1_2014/RMAE_04-2014_Extenso.pdf

- Palmer, J., and Zamir, D. (1982). Chloroplast DNA evolution and phylogenetic relationships in *Lycopersicon*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(6), 5006–5010. <https://doi.org/10.1073/pnas.79.16.5006>
- Paran, I., and van der Knaap, E. (2007). Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(14), 3841–3852. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm257>
- Pardo, J., and López, M. (1993). *Las primeras noticias sobre plantas americanas en las relaciones de viajes y crónicas de Indias (1493-1553)*. Universitat de València-CSIC. <http://digital.csic.es/handle/10261/91333>
- Park, S., Lee, Y., Kang, M., and Bae, J. (2016). Revisiting domestication to revitalize crop improvement: the florigen revolution. *Plant Breeding and Biotechnology*, 4(4), 387–397. <https://doi.org/10.9787/PBB.2016.4.4.387>
- Passam, H., Karapanos, I., Bebeli, P., and Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1, 1–21. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0706/EJPSB_1\(1\)/EJPSB_1\(1\)1-21o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0706/EJPSB_1(1)/EJPSB_1(1)1-21o.pdf)
- Patiño, F., Cadima, X., Condori, B., and Crespo, M. (2015). Avances en la conservación de recursos genéticos de tomate en Bolivia (pp. 126-131). In A. Gandarillas and R. Oros (Eds.), *Informe Compendio 2011-2014*.

<https://www.proinpa.org/publico/compendio/files/res/downloads/book.pdf>

Peralta, I., and Spooner, D. (2000). Classification of wild tomatoes: a review.

Kurtziana, 28 (1), 45–54.

<https://vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/Classification%20of%20wild%20tomatoes%20a%20review.pdf>

Peralta, I., and Spooner, D. (2001). Granule-bound starch synthase (GBSSI) gene

phylogeny of wild tomatoes (*Solanum* L. Section *Lycopersicon* [Mill.]

Wettst. Subsection *Lycopersicon*). *American Journal of Botany*, 88(10),

1888–1902. <https://doi.org/10.2307/3558365>

Peralta, I., and Spooner, D. (2005) Morphological characterization and

relationships of wild tomatoes (*Solanum* L. sect. *Lycopersicon*).

Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden,

104, 227–257.

<https://vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/Peralta%20and%20Spooner%20D%27Arcy%20volume.pdf>

Peralta, I., and Spooner, D. (2007) History, origin and early cultivation of tomato

(Solanaceae). In M. Razdan y A. Mattoo (Eds.), *Genetic Improvement of*

Solanaceous Crops (Vol. 2: Tomato, pp. 1–24). Science Publishers.

<https://vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/Peralta%20and%20Spooner%20vol.2.pdf>

- Peralta, I., Knapp, S., and Spooner, D. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *TGC Report*, 56, 6–12.
<https://www.researchgate.net/publication/43256029>
- Peralta, I., Spooner, D., and Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs*, 84, 1–186.
<https://doi.org/10.2307/25027972>
- Pereira, J., Martínez, V., Rodríguez, G., Pratta, G., and Zorzoli, R. (2009). Influencia de genes exóticos sobre la vida en estantería y el peso del fruto de tomate. *Agriscientia*, 26(1), 7–13.
<https://doi.org/10.31047/1668.298x.v26.n1.2748>
- Pérez, F., Balibrea, M., Santa Cruz, A., and Estañ, M. (1996). Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant and Soil*, 180, 251–257. <https://doi.org/10.1007/BF00015308>
- Petric, T., Kiferle, C., Perata, P., and Gonzali, S. (2018). Optimizing shelf life conditions for anthocyanin-rich tomatoes. *Plos ONE*, 13(10), e0205650.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205650>
- Piso, W., and Markgraf, G. (1648). *Historia naturalis Brasiliae*. Hackium and Elizevirium.
<http://www.illustratedgarden.org/mobot/rarebooks/thumbnail.asp?relation=QH117P571648andthumbnail=1>

- Poyatos, S., Quinet, M., Ortíz, A., Bretones, S., Yuste, F., and Lozano, R. (2016). Genetic interactions of the *unfinished flower development (ufd)* mutant support a significant role do the tomato *UFD* gene in regulating floral organogenesis. *Plant Reproduction*, 29, 227–238. <https://doi.org/10.1007/s00497-016-0286-6>
- Pratta, G., Cánepa, L., Zorzoli, R., and Picardi, L. (2003). Efecto del germoplasma silvestre sobre caracteres de interés agronómicos en híbridos intra e interespecíficos del género *Lycopersicon*. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*, 3, 13–21. <https://core.ac.uk/download/pdf/61695652.pdf>
- Qiu, Z., Wang, H., Li, D., Yu, B., Hui, Q., Yan, S., Huang, Z., Cui, X., and Cao, B. (2019). Identification of candidate HY5-dependent and -independent regulators of anthocyanin biosynthesis in tomato. *Plant and Cell Physiology*, 60(3), 643–656. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy236>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste, F., Blanchard, R., Bigot, S., Martinez, J., and Lutts, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Ramos, A., Carballo, A., Hernández, A., Corona, T., and Sandoval, M. (2006). Caracterización de líneas de jitomate en hidroponía. *Agricultura Técnica en México*, 32(2), 213–223. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60832209>

- Ranc, N., Muños, S., Santoni, S., and Causse, M. (2008). A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (Solanaceae). *BMC Plant Biology*, 8, 130.
<https://doi.org/10.1186/1471-2229-8-130>
- Rao, V., and Riley, K. (1994). The use of biotechnology for the conservation and utilization of plant genetic resources. *PGR Newsletter*, 97, 1–17.
<https://www.researchgate.net/publication/286676492>
- Razifard, H., Ramos, A., Della, A., Bodary, C., Goetz, E., Manser, E., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., van der Knaap, E., and Caicedo, A. (2020). Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. *Molecular Biology and Evolution*, 37, 1118–1132.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msz297>
- Rick, C. (1958). The role of natural hybridization in the derivation of cultivated tomatoes of western South America. *Economic Botany*, 12, 346–367.
<https://doi.org/10.1007/BF02860023>
- Rick, C. (1973). Potential genetic resources in tomato species: clues from observations in native habitats. In A. Srb (Ed.), *Genes, enzymes, and populations* (Vol: 2, pp. 255–269). Plenum Press.
https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2880-3_17
- Rick, C. (1978). The tomato. *Scientific American*, 239(2), 76–89.
<http://www.jstor.org/stable/24960356>

- Rick, C. (1979). Biosystematic studies in *Lycopersicon* and closely related species of *Solanum*. In J. Hawkes, R. Lester and A. Skelding (Eds.), *The biology and taxonomy of the Solanaceae* (pp. 667–678). Academic Press, <https://www.worldcat.org/title/biology-and-taxonomy-of-the-solanaceae/oclc/5942468>
- Rick, C. (1982). The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In I. Vasil, W. Scowcroft and K. Frey (Eds.), *Plant improvement and somatic cell genetics* (pp. 1–28). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-714980-6.50006-1>
- Rick, C. (1983a). Evolution of mating systems. In L. Gottlieb and S. Jain (Eds.), *Plant evolutionary biology* (pp. 133–147). Chapman and Hall. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1207-6_6
- Rick, C. (1983b). Genetic variability in tomato species. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1, 81–87. <https://doi.org/10.1007/BF02680303>
- Rick, C. (1988). Tomato-like nightshades: affinities, autoecology, and breeders' opportunities. *Economic Botany*, 42(2), 145–154. <http://www.jstor.org/stable/4255061>
- Rick, C., and Butler, L. (1956). Cytogenetics of the tomato. *Advances in Genetics*, 8, 267–382. [https://doi.org/10.1016/s0065-2660\(08\)60504-0](https://doi.org/10.1016/s0065-2660(08)60504-0)
- Rick, C., and Dempsey, W. (1969). Position of the stigma in relation to fruit setting of the tomato. *Botanical Gazette*, 130(3), 180–186. <https://doi.org/10.1086/336488>

- Rick, C., and Fobes, J. (1975). Allozyme variation in the cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 102(6), 376–384. <https://doi.org/10.2307/2484764>
- Rick, C., and Holle, M. (1990). Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*: genetic variation and its evolutionary significance. *Economic Botany*, 44, 69–78. <https://doi.org/10.1007/BF02860476>
- Rick, C., and Lamm, R. (1955). Biosystematic studies on the status of *Lycopersicon chilense*. *American Journal of Botany*, 42(7), 663–675. <https://doi.org/10.2307/2485327>
- Rick, C., and Robinson, J. (1951). Defects of floral structure affecting fruitfulness in *Lycopersicon esculentum*. *American Journal of Botany*, 38(8), 639–652. <https://doi.org/10.2307/2437776>
- Rick, C., and Tanksley, S. (1981). Genetic variation in *Solanum pennellii*: comparisons with two other sympatric tomato species. *Plant Systematics and Evolution*, 139, 11–45. <https://doi.org/10.1007/BF00983920>
- Rick, C., Holle, M., and Thorp, R. (1978). Rates of cross-pollination in *Lycopersicon pimpinellifolium*: impact of genetic variation in floral characters. *Plant Systematics and Evolution*, 129, 31–44. <https://www.jstor.org/stable/23642187>
- Ríos, O., Chávez, J., Carrillo, J., and Vera, A. (2014). Variación agromorfológica y cambios biofísicos poscosecha en frutos de tomate (*Solanum*

lycopersicum L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(2), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837658006>

Rodríguez, A., Florido, M., Dueñas, F., Muñoz, L., Hanson, P., and Álvarez, M. (2017). Caracterización morfoagronómica en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con resistencia a begomovirus. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 70–79. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstractandpid=S0258-59362017000200009

Rodríguez, E., Ruiz, J., Lépez, R., and Pimienta, E. (2018). Adaptación climática y edáfica de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* en el Occidente de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 4(12), 1–9. http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol4num12/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V4_N12.pdf

Rodríguez, E., Vargas, D., Sánchez, J., Lépez, R., Rodríguez, A., Ruiz, J., Puente, P., and Miranda, R. (2009). Etnobotánica de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* en el occidente de México. *Naturaleza y Desarrollo*, 7(2), 45–57. <https://biblat.unam.mx/es/revista/naturaleza-y-desarrollo/articulo/etnobotanica-de-solanum-lycopersicum-var-cerasiforme-en-el-occidente-de-mexico>

Rodríguez, G., Muños, S., Anderson, C., Sim, S.-C., Michel, A., Causse, M., McSpadden, B., Francis, D., and van der Knaap, E. (2011). Distribution of

SUN, *OVATE*, *LC*, and *FAS* in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology*, 156, 275–285.
<https://doi.org/10.1104/pp.110.167577>

Rodríguez, G., Pratta, G., Zorzoli, R., and Picardi, L. (2005). Caracterización de la generación segregante de un híbrido de tomate con genes *nor* y silvestres. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(1), 41–46.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000100006>

Rodríguez, G., Pratta, G., Zorzoli, R., and Picardi, L. (2010). Factores genéticos que afectan la calidad del fruto de tomate. In *Anales* (Tome LXIV, pp. 451–463). Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27620>

Rodríguez, S., Prohens, J., Roselló, J., and Nuez, F. (2005). “Heirloom” varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(4), 453–460. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511959>

Rodríguez, W. (2006). Interceptación de la luz y fotosíntesis del dosel. In E. Villalobos (Ed.), *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales* (pp. 1–35). Universidad de Costa Rica.
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/InterceptacinLuzfotosntesisdosel.pdf>

Ronning, C. (2013). Role of bioinformatics as a tool in tomato research. In B. Liedl, J. Labate, J. Stommel, A. Slade and C. Kole (Eds.), *Genetics, genomics*,

and breeding of tomato (pp. 428–458). CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/b14578>

Rothan, C., Diouf, I., and Causse, M. (2019). Trait discovery and editing in tomato.

The Plant Journal, 97, 73–90. <https://doi.org/10.1111/tpj.14152>

Roxburgh, W. (1832). *Flora indica*. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.590>

Saladié, M., Matas, A., Isaacson, T., Jenks, M., Goodwin, S., Niklas, K., Xiaolin, R., Labavitch, J., Shackel, K., Fernie, A., Lytovchenko, A., O'Neill, M., Watkins, C., and Rose, J. (2007). A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology*, 144, 1012–1028. <https://doi.org/10.1104/pp.107.097477>

San Martín, C., Ordaz, V., Sánchez, P., Beryl, M., and Borges, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254.

<https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/950>

Sánchez, F. (1997). *Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo* [Doctoral thesis, Colegio de Postgraduados].

Sánchez, F., and Escalante, E. 1989. *Hidroponía: un sistema de producción de plantas* (3rd ed.). Universidad Autónoma Chapingo.

Sánchez, F., Moreno, E., Coatzín, R., Colinas, M., and Peña, A. (2010). Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 207–

214. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000300009

Santiago, J., Mendoza, M., and Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 59–65.

http://www.mag.go.cr/rev_meso/v09n01_059.pdf

Sapir, M., Oren, M., Ovadia, R., Reuveni, M., Evenor, D., Tadmor, Y., Nahon, S., Shlomo, H., Chen, L., Meir, A., and Levin, I. (2008). Molecular aspects of anthocyanin fruit tomato in relation to *high pigment-1*. *Journal of Heredity*, 99(3), 292–303. <https://doi.org/10.1093/jhered/esm128>

Schouten, H., Tikunov, Y., Verkerke, W., Finkers, R., Bovy, A., Bai, Y., and Visser, R. (2019). Breeding has increased the diversity of cultivated tomato in the Netherlands. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1606.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01606>

Shagarodsky, T., Fuentes, V., Cristóbal, R., and Lago, E. (2005). Valor descriptivo de la forma de la hoja y de la estructura floral del tomate en la caracterización del germoplasma de *Lycopersicon* spp. *Revista Agrotecnia de Cuba*, 29, 335–357.

http://www.actaf.co.cu/revistas/agrotecnia_05_2008/agrot2005-1/agrotec1-2005.html

Sharma, L., Ramesh, K., Paul, V., and Pandey, R. (2020). Ripening index: a better parameter for colour based assessment of ripening behaviour of tomato

fruits. *Plant Physiology Reports*, 25, 17–177.

<https://doi.org/10.1007/s40502-020-00499-4>

SIAP (2021, March 20). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
[http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)

[do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)

Silva, D., Kevei, Z., Kurowski, T., De Noronha, M., Mohareb, F., Boiteux, L., and Thompson, A. (2018). *Bifurcate flower truss*: a novel locus controlling inflorescence branching in tomato contains a defective MAP kinase gene. *Journal of Experimental Botany*, 69(10), 2581–2593.

<https://doi.org/10.1093/jxb/ery076>

Soler, S., Figàs, M., Díez, M., Granell, A., and Prohens, J. (2016). Tomate. In J. Ruiz, J. Prohens and R. Tierno (Eds.), *Las variedades locales en la mejora genética de plantas* (pp. 381–403). Sociedad Española de Ciencias Hortícolas.

https://www.euskadi.eus/web01-a2aznscp/es/k75aWebPublicacionesWar/k75aObtenerPublicacionDigitalServlet?R01HNoPortal=trueandN_LIBR=051886andN_EDIC=0001andC_IDIOM=esandFORMATO=.pdf

Spooner, D., Anderson, G., and Jansen, R. (1993). Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (Solanaceae). *American Journal of Botany*, 80(6), 676–688.

<https://doi.org/10.2307/2445438>

- Spooner, D., Peralta, I., and Knapp, S. (2005). Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [*Solanum* L. Section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.]. *Taxon*, 54(1), 43–61.
<https://doi.org/10.2307/25065301>
- Stevens, M., and Rick, C. (1986). Genetics and breeding. In J. Atherton and J. Rudich (Eds.), *The tomato crop: a scientific basis for improvement* (pp. 35–109). Chapman and Hall. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-009-3137-4>
- Stommel, J. (2007) Genetic enhancement of tomato fruit nutritive value. In M. Razdan and A. Mattoo (Eds.), *Genetic improvement of Solanaceous crops* (Vol. 2: Tomato, pp. 193–238). Science Publishers.
<https://doi.org/10.1201/b10744>
- Szymkowiak, E., and Irish, E. (1999). Interactions between *jointless* and Wild-Type tomato tissues during development of the pedicel abscission zone and the inflorescence meristem. *The Plant Cell*, 11, 159–175.
<https://doi.org/10.1105/tpc.11.2.159>
- Talledo, J. (2019). La polémica en la biología del siglo XX N. I. Vavílov y T. D. Lysenko. *Pluriversidad*, 3, 219–242.
<https://doi.org/10.31381/pluriversidad.v3i3>
- Tamburino, R., Sannino, L., Cafasso, D., Cantarella, C., Orrù, L., Cardi, T., Cozzolino, S. D'Agostino, N., and Scotti, N. (2020). Cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) suffered a severe cytoplasmic bottleneck during

domestication: implications from chloroplast genomes. *Plants*, 9(11), 1443.

<https://doi.org/10.3390/plants9111443>

Tanksley, S. (2004). The genetic, developmental, and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *The Plant Cell*, 16, 181–189.

<https://doi.org/10.1105/tpc.018119>

Tanksley, S., and McCouch, S. (1997). Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277, 1063–1066.

<https://doi.org/10.1126/science.277.5329.1063>

Tanksley, S., Grandillo, S., Fulton, T., Zamir, D., Eshed, Y., Petiard, V., López, J., and Beck, T. (1996). Advanced backcross QTL analysis in a cross between an elite processing line of tomato and its wild relative *L. pimpinellifolium*.

Theoretical and Applied Genetics, 92, 213–224.

<https://doi.org/10.1007/BF00223378>

Tengö, M., and Belfrage, K. (2004). Local management practices for dealing with change and uncertainty: a cross-scale comparison of cases in Sweden and

Tanzania. *Ecology and Society*, 9(3), 4. [https://doi.org/10.5751/ES-00672-](https://doi.org/10.5751/ES-00672-090304)

[090304](https://doi.org/10.5751/ES-00672-090304)

The Tomato Genome Consortium. (2012). The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. *Nature*, 485, 635–641.

<https://doi.org/10.1038/nature11119>

Thompson, A., Tor, M., Barry, C., Vrebalov, J., Orfila, C., Jarvis, M., Giovannoni, J., Grierson, D., and Seymour, G. (1999). Molecular and genetic

- characterization of a novel pleiotropic tomato-ripening mutant. *Plant Physiology*, 120, 383–389. <https://doi.org/10.1104/pp.120.2.383>
- Thouet, J., Quinet, M., Lutts, S., Kinet, J.-M., and Périlleux, C. (2012). Repression of floral meristem fate is crucial in shaping tomato inflorescence. *PLoS ONE*, 7(2), e31096. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031096>
- Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L., Blandon, A., Bies, D., Odabasi, A., Rodríguez, G., van der Knaap, E., Taylor, M., Goulet, C., Mageroy, M., Snyder, D., Colquhoun, T., Moskowitz, H., Clark, D., Sims, C., Bartoshuk, L., and Klee, H. (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology*, 22, 1035–1039. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.04.016>
- Tieman, D., Zhu, G., Resende Jr., M., Lin, T., Nguyen, C., Bies, D., Rambla, J., Ortiz, K., Taylor, M., Zhang, B., Ikeda, H., Liu, Z., Fisher, J., Zemach, I., Monforte, A., Zamir, D., Granell, A., Kirst, M., and Huang, S. (2017). A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*, 355, 391–394. <https://doi.org/10.1126/science.aal1556>
- Tochihuitl, G., Saucedo, C., Arellano, G., García, C., and Suárez, J. (2017). Evaluación de la calidad de frutos de jitomate de cuatro poblaciones nativas y un híbrido comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 8(1), 47–52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81351597007>
- Tolley, H. (1939). *The farm outlook for 1940*. Bureau of Agricultural Economics, United States Department of Agriculture.

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uva.x030354102andview=1upandseq=3>

Torricon, A., Crespo, M., and Rojas, J. (2014). Estudio morfológico y molecular de la diversidad genética del tomate silvestre (*Solanum* spp.) boliviano. *Revista de Agricultura*, 55, 20–28. <http://www.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2018/08/Revista-de-Agricultura-UMSS-No55.pdf>

TRADE MAP (2020, March 2). *Datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales*. Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas.

https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry.aspx?nvpm=3%7c484%7c%7c%7c%7c0702%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c%7c2%7c1%7c%7c1

Urrestarazu, M. (2000). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. In M. Urrestarazu (Coord.), *Manual de cultivo sin suelo*. Universidad de Almería.

Valentinuz, O., and Tollenaar, M. (2006). Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. *Agronomy Journal*, 98, 94–99. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0111>

Van der Knaap, E., and Tanksley, S. (2001). Identification and characterization of a novel locus controlling early fruit development in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*, 103, 353–358. <https://doi.org/10.1007/s001220100623>

Van der Knaap, E., and Tanksley, S. (2003). The making of a bell pepper-shaped tomato fruit: identification of loci controlling fruit morphology in yellow

stuffer tomato. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 139–147.

<https://doi.org/10.1007/s00122-003-1224-1>

Van der Knaap, E., Chakrabarti, M., Chu, Y., Clevenger, J., Illa, E., Huang, Z., Keyhaninejad, N., Mu, Q., Sun, L., Wang, Y., and Wu, S. (2014). What lies beyond the eye: the molecular mechanisms regulating tomato fruit weight and shape. *Frontiers in Plant Science*, 5, 227.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00227>

Vargas, D., Rodríguez, E., Sánchez, J., Montes, S., Ruiz, A., Lépiz, R., Puente, P., and Martínez, J. (2005). Adaptación climática de *Lycopersicum* en el occidente de México. In S. Carvajal and E. Pimienta (Eds.), *Avances en la investigación científica en el CUCBA* (pp. 207–210). Universidad de Guadalajara.

http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2005/Agronomia/VargasCanelaDiego/VargasCanelaDiego.pdf

Villalon, B., and Bryan, H. (1970). Evaluation of fruit-pedicel separation of fresh market tomato varieties for mechanical harvest. *Florida State Horticultural Society*, 3747, 127–130.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-Fruit-Pedicel-Separation-of-Fresh-for-Villal%C3%B3n-Bryan/ee0890128fc0fc1a5ebbfab6f7e914dabab47642>

Villand, J., Skroch, P., Lai, T., Hanson, P., Kuo, C., and Nienhuis, J. (1998). Genetic variation among tomato accessions from primary and secondary

centers of diversity. *Crop Science*, 38, 1339–1347.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800050032x>

Víquez, A. (2015). *Exploiting wild relatives of S. lycopersicum for quality traits* [Doctoral thesis, Wageningen University].

<https://library.wur.nl/WebQuery/wda/2098479>

Vosters, S., Jewell, C., Sherman, N., Einterz, F., Blackman, B., and Moyle, L.

(2014). The timing of molecular and morphological changes underlying reproductive transitions in wild tomatoes (*Solanum* sect. *Lycopersicon*).

Molecular Ecology, 23, 1965–1978. <https://doi.org/10.1111/mec.12708>

Vrebalov, J., Ruezinsky, D., Padmanabhan, V., White, R., Medrano, D., Drake,

R., Schuch, W., and Giovannoni, J. (2002). A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (*Rin*) locus. *Science*, 296,

343–346. <https://doi.org/10.1126/science.1068181>

Wang, Q., Hasson, A., Rossmann, S., and Theres, K. (2016). *Divide et impera*:

boundaries shape the plant body and initiate new meristems. *New*

Phytologist, 209, 485–498. <https://doi.org/10.1111/nph.13641>

Weese, T., and Bohs, L. (2007). A three-gene phylogeny of the genus *Solanum*

(Solanaceae). *Systematic Botany*, 32(2), 445–463.

<https://doi.org/10.1600/036364407781179671>

Williams, C., and St. Clair, D. (1993). Phenetic relationships and levels of

variability detected by restriction fragment length polymorphism and

random amplified polymorphic DNA análisis of cultivated and wild

- accessions of *Lycopersicon esculentum*. *Genome*, 36(3), 619–630.
<https://doi.org/10.1139/g93-083>
- Willits, M., Kramer, C., Prata, R., De Luca, V., Potter, B., Steffens, J., and Graser, G. (2005). Utilization of the genetic resources of wild species to create a nontransgenic high flavonoid tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1231–1236. <https://doi.org/10.1021/jf049355i>
- Yang, Z., Li, G., Tieman, D., and Zhu, G. (2019). Genomics approaches to domestication studies of horticultural crops. *Horticultural Plant Journal*, 5(6), 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.11.001>
- Yanokuchi, Y., Fujino, M., Ishii, T., and Uchiumi, T. (1994). Inheritance of the sideshootless character and the length of pedicel in cherry tomatoes. *Tohoku Agricultural Research*, 47, 277–278.
<http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/to-noken/DB/DATA/047/047-277.pdf>
- Young, K., Ulloa, C., Luteyn, J., and Knapp, S. (2002). Plant evolution and endemism in Andean South America: an introduction. *The Botanical Review*, 68(1), 4–21. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0424:E\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0424:E]2.0.CO;2)
- Young, P., and MacArthur, J. (1947). *Bulletin No. 698: Horticultural characters of tomatoes*. Agricultural and Mechanical College of Texas.
<https://core.ac.uk/download/pdf/4274323.pdf>
- Yousef, G., and Juvik, J. (2001). Evaluation of breeding utility of a chromosomal segment from *Lycopersicon chmielewskii* that enhances cultivated tomato

- soluble solids. *Theoretical and Applied Genetics*, 103, 1022–1027.
<https://doi.org/10.1007/s001220100718>
- Yuan, X.-Y., Wang, R.-H., Zhao, X.-D., Luo, Y.-B., and Fu, D.-Q. (2016). Role of the tomato *Non-Ripening* mutation in regulating fruit quality elucidated using iTRAQ protein profile analysis. *PLoS ONE*, 11(10), e0164335.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164335>
- Yurtseven, E., Kesmez, G., and Ünlükara, A. (2005). The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculentum*). *Agricultural Water Management*, 78, 128–135.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.018>
- Yuste, F., Fernández, A., Pineda, B., Bretones, S., Ortiz, A., García, B., Müller, N., Angosto, T., Capela, J., Moreno, V., Jiménez, J., and Lozano, R. (2020). *ENO* regulates tomato fruit size through the floral meristem development network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(14), 8187–8195. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913688117>
- Zhang, Y., Butelli, E., De Stefano, R., Schoonbeek, H.-j., Magusin, A., Pagliarani, C., Wellner, N., Hill, L., Orzaez, D., Granell, A., Jones, J., and Martin, C. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Current Biology*, 23, 1094–1100. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.072>

- Zhang, Y., Li, Y., Li, W., Hu, Z., Yu, X., Tu, Y., Zhang, M., Huang, J., and Chen, G. (2019). Metabolic and molecular analysis of nonuniform anthocyanin pigmentation in tomato fruit under high light. *Horticulture Research*, 6, 56. <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0138-2>
- Zhang, Z., and Zhang, Y. (2019). A transcriptional network makes normal tomato fruit not purple. *Molecular Plant*, 13, 11–13. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.12.012>
- Zhu, M., Chen, G., Zhou, S., Tu, Y., Wang, Y., Dong, T., and Hu, Z. (2014). A new tomato NAC (NAM/ATAF1/2/CUC2) transcription factor, SINAC4, functions as a positive regulator of fruit ripening and carotenoid accumulation. *Plant and Cell Physiology*, 55(1), 119–135. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct162>
- Zorzoli, R., Pratta, G., and Picardi, L. (2000). Variabilidad genética para la vida postcosecha y el peso de los frutos en tomate para familias F₃ de un híbrido interespecífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(12), 2423–2427. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200013>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en genotipos de tomate.

No.	Cualitativas	No.	Cuantitativas
1	Color del hipocótilo	1	Días a emergencia de plántulas
2	Intensidad del color del hipocótilo	2	Longitud del segundo simpodio
3	Densidad pubesc. del hipocótilo	3	Diámetro del segundo simpodio
4	Densidad pubesc. del tallo	4	Número de hojas por simpodio
5	Antocianinas en tallo	5	Número de folíolos por hoja
6	Tamaño de la planta	6	Longitud de hoja
7	Hábito de crecimiento	7	Amplitud de hoja
8	Densidad de follaje	8	Altura al primer racimo
9	Posición de las hojas	9	Días a floración
10	Tipo de hoja	10	Número de flores por inflorescencia
11	Margen de folíolos	11	Longitud total de la inflorescencia
12	Tipo de paría	12	Número de pétalos por flor
13	Prolongación vegetativa	13	Número de sépalos por flor
14	Posición del estilo	14	Diámetro de corola
15	Color externo del fruto inmaduro	15	Diámetro de cáliz
16	Forma del fruto	16	Longitud de estambre
17	Tamaño del fruto	17	Número de estambres por flor
18	Facilidad para separar el fruto	18	Longitud total del pedicelo
19	Forma de la base	19	Longitud de zona de abscisión*
20	Forma del ápice	20	Días a maduración de fruto
21	Forma de la cicatriz del ápice	21	Amplitud cicatriz del pedicelo
22	Color externo del fruto maduro	22	Peso por fruto
23	Intensidad color del fruto maduro	23	Diámetro polar
24	Apariencia cat-face	24	Diámetro ecuatorial
25	Forma transversal	25	Número de lóculos por fruto
26	Facilidad para pelar	26	Grosor del pericarpio
27	Color de la epidermis	27	Grosor de la columela
28	Color del pericarpio	28	Sólidos solubles totales
29	Intensidad del color del pericarpio	29	Número de semillas por fruto
30	Color de columela		
31	Consistencia de frutos a la cosecha		
32	Consistencia de frutos en anaquel		
33	Forma de semillas		
34	Tamaño de semillas		
36	Color de semillas		

*Desde la inserción con el pedúnculo hasta el anillo de abscisión.

Anexo 2. Medidas de dispersión de genotipos de tomate.

No.	Variable	Intervalo	Media	Coefficiente de variación
1	Longitud del segundo simpodio (cm)	11.6-31.3	20.67	25.59
2	Diámetro del segundo simpodio (mm)	8.4-12.8	10.32	15.24
3	Número de hojas por simpodio	1.8-3.3	2.68	15.72
4	Número de folíolos por hoja	7.0-12.5	9.33	17.60
5	Longitud de hoja (cm)	25.9-44.2	36.62	21.11
6	Amplitud de hoja (cm)	23.4-43.7	32.63	22.80
7	Altura al primer racimo (cm)	12.1-44.8	24.93	32.40
8	Número de flores por inflorescencia	5.9-78.3	18.14	73.97
9	Longitud total de la inflorescencia (cm)	8.2-146.4	39.04	68.08
10	Número de pétalos por flor	5.0-7.9	5.9	16.15
11	Número de sépalos por flor	5.0-8.3	5.8	16.76
12	Diámetro de corola (cm)	2.1-3.7	3.11	10.72
13	Diámetro de cáliz (cm)	1.0-10.6	3.19	17.95
14	Longitud de estambre (mm)	5.4-11.0	7.14	16.75
15	Número de estambres por flor	5.0-8.1	5.8	17.42
16	Longitud total del pedicelo (mm)	10.4-26.2	19.07	20.00
17	Longitud de la zona de abscisión* (mm)	3.5-18.2	11.8	16.97
18	Amplitud de la cicatriz del pedicelo (mm)	1.5-15.4	6.40	25.66
19	Peso de fruto (g)	1.4-145.3	39.06	44.24
20	Diámetro polar del fruto (cm)	1.3-6.0	3.34	32.11
21	Diámetro ecuatorial del fruto (cm)	1.3-6.8	3.69	28.17
22	Número de lóculos por fruto	2.0-7.4	3.18	23.02
23	Grosor del pericarpio (mm)	1.0-8.6	4.84	24.92
24	Grosor de la columela (mm)	3.4-27.0	12.51	25.97
25	Número de semillas por fruto	19.9-176.7	71.19	28.96
26	Sólidos solubles totales (grados Brix)	4.2-9.7	7.60	20.52

*Desde la inserción con el pedúnculo hasta el anillo de abscisión.

Anexo 3. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud del segundo simpodio (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
10	31.30	A
1	29.63	AB
7	27.55	ABC
14	25.60	ABCD
2	24.19	ABCDE
15	22.35	BCDEF
3	22.04	BCDEF
5	20.30	CDEF
9	19.60	CDEFG
8	18.90	DEFG
13	18.50	DEFG
12	17.00	DEFG
4	16.60	EFG
6	15.65	EFG
Floradade	15.40	FG
Rio Grande	15.10	FG
11	11.63	G
DMS*	8.63	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 4. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro del segundo simpodio (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
13	12.81	A
1	12.80	A
15	12.40	AB
10	10.85	ABC
2	10.75	ABC
9	10.65	ABC
Floradade	10.55	ABC
6	10.40	ABC
Rio Grande	10.30	ABC
7	10.20	BC
8	10.05	BC
3	10.00	BC
14	9.25	C
4	8.90	C
12	8.69	C
5	8.50	C
11	8.35	C
DMS*	2.55	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 5. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de hojas por simpodio de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
10	3.30	A
7	3.10	AB
1	3.00	AB
14	3.00	AB
5	3.00	AB
2	3.00	AB
3	3.00	AB
11	3.00	AB
4	2.70	ABC
6	2.70	ABC
13	2.60	BCD
12	2.60	BCD
8	2.50	BCDE
9	2.30	CDEF
15	2.00	DEF
Rio Grande	1.90	EF
Floradade	1.80	F
DMS*	0.66	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 6. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de folíolos por hoja de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
2	12.50	A
1	11.70	AB
13	11.50	AB
Floradade	10.80	ABC
15	10.70	ABC
Rio Grande	10.10	ABCD
3	9.90	BCDE
11	9.31	CDE
10	8.70	CDE
8	8.70	CDE
9	8.70	CDE
5	8.60	CDE
14	8.20	CDE
4	7.70	DE
7	7.50	DE
6	7.00	E
12	7.00	E
DMS*	2.65	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 7. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud de hoja (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	44.20	A
Floradade	43.50	AB
9	42.12	AB
3	40.86	AB
8	40.51	AB
14	39.20	AB
Rio Grande	38.65	AB
5	38.56	AB
10	37.93	ABC
15	35.25	ABC
13	33.88	ABC
7	33.50	ABC
6	33.35	ABC
4	32.33	ABC
2	31.94	ABC
12	30.89	BC
11	25.88	C
DMS*	12.68	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 8. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para amplitud de hoja (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	43.71	A
Floradade	39.73	AB
8	39.05	ABC
Rio Grande	37.12	ABCD
9	36.85	ABCD
3	36.04	ABCDE
2	35.94	ABCDE
10	34.81	ABCDEF
7	32.28	ABCDEF
5	31.75	ABCDEF
14	31.72	ABCDEF
6	30.63	BCDEF
4	27.52	CDEF
15	25.95	DEF
12	24.51	EF
11	23.75	F
13	23.43	F
DMS*	12.16	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 9. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para altura al primer racimo (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	44.75	A
10	44.10	A
2	30.19	B
5	29.70	B
15	28.30	BC
14	24.70	BCD
8	24.00	BCD
13	22.88	BCD
7	22.50	BCD
Rio Grande	22.50	BCD
Floradade	22.30	BCD
4	21.24	BCD
9	21.00	BCD
3	20.50	BCD
12	17.25	BCD
6	15.70	CD
11	12.13	D
DMS*	13.20	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 10. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud total de la inflorescencia (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
14	146.40	A
5	117.10	A
15	48.90	B
1	46.60	B
13	45.75	B
7	33.50	B
12	30.88	B
3	30.25	B
10	28.30	B
6	20.30	B
9	17.25	B
Rio Grande	16.85	B
4	16.85	B
2	12.94	B
8	11.70	B
11	9.75	B
Floradade	8.15	B
DMS*	42.33	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 11. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de flores por inflorescencia de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
5	78.30	A
14	74.60	A
3	17.70	B
15	17.60	B
13	16.13	B
11	12.38	B
7	12.20	B
12	12.13	B
1	11.70	B
10	8.20	B
Rio Grande	7.70	B
6	7.50	B
4	7.10	B
2	7.00	B
Floradade	6.20	B
8	6.00	B
9	5.90	B
DMS*	22.11	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 12. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro de corola (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	3.72	A
Floradade	3.63	AB
2	3.60	ABC
5	3.54	ABC
Rio Grande	3.49	ABC
3	3.44	ABCD
6	3.30	ABCD
13	3.22	ABCDE
14	3.19	BCDE
15	3.11	BCDE
10	3.09	CDE
7	2.96	DEF
12	2.92	DEF
8	2.71	EFG
9	2.48	FGH
4	2.38	GH
11	2.14	H
DMS*	0.53	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 13. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro de cáliz (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	10.55	A
2	4.88	B
5	3.94	C
10	3.44	CD
13	3.39	CD
15	3.16	CDE
6	3.12	CDE
Floradade	3.10	CDE
3	3.06	CDE
4	3.05	CDE
Rio Grande	2.57	DEF
12	2.37	EF
7	2.28	EF
14	1.72	FG
8	1.35	G
9	1.24	G
11	1.03	G
DMS*	0.90	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 14. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud de estambres (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
2	11.00	A
3	8.80	B
Floradade	8.70	BC
1	8.40	BC
5	8.10	BCD
Rio Grande	8.00	BCDE
13	7.25	BCDEF
15	6.90	BCDEF
10	6.80	CDEF
14	6.40	DEF
11	6.13	EF
4	6.10	EF
6	6.00	F
12	5.88	F
7	5.80	F
8	5.70	F
9	5.40	F
DMS*	1.93	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 15. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para grosor de pericarpio (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
1	8.60	A
2	8.38	AB
Rio Grande	8.20	AB
Floradade	8.10	AB
13	6.63	BC
3	6.60	BC
15	6.10	CD
10	5.70	CD
7	4.30	DE
12	4.25	DE
14	3.30	EF
5	3.10	EF
11	2.75	EFG
6	2.70	EFG
9	1.60	FG
4	1.00	G
8	1.00	G
DMS*	1.94	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 16. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para grosor de columela (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Floradade	27.00	A
10	22.40	AB
2	19.50	BC
7	19.20	BCD
Rio Grande	18.50	BCDE
12	16.13	CDEF
15	14.15	DEF
1	14.00	DEF
13	13.63	EF
3	11.50	FG
6	8.20	GH
5	6.95	GH
14	5.50	H
8	4.30	H
9	4.30	H
11	4.05	H
4	3.40	H
DMS*	5.25	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 17. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para peso por fruto (g) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Floradade	145.27	A
2	105.67	B
Rio Grande	76.33	BC
1	71.76	BC
10	53.90	CD
7	44.31	DE
15	42.69	DE
13	36.82	DEF
12	27.16	DEF
3	24.12	EFG
6	11.26	FG
14	8.00	FG
5	7.92	FG
9	3.56	G
8	2.43	G
4	1.49	G
11	1.37	G
DMS*	26.74	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 18. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro polar (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Rio Grande	6.0	A
Floradade	5.8	A
2	5.0	A
1	4.7	B
15	3.9	BC
13	3.8	BC
14	3.5	BCD
10	3.4	BCD
3	3.4	BCD
7	3.2	BCD
5	3.1	BCD
12	2.5	CDE
6	2.5	CDE
9	1.7	DE
8	1.6	DE
4	1.3	E
11	1.3	E
DMS*	1.84	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 19. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para diámetro ecuatorial (cm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Floradade	6.8	A
2	6.1	A
1	5.5	AB
Rio Grande	5.1	BC
7	5.0	BC
10	4.8	BC
15	4.4	BCD
13	4.2	BCDE
12	4.2	BCDE
3	3.5	CDEF
6	2.7	DEFG
14	2.2	EFG
5	2.0	EFG
9	1.9	EFG
8	1.6	FG
4	1.4	G
11	1.3	G
DMS*	1.75	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 20. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para longitud total de pedicelo (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
10	26.20	A
Rio Grande	24.50	AB
7	23.20	ABC
3	21.60	ABCD
4	20.80	ABCD
12	20.25	ABCD
15	19.80	BCD
14	19.20	BCD
2	19.13	BCD
13	19.00	BCD
9	18.70	BCD
8	18.50	BCD
1	17.60	CDE
6	16.90	DE
5	16.80	DE
Floradade	11.60	EF
11	10.38	F
DMS*	6.21	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 21. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para amplitud de la cicatriz del pedicelo (mm) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Floradade	15.40	A
1	11.95	B
2	10.75	BC
10	9.90	BC
7	8.80	C
13	8.38	CD
15	8.30	CD
Rio Grande	8.20	CD
12	6.00	DE
3	4.40	EF
6	3.90	EFG
11	3.25	FG
5	2.40	FG
9	2.10	FG
4	1.80	FG
8	1.80	FG
14	1.50	G
DMS*	2.65	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 22. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para número de semillas por fruto de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
Floradade	176.7	A
7	149.5	A
1	109.8	B
2	102.7	BC
15	84.7	BCD
6	67.0	CDE
3	66.4	CDE
Rio Grande	65.7	CDE
10	62.7	CDE
12	53.4	CDEF
8	52.9	DEF
9	52.1	DEF
11	41.4	EFG
13	41.3	EFG
4	40.4	EFG
5	23.6	FG
14	19.9	G
DMS*	32.42	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 23. Separación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey a un 5% de probabilidad para sólidos solubles totales (grados Brix) de genotipos de tomate.

Población	Media	Grupo
4	9.7	A
5	9.5	AB
14	9.1	ABC
6	9.0	ABC
12	9.0	ABC
2	8.1	ABC
7	8.1	ABC
3	8.1	ABC
9	8.0	ABC
8	8.0	ABC
10	7.9	BCD
11	7.8	BCD
1	6.9	CDEF
13	5.6	DEFG
15	5.5	EFG
Rio Grande	4.7	FG
Floradade	4.2	G
DMS*	2.51	

DMS= diferencia mínima significativa

Anexo 24. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r) para variables evaluadas en genotipos de tomate.

	EP	LS	AS	HS	FH	LH	AH	AR	DF	FI	LI	NP	NS	CO	CA	LE	EF	LP	LA	MF	AC	PF	DP	DE	LF	GP	GC	SF
LS	-0.33																											
AS	-0.31	0.41																										
HS	0.00	0.26	-0.27																									
FH	0.25	0.03	0.47	-0.13																								
LH	-0.42	0.35	0.36	-0.37	-0.04																							
AH	-0.52	0.38	0.26	-0.22	0.12	0.81																						
AR	-0.30	0.81	0.51	0.09	0.26	0.47	0.50																					
DF	0.23	0.05	0.38	-0.04	0.49	0.03	0.01	0.42																				
FI	0.15	0.15	-0.36	0.23	-0.22	0.11	-0.16	0.07	-0.14																			
LI	0.02	0.34	-0.15	0.22	-0.23	0.19	-0.12	0.22	-0.10	0.95																		
NP	-0.31	0.57	0.31	0.07	-0.07	0.09	0.10	0.45	0.17	-0.26	-0.12																	
NS	-0.27	0.49	0.22	0.04	-0.15	0.00	-0.01	0.33	0.04	-0.26	-0.14	0.97																
CO	-0.59	0.35	0.42	-0.08	0.28	0.49	0.48	0.47	0.10	0.20	0.27	0.21	0.13															
CA	-0.31	0.49	0.53	0.18	0.41	0.33	0.43	0.71	0.59	-0.05	0.08	0.29	0.09	0.60														
LE	-0.18	0.19	0.27	-0.04	0.71	0.21	0.40	0.37	0.25	0.01	-0.01	-0.04	-0.09	0.75	0.53													
EF	-0.34	0.41	0.12	-0.12	-0.17	0.06	0.12	0.33	0.05	-0.26	-0.17	0.90	0.92	0.14	0.08	-0.09												
LP	-0.38	0.53	0.16	0.06	-0.32	0.10	0.09	0.37	-0.21	-0.11	0.04	0.51	0.56	0.11	0.01	-0.05	0.37											
LA	-0.33	0.28	0.54	-0.18	0.38	0.45	0.37	0.49	0.65	-0.02	0.11	0.35	0.20	0.60	0.73	0.44	0.30	-0.18										
MF	-0.08	0.32	0.29	0.12	0.43	0.07	0.19	0.46	0.67	-0.02	0.05	0.42	0.28	0.54	0.74	0.55	0.31	-0.08	0.77									
AC	-0.37	0.29	0.59	-0.28	0.54	0.21	0.34	0.45	0.42	-0.40	-0.30	0.57	0.51	0.59	0.52	0.57	0.60	0.01	0.73	0.66								
PF	-0.41	0.16	0.42	-0.39	0.55	0.28	0.46	0.35	0.27	-0.33	-0.28	0.33	0.30	0.65	0.41	0.71	0.45	-0.05	0.66	0.57	0.93							
DP	-0.46	0.23	0.48	-0.40	0.47	0.39	0.44	0.39	0.25	-0.02	0.06	0.29	0.24	0.84	0.45	0.74	0.30	0.13	0.67	0.59	0.79	0.87						
DE	-0.49	0.35	0.55	-0.28	0.46	0.22	0.36	0.42	0.21	-0.34	-0.23	0.59	0.55	0.69	0.48	0.62	0.60	0.18	0.64	0.60	0.96	0.93	0.86					
LF	-0.27	0.44	-0.05	0.20	-0.16	-0.16	0.00	0.26	-0.17	-0.24	-0.17	0.80	0.84	0.05	0.05	-0.05	0.88	0.37	0.06	0.21	0.46	0.33	0.11	0.50				
GP	-0.27	0.28	0.57	-0.25	0.66	0.25	0.34	0.44	0.39	-0.20	-0.11	0.42	0.35	0.76	0.57	0.79	0.32	0.12	0.67	0.72	0.86	0.84	0.91	0.90	0.20			
GC	-0.44	0.30	0.38	-0.27	0.31	0.15	0.27	0.36	0.14	-0.33	-0.26	0.67	0.68	0.58	0.27	0.50	0.75	0.24	0.51	0.50	0.91	0.88	0.77	0.95	0.64	0.79		
SF	-0.47	0.20	0.37	-0.32	0.27	0.24	0.45	0.17	0.13	-0.46	-0.41	0.46	0.42	0.39	0.31	0.35	0.58	-0.11	0.58	0.40	0.80	0.79	0.55	0.77	0.43	0.55	0.74	
SS	0.14	0.14	-0.61	0.69	-0.52	-0.30	-0.21	-0.10	-0.40	0.36	0.30	-0.22	-0.20	-0.35	-0.13	-0.33	-0.25	0.10	-0.55	-0.28	-0.69	-0.68	-0.70	-0.63	0.09	-0.68	-0.59	-0.51

EP= días a emergencia de plántula, LS= longitud del segundo simpodio (cm), AS= diámetro del segundo simpodio (mm), HS= número de hojas por simpodio, FH= número de folíolos por hoja, LH= longitud de hoja (cm), AH= amplitud de hoja (cm), AR= altura al primer racimo (cm), DF= días a floración, FI= número de flores por inflorescencia, LI= longitud total de la inflorescencia (cm), NP= número de pétalos por flor, NS= número de sépalos por flor, CO= diámetro de corola (cm), CA= diámetro de cáliz (cm), LE= longitud de estambres (mm), EF= número de estambres por flor, LP= longitud total del pedicelo (mm), LA= longitud desde la inserción con el pedúnculo hasta el anillo de abscisión (mm), MF= días a maduración de fruto, AC= amplitud de cicatriz del pedicelo en el fruto (mm), PF= peso por fruto (g), DP= diámetro polar de fruto (cm), DE= diámetro ecuatorial de fruto (cm), LF= número de lóculos por fruto, GP= grosor de pericarpio (mm), GC= grosor de columela (mm), SF= número de semillas por fruto, SS= sólidos solubles totales (grados Brix).

Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate (Solanum lycopersicum L.)

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.chapingo.edu.mx:8080 Internet	26 palabras — 1%
2	repositorio.una.edu.ni Internet	22 palabras — 1%
3	biblat.unam.mx Internet	18 palabras — < 1%
4	eprints.uanl.mx Internet	15 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO
REGISTRO DEL COMITÉ ASESOR DE GRADO
FORMA RE-CAG

Mediante este formato se registra el Comité Asesor de un estudiante de Posgrado en la Oficina de Registros Escolares. El estudiante y los profesores aceptan conocer y satisfacer los requisitos y obligaciones para los integrantes de un Comité Asesor, lo que implica también, aceptar su integración en el Jurado del examen de grado correspondiente cuando el caso se presente.

Primera instalación del Comité Asesor _____

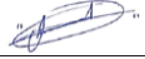
Modificación del Comité Asesor * _____

(1) Estudiante de:

☒ Maestría en Ciencias

☐ Doctorado en Ciencias

☐ Doctorado

Nombre Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez	Firma 
Programa Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola	Fecha de ingreso 21 de enero de 2019

(2) Comité Asesor, aceptando su inclusión

	Nombre	No. Cédula Prof.	Firma	Programa
Director	Juan Porfirio Legaria Solano	3034108		Biotecnología
Asesor	Juan Martínez Solís	5035786		Horticultura
Asesor	Jaime Sahagún Castellanos	4970930		Horticultura
Asesor	Alejandro Facundo Barrientos Priego	En trámite		Biotecnología

En caso de que el Presidente no pertenezca al mismo Programa que el estudiante, o de que algún miembro (hasta dos) no sean profesores del posgrado de la Universidad, se debe contar con un acuerdo avalatorio del Comité del Programa correspondiente. Si este es el caso, Número de oficio y fecha de ese acuerdo: _____.

*El Coordinador Departamental anexará la justificación del cambio de algún miembro del Comité.

Sanción favorable del Comité Asesor por el Coordinador del Programa:

(3) Coordinador

Nombre José Oscar Mascorro Gallardo	Firma 
--	--

Chapingo, México a 30 de abril de 2021.

INSTRUCCIONES:

- Los números en paréntesis señalan la secuencia de requisitación.
- Respecto a un Comité Asesor, el estudiante es responsable de identificar al profesor que fungirá como Presidente, y en acuerdo con él de identificar también a los Asesores.
- Esta forma, en sus seis tantos, debe ser entregada a la Oficina de Registros Escolares, donde se retendrá el original y se sellarán los tantos restantes que el estudiante debe entregar a: 1) Coordinación del Programa, 2) Coordinación General de Estudios de Posgrado, 3) Integrantes del Comité Asesor, 4) al propio estudiante, en cuyo tanto podrá recabar firmas de recibido.
- En caso de modificar la integración del Comité Asesor, debe usarse otro ejemplar de esta misma forma y requisitarse de igual manera, indicando que es una modificación de la integración del Comité Asesor.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO
REGISTRO DE APROBACIÓN DE TESIS DE GRADO
FORMA RE-ATG

Mediante este formato se registra la aprobación de tesis de grado, por los integrantes del Comité Asesor y se solicita la autorización del examen correspondiente.

El estudiante y los miembros del Comité Asesor aceptan conocer los requisitos para la aprobación de la tesis (contenido y forma) y que el documento satisface tales requisitos.

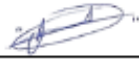
Los integrantes del Comité Asesor aceptan también estar dispuestos a participar en el examen de grado teniendo como antecedente su inclusión en el Comité Asesor.

(1) Estudiante, solicitando examen de:

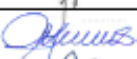
☒ Maestría en Ciencias

☐ Doctorado en Ciencias

☐ Doctorado

Nombre Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez	Firma 
Programa Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola	Fecha de ingreso 21 de enero de 2019
Título de la Tesis Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	

(2) Comité Asesor, aprobando la Tesis de Grado

	Nombre	Firma	Programa
Presidente	Juan Porfirio Legaria Solano		Biotecnología
Asesor	Juan Martínez Solís		Horticultura
Asesor	Jaime Sahagún Castellanos		Horticultura
Asesor	Alejandro Facundo Barrientos Priego		Biotecnología

(3) Presidente del Comité Asesor, aceptando el artículo científico derivado de la tesis

Nombre Juan Porfirio Legaria Solano	Firma 
Calificación de investigación: 95.5	Créditos: 10

(4) Sanción favorable de la revisión de la tesis y del artículo, por el Coordinador del Programa

Nombre del Coordinador: José Oscar Mascorro Gallardo	Fecha: 10 mayo 2021	Firma 
---	------------------------	--

(5) Una vez cubiertos los requisitos anteriores, el estudiante debe entregar esta forma con siete copias y un ejemplar de la tesis a la Coordinación General de Estudios de Posgrado (CGEP), la que se sellará de recibido, retendrá el último tanto y en un término de quince días hábiles emitirá su sanción.

(6) Aprobación de la fecha de Examen de Grado por parte del Coordinador General de Estudios de Posgrado.

Fecha: 24 de mayo de 2021	Lugar: Aula virtual Z ID: 87699599552	Hora: 16:00	Sanción del CGEP y fecha 11 de mayo de 2021 
------------------------------	--	----------------	--

Chapingo, México a 30 de abril de 2021.

INSTRUCCIONES:

- A. Los números en paréntesis señalan la secuencia de requisitación.
- B. Esta forma totalmente requisitada deberá ser entregada a la Oficina de Registros Escolares, la que retendrá el original y sellará de recibido los tantos restantes, que el estudiante debe entregar a: 1) Coordinación del Programa, 2) Coordinación General de Estudios de Posgrado, 3) Integrantes del Comité Asesor, 4) al propio estudiante, en cuyo tanto podrá recabar firmas de recibido.
- C. La Oficina de Registros Escolares, si es procedente, emitirá en un plazo no mayor de tres días hábiles la correspondiente autorización del examen de grado (forma RE-EG).



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

INSTITUTO DE HORTICULTURA

Departamento de Fitotecnia



Chapingo, Edo. de México a 10 de mayo 2021

NUMERO DE OFICIO: HOR2021/35

ASUNTO: MPP22. Solicitud de prórroga para examen de grado

DR. MAXIMINO HUERTA BRAVO
COORDINADOR GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO
P R E S E N T E.

Considerando que no se cumplió con el Artículo 53 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, por este medio solicito a usted de la manera más atenta considerar una prórroga para la presentación del examen antes de junio del año en curso, del **C. ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ**, con no. de matrícula 1813004-6, del programa de la Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola.

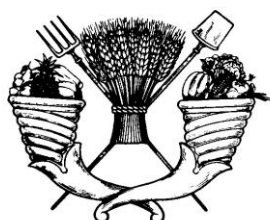
Agradeciendo de antemano sus atenciones, se despide de usted.

ATENTAMENTE

DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DE LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO
DE POSGRADO DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
Y DEL INSTITUTO DE HORTICULTURA



C.c.p. Dr. Juan Porfirio Legaria Solano.- Director de Tesis. presente
C. Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez.- Alumno. presente
Coordinación de Estudios de Posgrado de Fitotecnia.- presente



*"Enseñar la Explotación de la
Tierra, No la del Hombre"*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
Departamento de Fitotecnia
Academia de Fruticultura

A S U N T O: Dictamen de resumen

Chapingo, México, 20 de abril 2021

DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
PROFESOR-INVESTIGADOR
COORDINADOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
P R E S E N T E

Por este medio le hago saber que el resumen en inglés con título CARACTERIZACIÓN MORFO-AGRONÓMICA DE 15 POBLACIONES SILVESTRES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.), del estudiante de la maestría en Biotecnología Agrícola Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez, ha sido aprobado con mínimos cambios que se anexan en el archivo.

Sin más a que referirme me despido de ustedes con un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente

"Enseñar la Explotación de la Tierra, No la del Hombre"

Dr. Jaime Sahagún-Castellanos
Profesor-Investigador
Departamento de Fitotecnia
Universidad Autónoma Chapingo
Correo-e: sahagun@correo.chapingo.mx

C.c.p. Dr. Maximino Huerta Bravo. Coordinador General de Estudios de Posgrado. Presente.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is considered the most economically important vegetable at national and international level. Mexico is the world's leading exporter, with a 23.6 % market share; however, production confronts challenges every day to ^{confronts} ~~face~~ ^{against} the climate change, global overpopulation and the growing demand for food in quantity, and organoleptic and nutritional quality. To ^{contribute to} ~~solve~~ them, wild genotypes have been used in order to find useful traits, absent in modern varieties, ^{therefore} ~~therefore~~ ^{this is why} the variability of 15 wild populations native ^{to} ~~from~~ different locations of Mexico was characterized, through the morph-agronomic descriptors of Bioversity International. ^{These populations} ~~were~~ grown under greenhouse and hydroponics conditions using a completely randomized ^{experimental} ~~design~~ with ten replications. ^{The} ~~The~~ results indicated wide variability in morphological ^{traits} ~~traits~~ and fruit quality attributes, such as consistency and total soluble solids. Principal components ^{analysis} ~~analysis~~ and multiple correspondence analysis explained phenotypic variation with 67.41 % and 42.06 % in the first three components and dimensions, respectively. The most discriminatory traits were those of fruits and inflorescences, which separated the populations into four groups, according to multivariate analysis. The first group was integrated by plants with uniparous inflorescence, with heirloom-type red fruits and small to intermediate size; the second by uniparous and multiparous inflorescences, with cherry and grape-types ^{fruits} ~~fruits~~ of yellow, orange and red colors, and very small size; the third by uniparous and forked inflorescences, with ball and cocktail-types ^{fruits} ~~fruits~~ of red, orange and yellow colors, and small to intermediate size; and the fourth by uniparous inflorescence, with ball-type fruit of purple-orange color and intermediate size.



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

INSTITUTO DE HORTICULTURA

Departamento de Fitotecnia



Chapingo, Edo. de México a 10 de mayo de 2021

NUMERO DE OFICIO: HOR2021/38

ASUNTO: Autorización de examen de grado

DR. MAXIMINO HUERTA BRAVO
COORDINADOR GENERAL
DE POSGRADO
P R E S E N T E:

Con base en el Artículo 54 del Reglamento General de Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo, por este conducto me permito solicitar de la manera más atenta su autorización para que el C. **ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ** con matrícula **1813004-6**, estudiante de la Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola, generación 2019-2020, y una vez cumplidos los requisitos necesarios, se le autorice para llevar a cabo el examen de grado.

Sin otro particular a tratar por el momento, se despide de usted.

Atentamente



DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
Coordinador de Estudios de Posgrado del
Departamento de Fitotecnia
y del Instituto de Horticultura

c.c.p.- Coordinación del Posgrado de Fitotecnia.- presente



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
INSTITUTO DE HORTICULTURA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

Chapingo Méx., 30 de abril de 2021.

ASUNTO: Autorización del trabajo de tesis.

**DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DEL POSGRADO DE HORTICULTURA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PRESENTE**

Por este medio hago de su conocimiento que se han realizado las revisiones y recomendaciones del escrito final de la investigación del estudiante de Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola Rommel Ibrahin Alvarado Rodríguez, con Matrícula 1813004-6, por lo que tiene mi aprobación para que se proceda con los trámites de graduación correspondientes. El trabajo de investigación lleva por título:

**Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.)**

Sin más a que hacer referencia y agradeciendo su valioso apoyo, le saludo cordialmente,

ATENTAMENTE

**DR. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO
DIRECTOR DE TESIS**



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

INSTITUTO DE HORTICULTURA

Departamento de Fitotecnia



Chapingo, Edo. de México a 10 de mayo de 2021

NUMERO DE OFICIO: HORT2021/36

ASUNTO: Verificación de tesis

DR. MAXIMINO HUERTA BRAVO
COORDINADOR GENERAL
DE POSGRADO
P R E S E N T E:

Por medio del presente, hago de su conocimiento que hemos revisado los registros del SIP del estudiante **ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ**, con matrícula **1813004-6** del Programa del Maestría en Ciencias en Horticultura, generación 2019-2020 y corroboramos que el título de la tesis entregada es el mismo que aparece registrado:

"Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.)"

De la Línea de Recursos Genéticos. Asi mismo, el Comité Asesor es el mismo que se registró y el que aprobó la tesis del estudiante mediante firmas:

Director: Dr. Juan Porfirio Legaria Solano

Asesor: Dr. Juan Martínez Solís

Asesor: Dr. Jaime Sahagun Castellanos

Asesor: Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego

Sin otro particular a tratar por el momento, se despide de usted.

Atentamente

Dr. José Oscar Mascorro Gallardo
Coordinador del Posgrado del
Departamento de Fitotecnia



c.c.p.- Coordinación de Estudios de Posgrado
del Departamento de Fitotecnia.- presente

CARACTERIZACIÓN MORFO-AGRONÓMICA DE 15 POBLACIONES SILVESTRES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

MORPHO-AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF 15 WILD TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) POPULATIONS

Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez¹, Juan Porfirio Legaria Solano²

RESUMEN

La producción de tomate enfrenta retos cada día ante el cambio climático, la sobrepoblación mundial y la creciente demanda de alimentos en cantidad y calidad. Para contribuir a su solución, se ha recurrido a los materiales silvestres en busca de características de interés, ausentes en las variedades modernas. Es por eso que en este estudio se evaluó la variabilidad de 15 poblaciones silvestres originarias de diferentes zonas de México mediante los descriptores morfo-agronómicos de Bioversity Internacional, en condiciones de invernadero e hidroponía en un diseño completamente al azar con diez repeticiones. Los resultados indicaron amplia variabilidad en características morfológicas y en atributos de calidad de fruto, como consistencia y sólidos solubles totales. Los análisis de componentes principales y de correspondencia múltiple explicaron la variación fenotípica con 67.41 y 42.06 % en los primeros tres componentes y dimensiones, respectivamente. Las características más discriminantes fueron las de frutos e inflorescencias, que separaron a las poblaciones en cuatro grupos. El primero se integró por plantas con inflorescencias multíparas, con frutos tipo 'heirloom' de color rojo y tamaños pequeños a intermedios; el segundo por inflorescencias uníparas y multíparas, con frutos tipo 'cherry' y 'grape' de colores amarillo, naranja y rojo, y tamaños muy pequeños; el tercero por inflorescencias uníparas y bifurcadas, con frutos tipo bola y 'cocktail' de colores rojo, naranja y amarillo, y tamaños pequeños a intermedios; y el cuarto por inflorescencias uníparas, con frutos tipo bola de color morado-naranja y tamaños intermedios.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum* L., poblaciones nativas, caracterización morfo-agronómica.

ABSTRACT

Tomato production confront challenges every day to face the climate change, global overpopulation and the growing demand for food in quantity and quality. To contribute to solve them, wild genotypes have been used in order to find useful traits, absent in modern varieties. This is why the variability of 15 wild populations native from different locations of Mexico was characterized, through the morph-agronomic descriptors of Bioversity International, grown under greenhouse and hydroponics conditions using a completely randomized design with ten replications. Results indicated wide variability in morphological and fruit quality attributes, such as consistency and total soluble solids. Principal component analysis and multiple correspondence analysis explained phenotypic variation with 67.41 and 42.06 % in the first three components and dimensions, respectively. The most discriminatory traits were those of fruits and inflorescences, which separated the populations into four groups. The first group was integrated by plants with uniparous inflorescence, with heirloom-type red fruits and small to intermediate size; the second by uniparous and multiparous inflorescences, with cherry and grape-type fruits of yellow, orange and red colors, and very small size; the third by uniparous and forked inflorescences, with ball and cocktail-type fruits of red, orange and yellow colors, and small to intermediate size; and the fourth by uniparous inflorescence, with ball-type fruit of purple-orange color and intermediate size.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., native populations, morpho-agronomic characterization.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se considera la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional (FAOSTAT, 2019). Actualmente, México es el primer exportador con una participación del 23.6 % en el mercado y un valor de 2,163,383.00 USD (TRADE MAP, 2020). Además, es considerado el centro de origen, domesticación y diversidad genética del tomate (Peralta y Spooner, 2007).

Muchos investigadores concuerdan que el tomate cultivado presenta reducida base genética que lo ha convertido en una especie muy susceptible a las condiciones ambientales, lo que conlleva a que cada día la producción se vea mermada en los sistemas de producción y que el cultivo no sea rentable a campo abierto.

En cambio, los materiales silvestres han desarrollado múltiples características de resistencia, tolerancia y alta capacidad de supervivencia a condiciones extremas en respuesta a las presiones bióticas y/o abióticas en que han estado expuestos durante mucho tiempo en su medio agroecológico (Rick, 1983; Grandillo *et al.*, 2011).

Por lo tanto, existe alto interés para recurrir y conservar estos germoplasmas silvestres que presentan un nivel de variabilidad genética muy amplia y constituyen un acervo genético de nuevos genes de interés o para recuperar los que se han perdido por erosión y que podrían ser introgresados a los cultivos modernos a través de técnicas convencionales y/o biotecnológicas (Tanksley y McCouch, 1997; Bai y Lindhout, 2007; Bauchet y Causse, 2012) para desarrollar nuevos genotipos que respondan al cambio climático (Caicedo y Peralta, 2013), a los nuevos desafíos planteados en los sistemas productivos y a las demandas de los consumidores (Tengö y Belfrage, 2004).

Esto deriva en la necesidad de realizar caracterizaciones y evaluaciones agronómicas de los recursos fitogenéticos, para tener información básica de estas fuentes de germoplasma con uso potencial en la mejora de la especie cultivada, así como contribuir a su conservación y disponer rápidamente de estas accesiones en el tiempo y espacio.

Con base en lo anterior, en este estudio se evaluó la variabilidad de poblaciones silvestres de tomate a partir de características morfológicas de plántula, planta (tallo y hoja), inflorescencia y fruto, con vista a desarrollar un programa de mejora genética para el rescate de características de interés agronómico y comercial, e incorporarlos a los cultivos modernos.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se llevó a cabo de marzo a noviembre de 2020 en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (LabBiotec-UACH), ubicado en las instalaciones del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP).

Material biológico

Se utilizaron quince poblaciones silvestres colectadas en diferentes zonas de México, pertenecientes al banco de germoplasma del LabBiotec-UACH y dos variedades comerciales como testigos, Río Grande y Floradade.

Diseño experimental y manejo agronómico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 17 tratamientos (poblaciones) y 10 repeticiones (individuos) y la unidad experimental consistió en una bolsa para cada planta, manejada como genotipos independientes en condiciones de invernadero, con temperatura de 21 a 24 °C y humedad relativa de 60 a 80 %.

Las plántulas fueron trasplantadas a los 35 días en bolsas de polietileno rellenas con tezontle y cultivados con distanciamientos de 40 cm entre planta y 1 m entre hilera en sistema hidropónico con la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989), y labores culturales de tutorado, deshoje, deschuponado de brotes laterales y frecuentes movimientos de los hilos tutores para favorecer la polinización.

Variables evaluadas

La caracterización se realizó mediante 64 descriptores morfológicos y agronómicos propuestos por Bioversity Internacional (1996), correspondientes a 18 características de tipo vegetativo (cuatro de plántula y catorce de planta en tallo y hoja) y 46 de tipo reproductivo (trece en inflorescencias, treinta en frutos y tres en semillas), todo representado por 28 variables cuantitativas y 36 cualitativas.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de la varianza de los datos cuantitativos y se comparó las diferencias de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (versión 9.4). Además, se estimó el coeficiente de Pearson (r) y se elaboró una matriz de correlaciones para realizar un análisis de componentes principales mediante el software RStudio (versión 4.0.4). Se hizo descripción de las variables cualitativas y se sometieron a un análisis de correspondencia múltiple mediante el software RStudio (versión 4.0.4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las poblaciones silvestres mostraron alta variabilidad fenotípica en las fases vegetativa y reproductiva, siendo más representativas las mostradas en el Cuadro 1. El 53.33 % de las poblaciones silvestres fueron de hábito indeterminado y el 46.67 % semideterminado.

Se observó hipocótilos pigmentados con antocianinas a nivel parcial, completo y sin pigmentación. Las poblaciones indeterminadas, presentaron pigmentación parcial (75.00 %) y el resto carecieron de ella (25.00 %); mientras que, las semi determinadas la mostraron parcial (71.43 %) y el resto completa (28.57 %).

Estos resultados son contrastantes con los reportados por Agudelo *et al.* (2011) en estudio con materiales tipo 'cherry', donde aproximadamente la misma proporción fue con pigmentación parcial (59.09 %) y completo (40.91 %), mientras que en el presente estudio la mayor frecuencia fueron los parciales (73.34 %) que los completos (13.33 %). Además, estos autores encontraron que en las plantas de hábito indeterminado (81.82 %) y determinado (18.18 %) los hipocótilos con pigmentación parcial (55.56 % y 75.00 %, respectivamente) fueron más frecuentes que los completos (44.44 % y 25.00 %, respectivamente).

El tipo de hoja más frecuente fue el estándar (66.67 %), seguido por un tipo no reportado en los descriptores para el tomate, al cual se le denominó 'con brote' (20.00 %) y en menor medida el tipo papa (13.33 %), asociado a poblaciones altas en antocianinas. Resultados contrarios fueron reportados por Agudelo *et al.* (2011), donde las hojas tipo papa son más frecuentes (69.56 %) que las estándar (30.43 %). Al respecto, Florido *et al.* (2002) refirieron que el tipo estándar es la que predomina en la especie cultivada.

Las inflorescencias de las semi determinadas fueron en su mayoría terminadas en flor (71.43 %) y las indeterminadas revertidas a forma vegetativa (87.50 %) de hoja o brote después de un cierto número de flores formadas. La gran mayoría de las poblaciones mostraron flores con estigmas al mismo nivel que el cono estaminal (80 %), pero también hubo poblaciones con estigmas ligeramente o muy proyectado.

Cuadro 1. Descripción de características cualitativas de tomates silvestres.

POB	Código	HC	TH	TI	PE	FF	TF	CF	Tipo fruto	Color fruto
1	LBCh 76	S	E	VH	M	LA	I	MF	Bola	Amarillo
2	LBCh 231	S	E	F	M	LA	I	I	Bola	Rojo
3	LBCh 301	S	E	F	I	R	P	MF	Bola	Naranja
4	LBCh 188	I	E	VB	M	R	MP	D	Cherry	Rojo
5	LBCh 86	S	E	F	M	RA	MP	F	Grape	Rojo
6	LBCh 82	S	E	VB	M	R	MP	MD	Bola	Rojo
7	LBCh 75	I	E	VB	E	A	P	MD	Arriñonado	Rojo
8	LBCh 71	I	B	VB	M	R	MP	I	Cherry	Amarillo
9	LBCh 67	I	B	VB	M	LA	MP	I	Cherry	Naranja
10	LBCh 61	I	E	VH	E	A	P	MD	Arriñonado	Rojo
11	LBCh 2da 28	I	B	VB	M	R	MP	F	Cherry	Naranja
12	LBCh 2da 18	I	E	VB	M	A	P	MD	Arriñonado	Rojo
13	LBCh 2da 11	S	P	F	M	LA	P	I	Bola	Morado-naranja
14	LBCh 2da 02	I	E	F	M	OA	MP	F	Grape	Naranja
15	LBCh 2da 09	S	P	F	M	LA	P	I	Bola	Morado-naranja
16	Rio Grande	D	E	F	M	RA	I	I	Saladette	Rojo
17	Floradade	D	E	F	M	LA	I	I	Bola	Rojo

POB= población; HC= hábito de crecimiento, S= semi determinado, I= indeterminado, D= determinado; TH= tipo de hoja, E= estándar, B= con brote, P= papa; TI= terminación de inflorescencia, F= en flor, VH= vegetativa con hoja, VB= vegetativa con brote; PE= posición del estigma, M= mismo nivel, I= inserto, E= exserto; FF= forma de fruto, A= achatado, LA= ligeramente achatado, R= redondeado, RA= redondo-alargado, OA= oblongo-alargado; TF= tamaño de fruto, I= intermedio, P= pequeño, MP= muy pequeño; CF= compacidad de fruto, MF= muy firme, F= firme, I= intermedio, D= débil, MD= muy débil.

Las formas de fruto ligeramente achatadas (33.33 %) y redondeadas (33.33 %) fueron las más frecuentes, seguido de achatadas (20 %), redondo-alargadas (6.67 %) y oblongo-alargadas (6.67 %).

Los tamaños de frutos más frecuentes fueron los muy pequeños (46.67 %) con formas redondeadas (42.84 %), ligeramente achatadas (14.29 %) y oblongo-alargadas (14.29 %), portados por plantas indeterminadas; mientras que, formas redondeadas (14.29 %) y redondo-alargadas (14.29 %) por semi determinadas.

En cambio, frutos con tamaños pequeños (40 %) con formas achatadas (50 %) fueron producidos por indeterminadas, y formas ligeramente achatadas (33.33 %) y redondeadas (16.67 %) por semi determinadas. En menor medida se observó los tamaños intermedios (13.33 %) con formas

ligeramente achatadas (100 %) en plantas semi determinadas.

Díez y Nuez (2008) señalaron que una de las consecuencias más importantes de la domesticación del tomate fue el aumento en tamaño de fruto. Las poblaciones silvestres y semi domesticadas de México, presentan alta variabilidad morfológica en tamaño y formas de frutos, que van desde muy pequeño hasta grande, con formas redondos, piriformes y achatados; siendo los de mayor tamaño de materiales semi domesticados (Álvarez *et al.*, 2009; Carrillo y Chávez, 2010; Chávez *et al.*, 2011; Lobato *et al.*, 2012; Bonilla *et al.*, 2014; Pacheco *et al.*, 2014).

Se detectaron poblaciones con alta consistencia de fruto. Las poblaciones 5, 3 y 14 pasaron a consistencia intermedia después de 20 días y a blanda después de 40 días; asimismo, la 1 pasó a intermedia después de

60 días. Por otra parte, las poblaciones 13 y 15 pigmentadas con antocianinas, aunque pasaron a consistencia blanda en menos de 20 días, la integridad de la epidermis se mantuvo entre 30 y 40 días en anaquel, contrario al comportamiento de las variedades testigos y otras silvestres.

Rodríguez *et al.* (2017) en estudio con líneas de mejora, detectaron diferentes grados de compacidad en frutos en estado de madurez comercial, predominando los blando (53.3 %), seguido por los intermedio (26.7 %) y los duro (20.0 %). En contraste, Bonilla *et al.* (2014) en estudio con materiales silvestres y nativos, encontraron menor cantidad de frutos blando (23.0 %) en tipo arriñonado, seguido por los intermedio (27.0 %) en tipo 'cherry' y la mayor cantidad lo constituyeron los frutos duro (50.0 %) en tipo pimiento.

Las poblaciones con hábito de crecimiento indeterminada mostraron frutos de colores rojos (50 %), naranjas (37.5 %) y amarillos (12.5 %), y las semi determinadas rojos (42.85 %), naranjas (14.29 %), amarillos (14.29 %) y morado-naranjas (28.57 %).

Lobato *et al.* (2012), Pacheco *et al.* (2014) y Patiño *et al.* (2015) refieren que los tipo 'cherry' presentan una gran variabilidad en cuanto a color de fruto, con características similares al tomate cultivado. Por tanto, el desarrollo genético del color de la fruta y el contenido de pigmento en tomate es un área de investigación interesante para mejorar la calidad de la fruta y satisfacer las demandas de los consumidores con diferentes preferencias (Li *et al.*, 2018).

Respecto al tipo de fruto, los bola (40 %) y 'cherry' (26.67 %) fueron los más frecuentes, seguido por los arriñonados (20 %) y 'grape' (13.33 %).

Análisis de la varianza

Se observó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas.

Todas las poblaciones silvestres mostraron alta variabilidad fenotípica en las fases vegetativa y reproductiva; sin embargo, las características que más aportaron a la discriminación fueron las de frutos e inflorescencias (Cuadro 2).

Se detectaron materiales precoces respecto a los testigos, como las poblaciones 12, 8, 9, 14 y 7 entre 45 y 48 dds, y la 6, 2 y 3 entre 49 y 51 dds. En cambio, otras se comportaron de manera similar a los testigos, como las poblaciones 5, 10, 15 y 13 entre 55 y 62 dds.

En evaluaciones realizadas en materiales silvestres y semi domesticados, Carrillo y Chávez (2010) detectaron floración en promedio a los 58 dds, Juárez *et al.* (2012) y Márquez *et al.* (2006) en tipo 'cherry' observaron apertura precoz entre los 42 a 47 dds, mientras que Medina y Lobo (2001) encontraron materiales precoces, intermedios y tardíos con aperturas desde 49 hasta 137 dds.

Las poblaciones silvestres fueron clasificadas por su comportamiento respecto a la maduración de los testigos. Maduración similar a los testigos mostraron las poblaciones 2 y 3; maduración temprana, la 8 y 9; maduración intermedia anterior a los testigos, la 12, 14, 7 y 6; maduración intermedia posterior a los testigos, la 5, 10, 15, 13, 4 y 11; y maduración tardía, la 1.

Autores como Carrillo y Chávez (2010) y Chávez *et al.* (2011) han destacado la diversidad en cuanto a tiempo a maduración en los materiales silvestres y semi domesticados de tomate tipo 'cherry', detectando desde 91 hasta 106 días y desde 70 hasta 89 días después de la siembra, respectivamente.

El tiempo a floración y maduración son características a las que se presta atención en los programas de mejora genética. Sánchez

et al. (2010) y Mejía (2020) destacaron que, materiales modernos precoces son de gran utilidad en sistemas hidropónicos bajo invernadero por el uso eficiente del espacio y tiempo al permitir manejar altas densidades de siembras, cosechas más tempranas, acortamiento del ciclo del cultivo y mayor número de ciclos por año, pero también, en la reducción de los costos de producción, debido al menor uso de insumos fitosanitarios y nutrimentales.

De manera práctica, las poblaciones fueron agrupadas en cuatro categorías para altura al primer racimo, la primera lo estructuraron las poblaciones 1 y 10 con altura mayor a 40 cm; la segunda por la 2, 5 y 15 con alturas entre 28 y 31 cm; la tercera por la 14, 8, 13, 7, 16, 17, 4, 9, 3 y 12 entre 17 y 25 cm; y la cuarta por la 6 y 11, entre 12 y 16 cm.

Estos resultados son similares a los encontrados por Bonilla *et al.* (2014) quienes caracterizaron variedades nativas tipo pimiento, 'cherry' y arriñonado con alturas desde 13.96 hasta 45.41 cm. De igual manera, Morales *et al.* (2014) reportaron alturas promedio de 32.38 cm en tomates 'cherry' y 30.83 cm en variedades cultivadas, similar al promedio de 25.26 cm encontrado en este estudio.

Cabe resaltar que, materiales con alturas muy bajas de racimos (<20 cm) presentan desventajas por afectaciones de plagas (insectos y patógenos) en sistemas de producción a campo abierto, no así en sistemas intensivos bajo invernaderos que más bien es cualidad de importancia para aprovechar el espacio, acortar el ciclo del cultivo y obtener mayores rendimientos.

La cantidad de flores estuvo asociada directamente a la longitud con $r = 0.95$ (Cuadro 3) y tipo de paría de la inflorescencia. Las poblaciones 5 y 14 sobresalieron con longitud >115 cm, con un promedio de 4.7 racimos y >70 flores por inflorescencia.

El resto, fueron desde 9 cm en la 11 hasta 49 cm en la 15 con racimos simples, bi y trifurcados (según la población), y desde 5 flores en la 9 hasta 18 en la 3.

Rodríguez *et al.* (2005) y Kumar *et al.* (2019) en materiales tipo 'cherry' y cultivado, encontraron números de flores por inflorescencia desde 10.92 hasta 12.73 en el primero y desde 4.76 hasta 7.16 para el segundo; mientras que, Boada *et al.* (2010) reportaron en tipo 'cherry' desde 7.4 hasta 177; valores similares a los encontrados en el presente estudio.

Para longitud de inflorescencia, Bonilla *et al.* (2014) reportaron desde 13.73 hasta 26.00 cm, en cambio Yanokuchi *et al.* (1994) en estudio de hibridación con tipo 'cherry' reportaron longitudes de 58.5 cm y 77.6 cm en los progenitores, mientras que la F_1 mostró ganancia de 147.3 cm por efecto de heterosis; valores similares a los cuantificados en el presente estudio.

Para peso por fruto, las poblaciones fueron reagrupadas en 3 categorías para una mejor interpretación. El grupo con mayores pesos estuvo conformado por la 1, 2 y los testigos, con valores entre 72 hasta 145 g; el grupo intermedio por la 3, 12, 13, 15, 7 y 10 con valores entre 24 hasta 54 g; y el menor por la 11, 4, 8, 9, 5, 14 y 6 desde 1 hasta 11 g.

Resultados similares fueron reportados por Carrillo y Chávez (2010), Chávez *et al.* (2011) y Kumar *et al.* (2019) con rangos de 1.5 a 19.4 g, 5.6 a 128.7 g y 4.55 g por fruto, respectivamente, en materiales silvestres y semi domesticados; mientras que, Hernández *et al.* (2015) reportaron un promedio de 120.77 g en materiales nativos.

Cuadro 2. Descripción de características cuantitativas de tomates silvestres.

POB	DF	DM	AR	NFI	LI	PF	NLF	DP	DE	NSF	SST
1	73	105	44.75 a	11.70 b	46.60 b	71.76 bc	2.70 cd	4.70 b	5.50 ab	109.80 b	6.90 cdef
2	50	86	30.19 b	7.00 b	12.94 b	105.67 b	3.50 bc	5.00 a	6.10 a	102.70 bc	8.10 abc
3	51	85	20.50 bcd	17.70 b	30.25 b	24.12 efg	2.00 d	3.40 bcd	3.50 cdef	66.40 cde	8.10 abc
4	64	80	21.24 bcd	7.10 b	16.85 b	1.49 g	2.00 d	1.30 e	1.40 g	40.40 efg	9.70 a
5	55	78	29.70 b	78.30 a	117.10 a	7.92 fg	2.00 d	3.10 bcd	2.00 efg	23.60 fg	9.50 ab
6	49	80	15.70 cd	7.50 b	20.30 b	11.26 fg	2.00 d	2.50 cde	2.70 defg	67.00 cde	9.00 abc
7	48	80	22.50 bcd	12.20 b	33.50 b	44.31 de	6.90 a	3.20 bcd	5.00 bc	149.50 a	8.10 abc
8	46	62	24.00 bcd	6.00 b	11.70 b	2.43 g	2.00 d	1.60 de	1.60 fg	52.90 def	8.00 abc
9	46	64	21.00 bcd	5.90 b	17.25 b	3.56 g	2.00 d	1.70 de	1.90 efg	52.10 def	8.00 abc
10	60	87	44.10 a	8.20 b	28.30 b	53.90 cd	7.00 a	3.40 bcd	4.80 bc	62.70 cde	7.90 bcd
11	64	85	12.13 d	12.38 b	9.75 b	1.37 g	2.00 d	1.30 e	1.30 g	41.40 efg	7.80 bcd
12	45	81	17.25 bcd	12.13 b	30.88 b	27.16 def	7.40 a	2.50 cde	4.20 bcde	53.40 cdef	9.00 abc
13	62	80	22.88 bcd	16.13 b	45.75 b	36.82 def	2.00 d	3.80 bc	4.20 bcde	41.30 efg	5.60 defg
14	47	82	24.70 bcd	74.60 a	146.40 a	8.00 fg	2.00 d	3.50 bcd	2.20 efg	19.90 g	9.10 abc
15	60	81	28.30 bc	17.60 b	48.90 b	42.69 de	2.00 d	3.90 bc	4.40 bcd	84.70 bcd	5.50 efg
16	57	84	22.50 bcd	7.70 b	16.85 b	76.33 bc	2.30 d	6.00 a	5.10 bc	65.70 cde	4.70 fg
17	60	90	22.30 bcd	6.20 b	8.15 b	145.27 a	4.30 b	5.80 a	6.80 a	176.70 a	4.20 g
Media	55	82	24.93	18.14	39.04	39.06	3.18	3.34	3.69	71.19	7.60
C. V.	-	-	32.40	73.97	68.08	44.24	23.02	32.11	28.17	28.96	20.52
DMS	-	-	13.20	22.11	42.33	26.74	1.15	1.84	1.75	32.42	2.51

POB= población; **DF**= días a floración; **DM**= días a maduración de fruto; **AR**= altura al primer racimo (cm); **NFI**= número de flores por inflorescencia; **LI**= longitud de inflorescencia (cm); **PF**= peso por fruto (g); **LF**= número de lóculos por fruto; **DP**= diámetro polar (cm); **DE**= diámetro ecuatorial (cm); **NSF**= número de semillas por fruto; **SST**= sólidos solubles totales (grados Brix); **C. V.**= coeficiente de variación; **DMS**= diferencia mínima significativa. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Para lóculos por fruto, las poblaciones se agruparon en 4 categorías de acuerdo a intervalos más amplios para una mejor interpretación. El primer grupo lo conformaron las poblaciones 7, 10 y 12 con número de lóculos que van desde 5 hasta 10; el segundo por la 2 que mostró tres o cuatro y Floradade de tres a seis; el tercero por la 1 y Rio Grande con dos o tres lóculos; y el cuarto por la 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 14 y 15 con dos lóculos.

Las especies silvestres muestran dos o tres lóculos por fruto (Grandillo y Tanksley, 1996) siendo significativamente más bajo que desde 2.6 hasta 3.6 en las variedades modernas (Grandillo y Tanksley, 1996; Kumar *et al.*, 2019); sin embargo, estas últimas pueden oscilar entre 2 a 30 lóculos, con un caso excepcional arriba de 250 (Ahuja, 1968).

Las características diámetro polar y ecuatorial tuvieron asociación positiva con $r = 0.86$ (Cuadro 3). Para mejor interpretación, las poblaciones se reagruparon en tres categorías. Diámetros >5 cm con la población 2 y los testigos en la primera característica, y las mismas más la 1 en la segunda; intervalo desde >3 hasta 5 cm conformado por la 1, 5 y 14 para la primera, la 12 para la segunda, y la 3, 7, 10, 13 y 15 en ambas; intervalo desde 1 hasta 3 cm por 12 en la primera, la 5 y 14 en la segunda, y la 4, 6, 8, 9 y 11 en ambas.

Resultados similares obtuvieron Florido *et al.* (2008), Álvarez *et al.* (2009), Carrillo y Chávez (2010), Chávez *et al.* (2011) y Marín *et al.* (2019) en poblaciones silvestres y semi domesticadas, con diámetro ecuatorial desde 1.0 hasta 4.8 cm y polar desde 2.2 hasta 5.5 cm.

Esto apunta a que, probablemente, estas poblaciones que muestran altos valores en lóculos, peso y diámetros de fruto constituyen a materiales biológicos del tipo semi

domesticado, de acuerdo con lo referido por Frary *et al.* (2000) y Bai y Lindhout (2007).

Para semillas por fruto, las poblaciones mostraron alta variabilidad, siendo reagrupadas en 5 categorías de acuerdo con intervalos más amplios para una mejor interpretación.

La primera estuvo conformada por la población 7 y el testigo 17, con >120 semillas por fruto; la segunda por la 1 y 2 con intervalo desde >90 hasta 120; la tercera por la 15, 6, 3 y 10 junto al testigo 16, con intervalo desde >60 hasta 90, la cuarta por la 12, 8, 9, 11, 13 y 4 con intervalo desde >30 hasta 60; y la quinta por la 5 y 14 con <30 semillas.

Chamarro (1995) indica que, el número de semillas varía entre 50 a 200 en las variedades comerciales. Resultados similares al presente estudio fueron encontrados en materiales silvestres por Álvarez *et al.* (2009) y Benavides *et al.* (2011) que contabilizaron de 40 a 140 y de 40 a 60 semillas por fruto, respectivamente, incrementándose este número a medida que lo hace el tamaño de fruto.

Por otra parte, todas las poblaciones silvestres tuvieron más grados Brix que las variedades testigos Rio Grande y Floradade con 4.7 y 4.2, respectivamente, similar a lo medido por Santiago *et al.* (1998) de 4.0 y 3.9 en estas mismas variedades, respectivamente.

Para una mejor interpretación, estas se reagruparon en 3 categorías de acuerdo con intervalos. La primera se formó por las poblaciones 4, 5, 14, 6, 12, 2, 7, 3, 9 y 8 con intervalo >8 hasta 10 grados Brix; la segunda por la 10, 11 y 1 con intervalo >6 hasta 8; y la tercera por la 13 y 15 junto a los testigos desde >4 hasta 6.

En general, las plantas indeterminadas correspondieron a más grados Brix (promedio 8.45) que las semi determinadas (promedio 7.52). De igual manera, los frutos de colores

rojos (promedio 8.76), que naranjas (promedio 8.25), amarillos (promedio 7.45) y morado-naranjas (promedio 5.55), pero con mejor sabor estos últimos; asimismo, los tamaños muy pequeños (promedio 8.73), que intermedios (promedio 7.50) y pequeños (promedio 7.37), con comportamiento similar.

Varios estudios con materiales silvestres de tomate y sus parientes silvestres, han demostrado que éstos presentan caracteres de calidad de fruto, tanto de interés agronómico como industrial, siendo las fuentes de variación más importantes para la mejora de los materiales modernos de tomate (Rick, 1982; Díez y Nuez, 2008).

Uno de ellos son los sólidos solubles totales, que han sido estudiado por Juárez *et al.* (2009), Crisanto *et al.* (2010), Benavides *et al.* (2011), Chávez *et al.* (2011) y Méndez *et al.* (2011) que en colectas silvestres y nativas reportaron promedios de grados Brix de 6.9, 8.6, 11.2, 6.6 y 6.8, respectivamente, corroborando el potencial que poseen; contrario a los reportados por Bonilla *et al.* (2014), Maldonado *et al.* (2016), Tochiuitl *et al.* (2017) y Lara (2017) en estudio con materiales silvestres y tradicionales, con valores inferiores desde 3.0 hasta 6.6 grados Brix.

Análisis de correspondencia múltiple

A partir de 34 características morfo-agronómicas cualitativas, el análisis mostró que en las primeras tres dimensiones (Dim1, Dim2 y Dim3) se explicó el 42.06 % de la variabilidad fenotípica total.

Garzón (2011) encontró que la variación total de 36 introducciones de tomate tipo 'cherry' fue explicada con 76.98 % en las tres primeras dimensiones con 16 variables cualitativas. De igual manera, Pacheco *et al.* (2014) con 80.02 % en 102 colectas nativas y silvestres a partir de 27 variables cualitativas. En el presente estudio, el >80 % se alcanzó hasta la octava dimensión.

La variabilidad fenotípica de las poblaciones estuvo representada principalmente por características de formas, tamaños, colores y firmeza de fruto, y tipo de paría, terminación y proyección del estilo de inflorescencia. Resultados similares obtuvieron Chime *et al.* (2017), Florido *et al.* (2008), Torrico *et al.* (2014), Marín *et al.* (2016), Agudelo *et al.* (2011), Bonilla *et al.* (2014), Ríos *et al.* (2014) y Pacheco *et al.* (2014).

La primera dimensión (Dim1) explicó el 17.17 % de la variación y estuvo representada por las características de fruto, principalmente de forma y firmeza, asimismo por la de inflorescencia como paría múltiple y posición proyectado del estilo; la segunda dimensión (Dim2) explicó el 13.02% y representó mayormente a las características de planta relacionadas a hojas y crecimiento, seguidas por las de fruto como tamaño y color, así como los de plántula relacionados a intensidad del color del hipocótilo; en cambio, la tercera dimensión (Dim3) explicó el 11.81 % de la variación, representando mayormente a las características de fruto relacionadas al color.

Se seleccionaron cuarenta categorías con mayor contribución a las dos primeras dimensiones. La asociación de las poblaciones con estas características, permitió diferenciar a estos materiales en cuatro grupos (Figura 1).

El grupo I se formó con las poblaciones 7 (G), 10 (J) y 12 (L) con características propias de fruto como forma transversal irregular (iFT), firmeza intermedia a la cosecha (iFC) (junto con la 4), firmeza baja en estantería (dFE) (junto con la 4 y 6), forma achatada (aFF), color de epidermis incolora (iCE) (solo en la 10 y 12 junto con la 8), ápice con cicatriz irregular (iCA), ápice indentado (iFA) y apariencia 'cat-face' (pACF); así como las de inflorescencia, estilo ligeramente proyectado (IPE) y racimo tipo múltipara (mPI) (junto con la 5 y 14).

Cuadro 3. Matriz de coeficientes de correlación (r) de variables evaluadas en genotipos de tomate.

	EP	LS	AS	HS	FH	LH	AH	AR	DF	FI	LI	NP	NS	CO	CA	LE	EF	LP	LA	MF	AC	PF	DP	DE	LF	GP	GC	SF
LS	-0.33																											
AS	-0.31	0.41																										
HS	0.00	0.26	-0.27																									
FH	0.25	0.03	0.47	-0.13																								
LH	-0.42	0.35	0.36	-0.37	-0.04																							
AH	-0.52	0.38	0.26	-0.22	0.12	0.81																						
AR	-0.30	0.81	0.51	0.09	0.26	0.47	0.50																					
DF	0.23	0.05	0.38	-0.04	0.49	0.03	0.01	0.42																				
FI	0.15	0.15	-0.36	0.23	-0.22	0.11	-0.16	0.07	-0.14																			
LI	0.02	0.34	-0.15	0.22	-0.23	0.19	-0.12	0.22	-0.10	0.95																		
NP	-0.31	0.57	0.31	0.07	-0.07	0.09	0.10	0.45	0.17	-0.26	-0.12																	
NS	-0.27	0.49	0.22	0.04	-0.15	0.00	-0.01	0.33	0.04	-0.26	-0.14	0.97																
CO	-0.59	0.35	0.42	-0.08	0.28	0.49	0.48	0.47	0.10	0.20	0.27	0.21	0.13															
CA	-0.31	0.49	0.53	0.18	0.41	0.33	0.43	0.71	0.59	-0.05	0.08	0.29	0.09	0.60														
LE	-0.18	0.19	0.27	-0.04	0.71	0.21	0.40	0.37	0.25	0.01	-0.01	-0.04	-0.09	0.75	0.53													
EF	-0.34	0.41	0.12	-0.12	-0.17	0.06	0.12	0.33	0.05	-0.26	-0.17	0.90	0.92	0.14	0.08	-0.09												
LP	-0.38	0.53	0.16	0.06	-0.32	0.10	0.09	0.37	-0.21	-0.11	0.04	0.51	0.56	0.11	0.01	-0.05	0.37											
LA	-0.33	0.28	0.54	-0.18	0.38	0.45	0.37	0.49	0.65	-0.02	0.11	0.35	0.20	0.60	0.73	0.44	0.30	-0.18										
MF	-0.08	0.32	0.29	0.12	0.43	0.07	0.19	0.46	0.67	-0.02	0.05	0.42	0.28	0.54	0.74	0.55	0.31	-0.08	0.77									
AC	-0.37	0.29	0.59	-0.28	0.54	0.21	0.34	0.45	0.42	-0.40	-0.30	0.57	0.51	0.59	0.52	0.57	0.60	0.01	0.73	0.66								
PF	-0.41	0.16	0.42	-0.39	0.55	0.28	0.46	0.35	0.27	-0.33	-0.28	0.33	0.30	0.65	0.41	0.71	0.45	-0.05	0.66	0.57	0.93							
DP	-0.46	0.23	0.48	-0.40	0.47	0.39	0.44	0.39	0.25	-0.02	0.06	0.29	0.24	0.84	0.45	0.74	0.30	0.13	0.67	0.59	0.79	0.87						
DE	-0.49	0.35	0.55	-0.28	0.46	0.22	0.36	0.42	0.21	-0.34	-0.23	0.59	0.55	0.69	0.48	0.62	0.60	0.18	0.64	0.60	0.96	0.93	0.86					
LF	-0.27	0.44	-0.05	0.20	-0.16	-0.16	0.00	0.26	-0.17	-0.24	-0.17	0.80	0.84	0.05	0.05	-0.05	0.88	0.37	0.06	0.21	0.46	0.33	0.11	0.50				
GP	-0.27	0.28	0.57	-0.25	0.66	0.25	0.34	0.44	0.39	-0.20	-0.11	0.42	0.35	0.76	0.57	0.79	0.32	0.12	0.67	0.72	0.86	0.84	0.91	0.90	0.20			
GC	-0.44	0.30	0.38	-0.27	0.31	0.15	0.27	0.36	0.14	-0.33	-0.26	0.67	0.68	0.58	0.27	0.50	0.75	0.24	0.51	0.50	0.91	0.88	0.77	0.95	0.64	0.79		
SF	-0.47	0.20	0.37	-0.32	0.27	0.24	0.45	0.17	0.13	-0.46	-0.41	0.46	0.42	0.39	0.31	0.35	0.58	-0.11	0.58	0.40	0.80	0.79	0.55	0.77	0.43	0.55	0.74	
SS	0.14	0.14	-0.61	0.69	-0.52	-0.30	-0.21	-0.10	-0.40	0.36	0.30	-0.22	-0.20	-0.35	-0.13	-0.33	-0.25	0.10	-0.55	-0.28	-0.69	-0.68	-0.70	-0.63	0.09	-0.68	-0.59	-0.51

EP= días a emergencia de plántula, LS= longitud del segundo simpodio (cm), AS= diámetro del segundo simpodio (mm), HS= número de hojas por simpodio, FH= número de foliolos por hoja, LH= longitud de hoja (cm), AH= amplitud de hoja (cm), AR= altura al primer racimo (cm), DF= días a floración, FI= número de flores por inflorescencia, LI= longitud total de la inflorescencia (cm), NP= número de pétalos por flor, NS= número de sépalos por flor, CO= diámetro de corola (cm), CA= diámetro de cáliz (cm), LE= longitud de estambres (mm), EF= número de estambres por flor, LP= longitud total del pedicelo (mm), LA= longitud desde la inserción con el pedúnculo hasta el anillo de abscisión (mm), MF= días a maduración de fruto, AC= amplitud de cicatriz del pedicelo en el fruto (mm), PF= peso por fruto (g), DP= diámetro polar de fruto (cm), DE= diámetro ecuatorial de fruto (cm), LF= número de lóculos por fruto, GP= grosor de pericarpio (mm), GC= grosor de columela (mm), SF= número de semillas por fruto, SS= sólidos solubles totales (grados Brix).

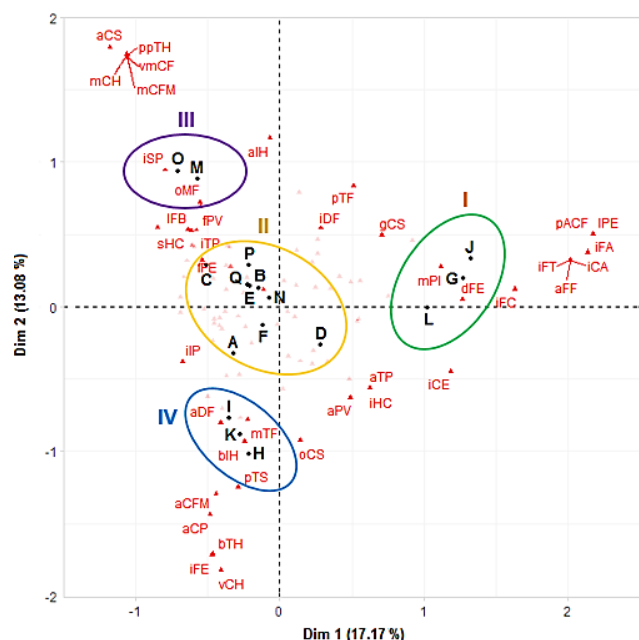


Figura 1. Biplot Dim1 y Dim2 para características morfo-agronómicas cualitativas asociadas a diecisiete poblaciones de tomate.

El grupo II fue el más diverso y se integró con las poblaciones 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E), 6 (F) y 14 (N), junto con las variedades testigos Rio Grande (P) y Floradade (Q). Este grupo compartió algunas características con los demás grupos, sin embargo, la más destacada fue la firmeza alta de fruto en estantería 10 ddc (fFE) (excepto en la 4 y 6) compartido con las poblaciones 11, 13 y 15. Además, por las características de hábito de crecimiento semideterminado (sHC) y tamaño de planta intermedio (iTP) en las poblaciones 1, 2, 3, 5 y 6 (55.56 %) (junto con la 13 y 15).

El grupo III se constituyó con las poblaciones 13 (M) y 15 (O) con características propias como frutos color verde-morado en estado inmaduro (vmCF) y morado-naranja en maduro (mCFM), hojas tipo papa (ppTH), hipocótilos color morado (mCH) y semillas color amarillo oscuro (aCS) (solo en la 15).

El grupo IV se estructuró por las poblaciones 8 (H), 9 (I) y 11 (K), con características propias de frutos color amarillo (aCFM) (solo en la 8), pericarpio color amarillo (aCP) (junto con la 1), firmeza intermedia en estantería 10 ddc (iFE) (solo en la 8 y 9), así como de hipocótilos color verde (vCH) (en la 8 y 11) y hojas tipo 'con brote' (bTH).

Análisis de componentes principales

A partir de 29 características morfo-agronómicas cuantitativas, el análisis mostró que los primeros tres componentes principales (CP1, CP2 y CP3) explicaron con el 67.41 % la variación fenotípica observada.

Los CP1 y CP2 contribuyeron con 40.34 % y 15.14 %, respectivamente, y estuvieron relacionados mayormente a características de fruto e inflorescencia, tal como reportaron Carrillo y Chávez (2010), Lobato *et al.* (2012) y Bonilla *et al.* (2014). En cambio, Domingos (2003), Benavides *et al.* (2011), Rodríguez *et al.* (2011), Cebolla *et al.* (2013), Torrico *et al.* (2014) y Marín *et al.* (2019) reportaron que los dos primeros componentes definen la variabilidad fenotípica total con características de fruto y de planta. El CP3 contribuyó con 11.93 % y fue definido principalmente por características de inflorescencia y planta.

Para la representación gráfica de la asociación de las poblaciones y los caracteres morfo-agronómicos, se consideró los dos primeros componentes principales que aislaron la variabilidad existente con 55.48 % y diferenció a estos en tres grupos, con separación de aproximadamente 120° uno del otro (Figura 2).

Benavides *et al.* (2011) y Carrillo y Chávez (2010) en los dos primeros componentes encontraron variación acumulada de 63.6 % para 6 poblaciones silvestres con 15 características y 68.5 % en 49 poblaciones semidomesticadas y silvestres con 20

características, respectivamente. Por otra parte, Bonilla *et al.* (2014) y Marín *et al.* (2019) en colectas de tomate nativo determinaron valores de 77.03 % para 40 colectas con 20 características y 69.6 % en 26 accesiones con 20 características.

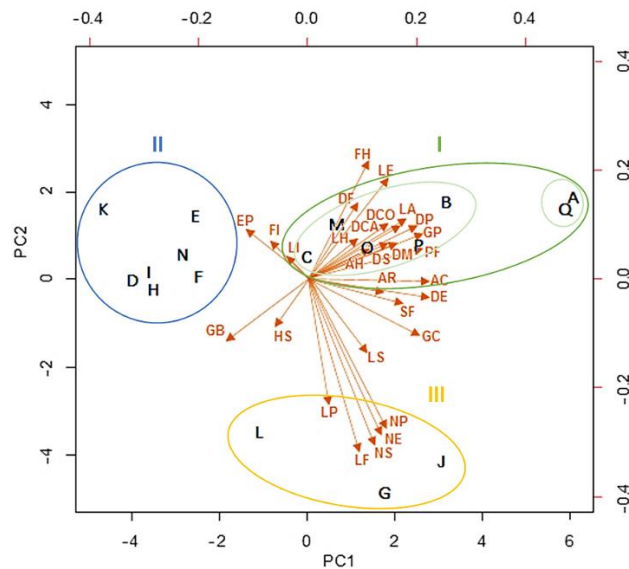


Figura 2. Biplot CP1 y CP2 para características morfo-agronómicas cuantitativas asociados a diecisiete poblaciones de tomate.

El grupo I, se diferenció en dos subgrupos y reunió a todos los colores de frutos. El primer subgrupo se formó con las poblaciones 3 (C) de color naranja, la 13 (M) y 15 (O) de color morado-naranja, con frutos de tamaño pequeño (3 a 5 cm); de igual manera, la población 2 (B) junto al testigo Rio Grande (P) con frutos de color rojo y de tamaño intermedio (5.1 a 8 cm). El segundo subgrupo se constituyó por la población 1 (A) de color amarillo y el testigo Floradade (Q) color rojo, corresponden a frutos de tamaño intermedio.

El grupo II, se integró por las poblaciones 4 (D), 5 (E), 6 (F) y 14 (N) con frutos color rojo, la 8 (H) con color amarillo y la 9 (I) y 11 (K) con color naranja; además, todas con frutos de tamaño muy pequeño (<3 cm).

El grupo III, se estructuró por las poblaciones 7 (G), 10 (J) y 12 (L) con frutos color rojo, tamaño pequeño (3 a 5 cm) y forma achatada.

CONCLUSIONES

Las poblaciones silvestres mostraron alta variabilidad fenotípica en las fases vegetativa y reproductiva, siendo las características de fruto e inflorescencia las que más aportaron a su discriminación.

Se detectaron materiales silvestres con características interesantes como frutos con alta firmeza, valores altos de grados Brix y colores rojos y morados intensos, asociados estos últimos a compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, con gran potencial para la mejora genética de las variedades modernas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, A., Ceballos, N., and Orozco, F. (2011). Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* Linnaeus). *Agronomía*, 19(2), 44–53.
- Ahuja, Y. (1968). Diallel analysis of locule number in the tomato. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 28(3), 323–331.
- Álvarez, J., Cortez, H., and García, I. (2009). Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (*Solanaceae*) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica*, 28, 139–159.
- Bai, Y., and Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100, 1085–1094.
- Bauchet, G., and Causse, M. (2012). Genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicum*) and its wild relatives. In

- M. Çalışkan (Ed.), *Genetic diversity in plants* (pp. 133–162). InTech.
- Benavides, A., Cisne, J., Querol, D., and Morán, J. (2011). Germoplasma de tomate silvestre (*Lycopersicum* spp.) en la reserva de recurso genéticos de Apacunca (RRGA), Chinandega. *La Calera*, 11(17), 33–40.
- Bioversity International. (1996). *Descriptores para el tomate (Lycopersicon spp.)*.
- Boada, H., Mejía, J., Ceballos, A., and Orozco, F. (2010). Evaluación agromorfológica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía*, 18(2): 59–67.
- Bonilla, O., Lobato, R., García, J., Cruz, S., Reyes, D., Hernández, E., and Hernández, A. (2014). Diversidad agromorfológica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 129–139.
- Caicedo, A., and Peralta, I. (2013). Basic information about tomatoes and the tomato group. Genetics, Genomics and Breeding of Tomato. In B. Liedl, J. Labate, J. Stommel, A. Slade and C. Kole (Eds.), *Genetics, genomics, and breeding of Tomato* (pp. 1–36). CRC Press.
- Carrillo, J., and Chávez, J. (2010). Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 1–6.
- Cebolla, J., Roselló, S., and Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Scientia Horticulturae*, 162, 150–164.
- Chamarro, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. In F. Nuez (Ed.), *El cultivo del tomate* (pp. 43–91). Ediciones Mundi-Prensa.
- Chávez, J., Carrillo, J., Vera, A., Rodríguez, E., and Lobato, R. (2011). *Utilización actual y potencial del jitomate silvestre mexicano*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Chime, A., Aiwansoba, R., Osawaru, M., and Ogwu, M. (2017). Morphological evaluation of tomato (*Solanum lycopersicum* Linn.) cultivars. *Makara Journal of Science*, 21(2), 97–106.
- Crisanto, A., Vera, A., Chávez, J., and Carrillo, J. (2010). Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 7–13.
- Díez, M., and Nuez, F. (2008). Tomato. In J. Prohens and F. Nuez (Eds.), *Vegetables II* (pp. 249–323). Springer.
- Domingos, J. (2003). *Análisis de la variabilidad en las especies del subgénero Eulycopersicon más relacionadas con el tomate cultivado* [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de València].
- FAOSTAT. (2020, March 2). *Datos sobre alimentación y agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Florido, M., Álvarez, M., Lara, R., Plana, D., Caballero, A., Florido, R., Shagardsky, T., and Moya, C. (2008). análisis de la variabilidad morfoagromorfológica en la colección de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) conservada *ex situ* en cuba. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 43–48.
- Florido, M., Álvarez, M., Lara, R., Plana, D., Varela, M., Shagardsky, T., and Moya, C. (2002). Caracterización morfoagromorfológica y bioquímica de 20 accesiones de tomate (*Lycopersicon*

- spp.). *Cultivos Tropicales*, 23(4), 61–69.
- Frary, A., Nesbitt, T., Frary, A., Grandillo, S., van der Knaap, E., Cong, B., Liu, J. Meller, J., Elber, R., Alpert, K., and Tanksley, S. (2000). *fw2.2*: a quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. *Science*, 289, 85–88.
- Garzón, J. (2011). *Caracterización y evaluación morfoagronómica de la colección de tomate tipo cherry de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira*. [Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia].
- Grandillo, S., and Tanksley, S. (1996). QTL analysis of horticultural traits differentiating the cultivated tomato from the closely related species *Lycopersicon pimpinellifolium*. *Theoretical and Applied Genetics*, 92, 935–951.
- Grandillo, S., Chetelat, R., Knapp, S., Spooner, D., Peralta, I., Cammareri, M., Perez, O., Tripodi, P., Termolino, P., Chuisano, M., Ercolano, M., Frusciante, L., Monti, L., and Pignone, D. (2011). *Solanum* sect. *Lycopersicon*. In C. Kole (ed.) *Wild crop relatives: genomics and breeding resources vegetables* (pp. 129–216). Springer Science+Business Media.
- Hernández, A., Lobato, R., Cruz, S., García, J., Chávez, J., Hernández, E., and Bonilla, O. (2015). Fruit size QTLs affect in a major proportion the yield in tomato. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(4), 402–409.
- Juárez, P., Castro, R., Colinas, T., Ramírez, P., Sandoval, M., Reed, D., Cisneros, L., and King, S. (2009). Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 5–9.
- Juárez, P., Castro, R., Colinas, T., Sandoval, M., Ramírez, P., Reed, D., Cisneros, L., and King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(2), 207–216.
- Kumar, P., Acharya, B., Dutta, S., Saha, S., Choudhury, J., and Hazra, P. (2019). Comparative expression of different characters in cultivated tomato and its wild relatives. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8, 3410–3419.
- Lara, M. (2017). *Caracterización morfológica y agronómica de una colección de variedades de tomate y pimiento de la comarca de la Vall d'Albaida*. [Master's thesis, Universitat Politècnica de València].
- Li, F., Xietian, S., Lang, W., Haixu, C., Yan, L., and Yan, Z. (2018). Heredities on fruit color and pigment content between green and purple fruits in tomato. *Scientia Horticulturae*, 235, 391–396.
- Lobato, R., Rodríguez, E., Carrillo, J., Chávez, J., Sánchez, P., and Aguilar, A. (2012). *Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate*. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura.
- Maldonado, R., Ramírez, P., González, V., Castillo, F., Sandoval, M., Livera, M., and Cruz, N. (2016). Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agro Productividad*, 9(12), 68–75.
- Marín, I., Lobato, R., Carrillo, G., Rodríguez, J., García, J., and Velasco, A. (2019).

- Riqueza alélica de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el mejoramiento genético. *Agrociencia*, 53(3), 355–370.
- Marín, I., Rodríguez, J., Sahagún, J., Hernández, L., and Velasco, A. (2016). Variación morfológica y molecular de 55 colectas de tomate nativo de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 117–131.
- Márquez, C., Cano, P., Chew, Y., Moreno, A., and Rodríguez, N. (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 183–189.
- Medina, C., and Lobo, M. (2001). Variabilidad morfológica en el tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) precursor del tomate cultivado. *Revista Corpoica*, 3(2), 39–50.
- Mejía, F. (2020). *Manejo de esquejes enraizados para la producción de jitomate en alta densidad de población, bajo invernadero e hidroponía*. [Unpublished master's thesis]. Universidad Autónoma Chapingo).
- Méndez, I., Vera, A., Chávez, J., and Carrillo, J. (2011). Calidad de frutos en variedades nativas mexicanas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *VITAE*, 18(1), 26–32.
- Morales, M., Espinosa, G., Morales, A., Sánchez, B., Jiménez, A., and Milián, Y. (2014). Caracterización morfológica y evaluación de resistencia a *Fusarium oxysporum* en especies silvestres del género *Solanum* sección *Lycopersicon*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 62–73.
- Pacheco, I., Chávez, J., and Carrillo, J. (2014). Relación entre variación ecológica-orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1), 28–39.
- Patiño, F., Cadima, X., Condori, B., and Crespo, M. (2015). Avances en la conservación de recursos genéticos de tomate en Bolivia (pp. 126-131). In A. Gandarillas and R. Oros (Eds.), *Informe Compendio 2011-2014*. Fundación PROINPA.
- Peralta, I., and Spooner, D. (2007) History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). In M. Razdan y A. Mattoo (Eds.), *Genetic Improvement of Solanaceous Crops* (Vol. 2: Tomato, pp. 1–24). Science Publishers.
- Rick, C. (1982). The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In I. Vasil, W. Scowcroft and K. Frey (Eds.), *Plant improvement and somatic cell genetics* (pp. 1–28). Academic Press.
- Rick, C. (1983). Genetic variability in tomato species. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1, 81–87.
- Ríos, O., Chávez, J., Carrillo, J., and Vera, A. (2014). Variación agromorfológica y cambios biofísicos poscosecha en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(2), 29–44.
- Rodríguez, G., Pratta, G., Zorzoli, R., and Picardi, L. (2005). Caracterización de la generación segregante de un híbrido de tomate con genes *nor* y silvestres. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(1), 41–46.
- Rodríguez, A., Florido, M., Dueñas, F., Muñoz, L., Hanson, P., and Álvarez, M. (2017). Caracterización morfoagronómica en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con resistencia a

- begomovirus. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 70–79.
- Rodríguez, G., Pratta, G., Zorzoli, R., and Picardi, L. (2011). Factores genéticos que afectan la calidad del fruto de tomate. In *Anales* (Tome LXIV, pp. 451–463). Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
- Sánchez, F., and Escalante, E. 1989. *Hidroponía: un sistema de producción de plantas* (3rd ed.). Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez, F., Moreno, E., Coatzín, R., Colinas, M., and Peña, A. (2010). Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 207–214.
- Santiago, J., Mendoza, M., and Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 59–65.
- Tanksley, S., and McCouch, S. (1997). Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277, 1063–1066.
- Tengö, M., and Belfrage, K. (2004). Local management practices for dealing with change and uncertainty: a cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. *Ecology and Society*, 9(3), 4.
- Tochihuitl, G., Saucedo, C., Arellano, G., García, C., and Suárez, J. (2017). Evaluación de la calidad de frutos de jitomate de cuatro poblaciones nativas y un híbrido comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 8(1), 47–52.
- Torrico, A., Crespo, M., and Rojas, J. (2014). Estudio morfológico y molecular de la diversidad genética del tomate silvestre (*Solanum* spp.) boliviano. *Revista de Agricultura*, 55, 20–28.
- TRADE MAP (2020, March 2). *Datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales*. Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas.
- Yanokuchi, Y., Fujino, M., Ishii, T., and Uchiumi, T. (1994). Inheritance of the sideshootless character and the length of pedicel in cherry tomatoes. *Tohoku Agricultural Research*, 47, 277–278.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA
COORDINACIÓN ESTUDIOS DE POSGRADO



Chapingo, Méx., a 10 de mayo de 2021

NÚMERO DE OFICIO: HOR2020/37

ASUNTO: Liberación Antecedentes académicos

M.C. GILBERTO DAVID VELÁZQUEZ CASTRO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E:

Por medio del presente, le comunico que el alumno **ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ** con número de matrícula **1813004-6** ha cubierto el número de créditos y la calificación requeridos (se anexa historial académico), ha cubierto el puntaje requerido en el examen TOEFL (se anexa comprobante) y ha escrito un artículo, con lo cual cumple con lo necesario para que se le autorice la realización del examen para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Biotecnología Agrícola.

Agradeciendo dar trámite al proceso para que el estudiante pueda llevar a cabo el examen de grado de manera virtual en fecha próxima, me despido de usted.

Agradeciendo de antemano su fina atención, quedo a sus órdenes.

Vo. Bo.

A T E N T A M E N T E

"Enseñar la Explotación de la Tierra, no la del Hombre"

DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DE LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO
DE POSGRADO DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
Y DEL INSTITUTO DE HORTICULTURA



C.c.p.- Dr. José Oscar Mascorro Gallardo. Coordinación de Estudios de Posgrado
del Departamento de Fitotecnia.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA

Chapingo, México

DEPTO. DE SERV. ESCOLARES
POSGRADO
MATRICULA: 1813004-6
CATEGORIA: Tiempo Completo

RELACION DE CALIFICACIONES

EL QUE SUSCRIBE: **JEFE DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO.**

H A C E C O N S T A R

QUE EL **C. ALVARADO RODRÍGUEZ ROMMEL IBRAHIN** ES ALUMNO (A)
DE ESTA UNIVERSIDAD Y CURSA ACTUALMENTE EL **QUINTO** SEMESTRE DEL
PROGRAMA DE:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN BIOTECNOLOGIA AGRICOLA
INGENIERIA GENETICA**

HABIENDO OBTENIDO LOS PROMEDIOS FINALES SIGUIENTES:

Clave	Nombre del curso	Gdo.	Créditos	Calificación
Primavera 2019		1		
BIO-615	BIOQUIMICA VEGETAL		3	88 (OCHENTA Y OCHO)
-				
BIO-611	GENETICA AVANZADA		3	90 (NOVENTA)
-				
BIO 601	SEMINARIO I		1	90 (NOVENTA)
-				
BIO-699	INVESTIGACION		2	98 (NOVENTA Y OCHO)
-				
BIO-612	BIOLOGIA MOLECULAR		3	93 (NOVENTA Y TRES)
-				
Verano 2019		1		
BIO-699	INVESTIGACION		1	98 (NOVENTA Y OCHO)
-				
BIO-613	METODOS DE BIOLOGIA MOLECULAR		3	95 (NOVENTA Y CINCO)
-				
Otoño 2019		2		

AL CONTESTAR ESTE OFICIO CITENSE
LOS DATOS CONTENIDOS EN EL CUADRO
DEL ANGULO SUPERIOR DERECHO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA

Chapingo, México

DEPTO. DE SERV. ESCOLARES
POSGRADO
MATRICULA: 1813004-6
CATEGORIA: Tiempo Completo

Otoño 2019		2		
BIO-622	INGENIERIA GENETICA DE PLANTAS		4	97 (NOVENTA Y SIETE)
-				
BIO-623	BIOLOGIA MOLECULAR DE PLANTAS		3	95 (NOVENTA Y CINCO)
-				
BIO-699	INVESTIGACION		2	90 (NOVENTA)
-				
BIO-626	CULTIVO DE CELULAS Y TEJIDOS		4	95 (NOVENTA Y CINCO)
-				
BIO-602	SEMINARIO II		1	98 (NOVENTA Y OCHO)
-				
Primavera 2020		3		
BIO-614	BIOLOGIA CELULAR		3	96 (NOVENTA Y SEIS)
-				
BIO-662	PROBLEMA ESPECIAL:		3	95 (NOVENTA Y CINCO)
	ANALISIS DE DIVERSIDAD GENETICA EN JITOMATE			
BIO-621	MARCADORES GENETICO MOLECULARES		4	96 (NOVENTA Y SEIS)
-				
BIO-699	INVESTIGACION		2	95 (NOVENTA Y CINCO)
-				
Verano 2020		3		
BIO-699	INVESTIGACION		1	96 (NOVENTA Y SEIS)
-				
Otoño 2020		4		

AL CONTESTAR ESTE OFICIO CITENSE
LOS DATOS CONTENIDOS EN EL CUADRO
DEL ANGULO SUPERIOR DERECHO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA

Chapingo, México

DEPTO. DE SERV. ESCOLARES
 POSGRADO
 MATRICULA: 1813004-6
 CATEGORIA: Tiempo Completo

Otoño 2020
 BIO-699 INVESTIGACION

4

2 96 (NOVENTA Y SEIS)

Total de créditos: 45

Promedio general ponderado: 94 (NOVENTA Y CUATRO)

ESCALA DE CALIFICACIONES DEL 000 AL 100
 MINIMA PARA SER APROBRADO 080

A SOLICITUD DEL(A) INTERESADO(A) Y PARA LOS FINES LEGALES QUE AL(A LA) MISMO(A) CONVenga, SE EXTIENDE LA PRESENTE RELACION DE CALIFICACIONES EN CHAPINGO, ESTADO DE MEXICO A LOS 18 dias del mes de Febrero de 2021.

A T E N T A M E N T E
 "ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
 LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"
 EL JEFE DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES


 M.C. GILBERTO DAVID VELÁZQUEZ CASTRO

(ADA) Materia Acreditada
 (REV) Materia Revalidada
 (MPR) Materia Pendiente por Reportar
 (RFE) Reporte al Final de Estudios
 (A) Materia Aprobada
 (R) Materia no Aprobada



OFICINA DE POSTGRADO
 DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES

**ORCID “Open Researcher and Contribution ID”
del comité evaluador y estudiante**

	Nombres y apellidos	ORCID
Estudiante	Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez	0000-0003-4655-0043
Presidente	Juan Porfirio Legaria Solano	0000-0002-1371-9482
Asesor 1	Juan Martínez Solís	0000-0002-8216-2702
Asesor 2	Jaime Sahagún Castellanos	0000-0003-0965-9672
Asesor 3	Alejandro Facundo Barrientos Priego	0000-0001-6555-7633

Correos del comité y estudiante

Nombres y apellidos		Correos
Estudiante	Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez	rommell90@hotmail.com
Presidente	Juan Porfirio Legaria Solano	legarias.juan@yahoo.com
Asesor 1	Juan Martínez Solís	juanmtzs91@gmail.com
Asesor 2	Jaime Sahagún Castellanos	jsahagunc@yahoo.com.mx
Asesor 3	Alejandro Facundo Barrientos Priego	abarrien@gmail.com



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
INSTITUTO DE HORTICULTURA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

Chapingo Méx., 30 de abril de 2021.

ASUNTO: Propuesta de fecha de examen de grado.

**DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DEL POSGRADO DE HORTICULTURA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PRESENTE**

Por este conducto se propone la fecha, hora y lugar para que se lleve a cabo el examen de grado del estudiante de Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez con Matrícula 1813004-6, lo cual se describe a continuación:

Día: lunes 24 de mayo de 2021

Hora: 16:00 a 17:00 pm horas

Lugar: en línea

Sin más por el momento y agradeciendo su valioso apoyo, le saludo cordialmente.

ATENTAMENTE

**DR. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO
DIRECTOR DE TESIS**

Chapingo a 07 de noviembre de 2020.

Asunto: Requisito del idioma.

07854

MC. GILBERTO DAVID VELAZQUEZ CASTRO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E

Por este conducto me permito enviar a usted el resultado de **C. ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ**, con matrícula **1813004-6**, de la Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola, quien presentó comprobante original y copia de examen TOEFL y en donde indica que obtuvo **480 puntos global**, por lo anterior, le informo que cubre el requisito establecido por el Programa, de acuerdo al Plan de Estudios del Posgrado.

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

LIC. MARÍA DE LA SOLEDAD
LEURA PORTUGUEZ
JEFA DEL CENTRO DE IDIOMAS

DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO
GALLARDO
COORDINADOR DE POSGRADO EN
FITOTECNIA

CENTRO DE
IDIOMAS

C.c.p.

Dr. Maximino Huerta Bravo. - Coordinador General de Estudios de Posgrado.
Dr. José Oscar Mascorro Gallardo. - Coordinador de Estudios de Posgrado de Fitotecnia
Interesado.

DBV* JOM*eph





**UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA
COORDINACION ESTUDIOS DE
POSGRADOS**



Chapingo, México 30 de abril de 2021

ASUNTO: Oficio de estudiante 30 días

**DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DE POSGRADO DE HORTICULTURA.
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PRESENTE**

Cordial Saludo,

Mediante la presente, me comprometo a entregar toda la documentación en físico correspondiente a los tramites de graduación en los respectivos lugares de entrega una vez que se reanuden las actividades presenciales en la UACH o cuando lo consideren necesario.

Sin otro particular, le saludo amablemente,

Atentamente,

Juan Porfirio Legaria Solano
Director de Tesis

Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez
Estudiante de Maestría en Ciencias en
Biotecnología Agrícola



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA
COORDINACIÓN DE POSTGRADO



SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE EXAMEN

NOMBRE:

Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez

FECHA DE NACIMIENTO: 23 de noviembre de 1990

CURP: AARR901123HNELDM02

GENERACIÓN: 2019-2020

MATRÍCULA: 1813004-6

FECHA DE INGRESO: 21 de enero 2019

DIRECCIÓN, ESTADO, CODIGO POSTAL, TELÉFONO: 1ra cerrada Francisco Dosamantes 10, Colonia San Luis Huexotla, Municipio de Texcoco de Mora, Estado de México. Código Postal: 56230. Tel: 5577584028

e-mail: rommell90@hotmail.com

TÍTULO DE LA TESIS: Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

PROGRAMA: Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola

LUGAR DE TRABAJO Y TELEFONO: Laboratorio de Biotecnología Agrícola Chapingo-INIFAP. Teléfono: 7771913365

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Datos	Presidente	Asesor	Asesor	Asesor
Grado y nombres completos	Dr. Juan Porfirio Legaria Solano	Dr. Juan Martínez Solís	Dr. Jaime Sahagún Castellanos	Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego
RFC	LESJ581227	MASJ601205	SACJ490122	BAPA611201UU2
Cedula Profesional del grado que corresponde	3034108	5035786	4970930	En trámite
Teléfono	7771913365	5567910942	-	5959573759
e-Mail	legarias.juan@yahoo.com	juanmtzs91@gmail.com	jsahagunc@yahoo.com.mx	abarrien@gmail.com
Procedencia	Biología	Horticultura	Horticultura	Horticultura

Chapingo, Méx., a 30 de abril de 2021.

Vo.Bo.

DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO
COORDINADOR DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE FITOTECNIA
Y DEL INSTITUTO DE HORTICULTURA

ACUERDO DEL C. DIRECTOR ACADÉMICO

En virtud de haber sido satisfechos todos los requisitos que establece el Reglamento General de Posgrado en vigor, esta Dirección tiene a bien conceder el **EXAMEN DE GRADO** al C.

ROMMEL IBRAHIN ALVARADO RODRÍGUEZ

De la Maestría en Ciencias en “**Biotecnología Agrícola**”, para el 24 de mayo de 2021 a las 16:00 horas con el siguiente Jurado:

PRESIDENTE	DR. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO
ASESOR:	DR. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS
ASESOR:	DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS
ASESOR:	DR. ALEJANDRO FACUNDO BARRIENTOS PRIEGO

CHAPINGO, MÉX., A 11 de mayo de 2021

A T E N T A M E N T E
"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN
DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"
EL DIRECTOR GENERAL ACADÉMICO

DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS

ACL*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO
REALIZACIÓN DE EXAMEN DE GRADO

FORMA RE-EG

AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR EXAMEN DE GRADO

En virtud de que el **C. Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez** ha satisfecho todos los requisitos que establece la normatividad universitaria para el caso, y el mismo lo ha solicitado, la Dirección General Académica emite el acuerdo siguiente:

SE LE AUTORIZA LA REALIZACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO DE: **MAESTRO EN CIENCIAS**

Lugar: Aula Virtual Z ID: 87699599552, Posgrado de Fitotecnia. Fecha: 24 de mayo de 2021. Hora: 16:00 horas

Programa: **BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA**

Nombre de la tesis **“CARACTERIZACIÓN MORFO-AGRONÓMICA DE 15 POBLACIONES SILVESTRES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)”**

Con el siguiente Jurado:

Presidente:	DR. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO
Asesor.	DR. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS
Asesor.	DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS
Asesor.	DR. ALEJANDRO FACUNDO BARRIENTOS PRIEGO

Atentamente, el Director General Académico

DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS

Nombre

Firma

11 de mayo de 2021.

Fecha

El sustentante deberá entregar los ejemplares de la tesis correspondiente, antes del examen de grado.

Nota: Esta autorización tiene una vigencia de 10 días hábiles a partir de la fecha de emisión.

ACTA DEL EXAMEN AUTORIZADO

Los miembros del jurado conocieron con anticipación la tesis y la aprobaron.

El Presidente del jurado instaló el mismo, con la sanción favorable del Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado correspondiente.

Después de realizado el examen, el jurado deliberó llegando al dictamen siguiente:

“ _____.”

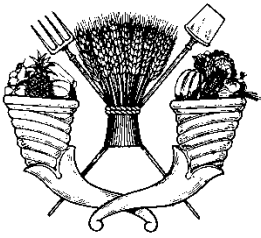
El examen se realizó el día 24 de mayo de 2021, en el recinto académico: Aula Virtual Z ID: 87699599552 del Posgrado de Fitotecnia a las 16:00 horas.

Los integrantes del jurado avalan lo asentado mediante su firma en dos tantos y el Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado correspondiente sanciona favorablemente el proceso.

Presidente:	DR. JUAN PORFIRIO LEGARIA SOLANO	Firma:
Asesor:	DR. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS	Firma:
Asesor:	DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS	Firma:
Asesor:	DR. ALEJANDRO FACUNDO BARRIENTOS PRIEGO	Firma:
Coordinador del Programa:	DR. JOSÉ OSCAR MASCORRO GALLARDO	Firma:

Notas: Es imprescindible entregar esta acta a Exámenes Profesionales para dar por concluido el proceso.

El segundo tanto de ésta, es para el interesado.



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Universidad Autónoma Chapingo

*Dirección General de Investigación y Posgrado
Coordinación General de Estudios de Posgrado*

Chapingo, México, 11 de mayo de 2021

M. C. GILBERTO DAVID VELAZQUEZ CASTRO
JEFE DEL DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E

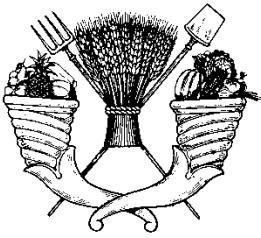
Me permito informarle que el C. **Rommel Ibrahin Alvarado Rodríguez** de la **Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola** concluyó satisfactoriamente su plan de estudios y elaboró la tesis "**Caracterización morfo-agronómica de 15 poblaciones silvestres de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**". Esta tesis y su jurado cumplen con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado y está libre de plagio. Anexo los documentos requeridos para dar trámite a la realización del examen de grado correspondiente

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo

A T E N T A M E N T E
"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Dr. Maximino Huerta Bravo
Coordinador General de Estudios de Posgrado
Universidad Autónoma Chapingo





"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Universidad Autónoma Chapingo

*Dirección General de Investigación y Posgrado
Coordinación General de Estudios de Posgrado*

No. Oficio: 55/2021

Asunto: Solicitud autorización examen de grado

Chapingo, México, 11 de mayo de 2021

**DR. ARTEMIO CRUZ LEÓN
DIRECTOR GENERAL ACADÉMICO
P R E S E N T E**

Por medio del presente, solicito a usted de la manera más atenta autorizar el Examen de Grado de Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola del **C. Rommel Ibrahin Alvarado Rodríguez** para el día **24 de mayo de 2021**, ya que ha cumplido con todos los requisitos establecidos en el Reglamento General de Estudios de Posgrado.

Estoy anexando el expediente de la persona antes indicada.

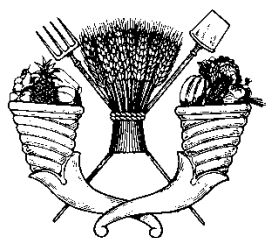
Agradeciendo de antemano su atención al presente, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
EL COORDINADOR GENERAL**

Dr. Maximino Huerta Bravo



C.c.p. Dr. José Oscar Mascorro Gallardo, Coordinador del Posgrado de Fitotecnia. Presente.



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Universidad Autónoma Chapingo

*Dirección General de Investigación y Posgrado
Coordinación General de Estudios de Posgrado*

Asunto: Solicitud de prórroga para examen de grado

Chapingo, México, 11 de mayo de 2021

**DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS
DIRECTOR GENERAL ACADÉMICO
PRESENTE**

Considerando que no se cumplió con el Artículo 53 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, por este medio solicito a usted de la manera más atenta considerar una prórroga para la presentación del examen de grado el 24 de mayo del año en curso del C. **Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez**, alumno del Programa **Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola**.

Atentamente

Maximino Huerta Bravo
Coordinador General de Estudios de Posgrado



C.c.p. Dr. José Oscar Mascorro Gallardo , Coordinador del Posgrado de Fitotecnia. Presente.
C.c.p. Alumno Rommel Ibrahim Alvarado Rodríguez. Presente.