

CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE 18 ACCESIONES DE TOMATE (*Solanum* spp.) CULTIVADAS BAJO INVERNADERO EN VENEZUELA

Iris Pérez-Almeida¹, Grigna Piña-Dumoulin², Delis Pérez², Nayiri Camacaro², Carlos Marín² y Fanny Requena-Rondón²

RESUMEN

La caracterización física y química constituye un insumo estratégico para programas de selección y mejoramiento del tomate, orientados a la conservación y el aprovechamiento de los recursos fitogenéticos locales, así como a la diversificación de productos hortícolas adaptados a las condiciones agroclimáticas del país. Se presentan los resultados de la caracterización de frutos de 18 accesiones de tomate (*Solanum* spp.) silvestres y cultivadas, recolectadas en diferentes regiones agroecológicas de Venezuela, y mantenidas en invernadero para su caracterización en el marco del Proyecto de Desarrollo de Germoplasma de Tomate, ejecutado por el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Se emplearon protocolos estandarizados para la medición de variables físicas (peso, tamaño, forma, número de lóculos, firmeza y rendimiento en jugo), y químicas (contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, pH y contenido de carotenoides totales). El análisis de varianza y las comparaciones de medias indicaron diferencias altamente significativas entre las accesiones para la mayoría de las variables estudiadas, evidenciando una amplia variabilidad genética entre los materiales evaluados. El análisis de componentes principales (ACP) redujo la dimensionalidad de los datos, explicando un 46,6 % de la varianza total en el primer componente (CP1) y un 15,1 % en el segundo (CP2). Asimismo, el análisis de conglomerados reveló la formación de cuatro grupos diferenciados, cuyas medias presentaron diferencias significativas en diversas variables físicas y químicas. Estos resultados permitieron identificar accesiones con características deseables para consumo fresco, procesamiento o mejora genética.

Palabras clave adicionales: Biodiversidad, caracterización, recursos fitogenéticos, *S. lycopersicum*, *S. pimpinellifolium*

ABSTRACT

Physico and chemical quality of 18 tomato accessions (*Solanum* spp.) under greenhouse in Venezuela

The physico and chemical characterization constitutes a strategic input for tomato selection and improvement programs aimed at the conservation and use of local phylogenetic resources, as well as the diversification of horticultural products adapted to the agroclimatic conditions of the country. This study presents the results of the characterization of fruits from 18 wild and cultivated tomato (*Solanum* spp.) accessions collected in different agroecological regions of Venezuela and grown in a greenhouse for characterization within the framework of the Tomato Germplasm Development Project, carried out by the National Center for Agricultural Research (CENIAP) of the National Institute for Agricultural Research (INIA). Standardized protocols were used to measure physical variables (weight, size, shape, number of locules, firmness, and juice yield) and chemical variables (total soluble solids content, titratable acidity, pH, and total carotenoid content). The analysis of variance and comparisons of means indicated highly significant differences among the accessions for most of the variables studied, which is evidence of a wide genetic variability among the materials evaluated. Principal component analysis (PCA) reduced the dimensionality of the data, explaining 46.6 % of the total variance in the first component (CP1) and 15.1 % in the second (CP2). Cluster analysis also revealed the formation of four distinct groups, whose means showed significant differences in several physicochemical variables. These results made it possible to identify accessions with desirable characteristics such as fresh consumption, processing or genetic improvement.

Additional Keywords: Biodiversity, characterization, plant genetic resources, *S. lycopersicum*, *S. pimpinellifolium*

Editor Asociado: Dra. Marie Tamara González

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa una de las hortalizas de mayor

importancia económica a nivel global y constituye un componente fundamental en la alimentación de diversas poblaciones (Regassa *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2017). En el contexto venezolano, esta

Recibido: Julio 23, 2025

Aceptado: Febrero 10, 2026

¹Dirección de Investigación, Universidad Ecotec, Samborondón, Ecuador.

e-mail: iperez@ecotec.edu.ec (autor de correspondencia)

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIA-CENIAP. Maracay 2101. Venezuela.

e-mail: gpdumol@gmail.com; ecohuertave@gmail.com; nayiricamacaroinia@gmail.com; carlmarinr@gmail.com; anteporterr@gmail.com

especie ocupa un papel relevante dentro del sistema de producción agrícola, siendo uno de los principales cultivos hortícolas, junto con la cebolla, distribuido en múltiples regiones del país. En 2022, la producción nacional de tomate alcanzó 182.735,32 toneladas (FAOSTAT, 2023). Esta hortaliza se cultiva en diferentes tipos de suelo y rangos altitudinales, y su producción se basa principalmente en el uso de cultivares introducidos con una adecuada adaptación a las condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras (Hidalgo y González, 2007).

La calidad del tomate, entendida como atributo integral del fruto, es determinante en su éxito comercial, debido a que condiciona la aceptación del consumidor, y se sustenta principalmente en las características físicas del fruto (color, textura, firmeza de la pulpa, harinosidad, suavidad y jugosidad) que contribuyen en la percepción global de su calidad (Kavitha *et al.*, 2014; Huda *et al.*, 2022; Chaudhary *et al.*, 2024). Más allá de su relevancia comercial, estos atributos organolépticos pueden considerarse indicadores indirectos de procesos bioquímicos asociados al estado de maduración y a la composición del fruto (p. ej., balance azúcares/ácidos y acumulación de pigmentos), por lo que su interpretación se fortalece cuando se sustenta en mediciones objetivas. En consecuencia, la evaluación de propiedades físicas y químicas permite caracterizar atributos relacionados con la aceptación sensorial del fruto, su vida útil postcosecha e idoneidad para procesos de transformación industrial.

Estos atributos son fundamentales, además, para satisfacer los requerimientos de la industria alimentaria (Peixoto *et al.*, 2018; Felföldi *et al.*, 2021), y están significativamente influenciados por el estado de maduración del fruto, lo cual repercute directamente sobre la estimación de los tiempos óptimos de cosecha, así como en la selección y el acondicionamiento del transporte. Debido a que la maduración modifica parámetros clave (p. ej., firmeza, color y otros rasgos asociados a la experiencia de consumo), cuantificar las variables físicas y químicas resulta crítica para estandarizar la calidad, reducir pérdidas y optimizar la comercialización. La comprensión de estos parámetros físicos resulta esencial para anticipar la percepción inicial del consumidor y mejorar las

estrategias de comercialización del producto (Pérez *et al.*, 2020; Roselló *et al.*, 2011).

El contenido nutricional del tomate también representa un aspecto de gran relevancia. De acuerdo con Amr y Raie (2022), este fruto, constituye una fuente importante de compuestos antioxidantes, como licopeno y β -caroteno, entre otros, asociados con efectos beneficiosos para la salud (Gupta *et al.*, 2011; Kavitha *et al.*, 2014). En este sentido, ciertos rasgos organolépticos, particularmente el color, pueden correlacionarse con la acumulación de carotenoides; sin embargo, su uso como aproximación requiere interpretarse con cautela y, de ser posible, complementado con mediciones físicas y químicas específicas. Por tanto, disponer de un germoplasma caracterizado integralmente desde los enfoques morfológico, molecular y agronómico, resulta imprescindible.

Contar con una base de datos amplia y bien estructurada resulta esencial para fortalecer los programas de mejoramiento genético, orientados a la obtención de cultivares con tolerancia al ataque de plagas y enfermedades, y que presenten atributos de calidad adecuados para consumo fresco o procesamiento industrial. Se estima que, a nivel mundial, aproximadamente el 80 % del germoplasma recolectado no ha sido caracterizado, y hasta un 95 % no ha sido evaluado en términos agronómicos, lo que limita el rol de los bancos de germoplasma a meros reservorios de semillas (Boada *et al.*, 2010).

En el presente estudio se realizó la caracterización física y química de accesiones de tomate provenientes de distintas regiones de Venezuela, con el propósito de identificar las propiedades organolépticas de sus frutos y generar información relevante que contribuya al fortalecimiento del Programa de Fitomejoramiento del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se utilizaron 18 accesiones de tomate conservadas *ex situ* en la colección activa de hortalizas de la Unidad de Conservación de Recursos Fitogenéticos del INIA-CENIAP (Venezuela), las cuales incluyeron 7 cultivares comerciales de *Solanum lycopersicum* L. y 11 accesiones nativas pertenecientes a *S. lycopersicum* var. cerasiforme y *S. pimpinellifolium*. El Cuadro 1 presenta los nombres comunes, la clasificación

según el tipo, la forma y el tamaño del fruto, de acuerdo con los descriptores internacionales establecidos por el International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1996). Las

evaluaciones físicas y químicas se efectuaron en frutos totalmente maduros, lo cual se identificó fenotípicamente al alcanzar su color característico en el 100 % de la superficie (Figura 1).

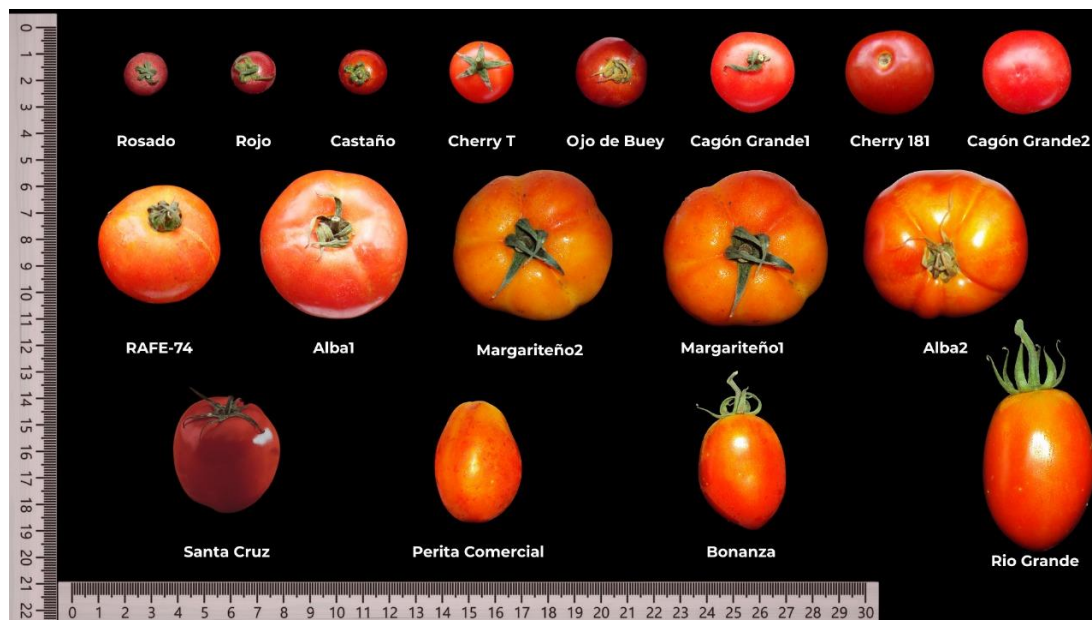


Figura 1. Frutos representativos de 17 accesiones de tomate. Las accesiones de frutos redondos se muestran en vista superior; las accesiones alargadas (Perita, Bonanza y Río Grande) se muestran en vista lateral para ilustrar mejor la forma del fruto (proporción De/Dd). Accesoión P7-INIA Lara: imagen no disponible.

Área experimental. Las plantas se establecieron en bolsas plásticas blanco y negro rellenas con sustrato Sunshine Mix #1 dentro de una casa de cultivo de dos naves, ubicada en Turmero, estado Aragua (10°13' N, 67°28' O; 446 msnm). Se utilizó riego por goteo con 2 aplicaciones diarias durante 21 min. La fertilización se ajustó a las etapas fenológicas (postrasplante, floración y fructificación), aplicando URFOS 44, nitrato de calcio, potasio y magnesio, ácido fosfórico y humus líquido con una asperjadora portátil.

El manejo agronómico incluyó poda de hojas basales, tutorado progresivo y control manual de malezas. La cosecha comenzó a los 100 días después del trasplante de forma escalonada y los frutos fueron trasladados al laboratorio para su caracterización física y química, y extracción de semillas.

Se registraron las variables físicas: peso del fruto (Pf), diámetro ecuatorial (De) y distal (Dd) con calibrador (vernier), calculándose la relación

De/Dd; número de lóculos (NL) por conteo tras corte transversal; y firmeza (F) con un penetrómetro. El rendimiento en jugo (RJ), se obtuvo a partir de pulpa homogenizada y se expresó como porcentaje respecto a la masa de la pulpa (% v/p).

Las variables químicas se determinaron siguiendo procedimientos AOAC (1990): sólidos solubles totales (SST, °Brix) mediante refractometría; pH con potenciómetro; acidez titulable (AT) por titulación con NaOH hasta punto final potenciométrico reportada como g de ácido cítrico por 100 g de muestra. Los carotenoides totales se determinaron por espectrofotometría según la metodología de McCollum.

La muestra analizada correspondió al 5 % del total por accesión. Se recolectaron entre 5 y 15 frutos por planta, con tres réplicas por tipo de análisis. Las evaluaciones físicas se realizaron en frutos individuales y las químicas en muestras compuestas de 1 a 15 frutos, según el tamaño.

Cuadro 1. Código de acceso, tipo, atributos morfológicos del fruto y procedencia de las accesiones evaluadas.

Código de Acceso	Nombre común	Tipo	Forma del Fruto	Tamaño del Fruto	Estado/país	Origen
OSP-HOR-08-104-1	CG1	Cherry o cereza (silvestre)	Redondeado	Pequeño	Trujillo	Colectado en Tirandá
OSP-HOR-08-104-2	CG2 (determinado)	Cherry o cereza (silvestre)	Redondeado	Pequeño	Trujillo	Colectado en Tirandá
OSP-HOR-08-331	Perita	Perita (Variedad comercial)	Piriforme	Intermedio	Carabobo	Variedad comercial (AgroVitas)
OSP-HOR-09-225	Margariteño1	Manzano arriñonado (Variedad local comercial)	Redondo Alargado	Intermedio	Nueva Esparta	Cultivar local mercado Isla de Margarita
OSP-HOR-10-296	Alba1	Manzano (Variedad comercial)	Ligeramente Achatado	Intermedio	Aragua	Variedad mejorada INIA
OSP-HOR-10-297	Margariteño2	Manzano arriñonado (Variedad local comercial)	Ligeramente Achatado	Pequeño	Nueva Esparta	Cultivar local Isla de Margarita
OSP-HOR-10-328	Castaño	Cherry (silvestre)	Redondeado	Muy Pequeño	Aragua	Donado por Mauro Albarracín
OSP-HOR-10-329-1	Rojo	Cherry (silvestre)	Redondeado	Muy Pequeño	Aragua	Segregación de color de OSP-HOR-10-323-8 *
OSP-HOR-10-329-2	Rosado	Cherry (silvestre)	Redondeado	Muy Pequeño	Aragua	Segregación de color de OSP-HOR-10-323-8 *
OSP-HOR-11-421	Material P7 INIA- Lara	Manzano (Líneas avanzadas F ₅)	Ligeramente Achatado	Pequeño	Lara	Líneas mejoradas INIA Lara
OSP-HOR-11-430	RAFE-74	Arriñonado (Variedad comercial)	Ligeramente Achatado	Intermedio	España	Variedad comercial Valencia
OSP-HOR-11-433	Cherry 181	Cherry (Variedad local comercial)	Ligeramente Achatado	Pequeño	España	Banco de germoplasma del COMAV **
OSP-HOR-12-143	Ojo de Buey	Cherry o cereza (Variedad local)	Ligeramente Achatado	Muy Pequeño	Aragua	Agricultores San Sebastián de los Reyes.

***Pérez et al.* Calidad física y química de 18 accesiones de tomate bajo invernadero**

Continuación Cuadro 1

Código de Accesión	Nombre común	Tipo	Forma del Fruto	Tamaño del Fruto	Estado/ país	Origen
OSP-HOR- 12-317	Cherry T	Manzano (Variedad comercial)	Ligeramente Achatado	Muy pequeño	Táchira	Cultivar comercial mercado
OSP-HOR- 12-409	Río Grande	Perita (Variedad comercial)	Alargado Piriforme	Intermedio	Italia	Variedad comercial (Orto Natura)
OSP-HOR- 12-533	Santa Cruz	Manzano (Variedad comercial)	Redondo Alargado	Pequeño	Brasil	Variedad comercial (Feltrin)
OSP-HOR- 12-594	Alba2	Manzano (Variedad comercial)	Ligeramente Achatado	Intermedio	Lara	Variedad comercial INIA
OSP-HOR- 13-644	Bonanza	Perita (Variedad comercial)	Redondo Alargado	Intermedio	Desconocido	Cultivar introducido de origen desconocido

*Biscucuy, Edo. Portuguesa; **Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana.

Análisis Estadístico. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para identificar diferencias estadísticas entre los caracteres evaluados. Se usó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para explorar patrones de agrupamiento, complementado con un análisis de conglomerados basado en la distancia euclidiana al cuadrado y el método de enlace de Ward. Todos los análisis estadísticos se efectuaron utilizando el programa InfoStat (v. 2020).

RESULTADOS

Análisis de Varianza. Este reveló diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre las accesiones para la mayoría de las variables físicas y químicas evaluadas (Cuadro 2). El modelo mostró alta capacidad explicativa para los parámetros físicos (De, Dd, Pf) y la acidez

titulable (AT), con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,7. Asimismo, explicó adecuadamente la variación en el número de lóculos (NL) y los sólidos solubles totales (SST), con R^2 entre 0,6 y 0,7. La explicación fue moderada para la relación De/Dd y la firmeza (F), con R^2 entre 0,4 y 0,5, y más limitada para el rendimiento en jugo (RJ) y carotenoides totales (Car), con valores inferiores a 0,4. Los coeficientes de variación (CV) fueron aceptables en la mayoría de las variables, aunque se observó mayor variabilidad en F, Pf, NL, RJ y Car, con un valor máximo de 61,14 % en la F.

Comparación de medias de las variables físicas. El Pf presentó diferencias altamente significativas entre accesiones (Cuadro 3). Las accesiones con mayor peso fueron Margariteño1, Margariteño2 y Alba1; mientras que Rosado, Cherry T, Castaño y Rojo mostraron los menores valores promedio.

Cuadro 2. Diferenciación entre accesiones: significancia (p -valor), ajuste (R^2) y variabilidad (CV) del ANOVA por variable.

VARIABLES	p -valor	R^2	CV
Pf (g)	0,0001	0,80	35,35
De (mm)	0,0001	0,93	13,31
Dd (mm)	0,0001	0,91	15,02
De/Dd	0,0001	0,49	9,44
NL	0,0001	0,67	29,13
F (kg f)	0,0001	0,44	61,14
RJ (% v/p)	0,0001	0,33	35,56
SST (°Brix)	0,0001	0,64	16,10
AT (g·100 g ⁻¹)	0,0001	0,73	21,20
pH	0,0001	0,33	1,97
Car (mg·100 g ⁻¹)	0,0001	0,36	36,25

p -valor $\leq 0,0001$; R^2 : Coeficiente de determinación; CV: Coeficiente de variación; Pf: Peso fruto; De: Diámetro ecuatorial; Dd: Diámetro distal; De/Dd: Relación Diámetro ecuatorial/Diámetro distal; NL: Número de Lóculos; F: Firmeza; RJ: Rendimiento en Jugo; SST: Sólidos Solubles Totales; AT: Acidez titulable (ácido cítrico); Car: Contenido de carotenoides.

La variable De mostró una tendencia similar al Pf, siendo Margariteño1 el material con mayor diámetro ($59,5 \pm 2,53$ mm) y Rosado el de menor valor ($15,97 \pm 0,42$ mm). El Dd también presentó diferencias significativas. Río Grande registró el mayor valor promedio ($60,70 \pm 1,21$ mm), mientras que Rosado, Rojo y Castaño mostraron los valores más bajos. La accesión RAFE-74 presentó un valor intermedio ($37,64 \pm 1,11$ mm),

significativamente diferente de ambos extremos. En cuanto a la relación De/Dd, la mayoría de los frutos tendieron a formas redondeadas. No obstante, Alba2 presentó frutos achatados ($1,26 \pm 0,03$), típicos del tipo Manzano, mientras que Río Grande mostró frutos alargados o piriformes ($0,70 \pm 0,03$). Accesiones como Cherry T se agruparon en el rango de 1,03 a 1,11, correspondiente a frutos redondos.

Pérez et al. Calidad física y química de 18 accesiones de tomate bajo invernadero

El NL fue significativamente diferente entre accesiones ($p = 0,0001$), con alta variabilidad (CV =29,13 %). Los valores más altos se

observaron en RAFE-74 ($5,25 \pm 0,19$) y Margariteño1 ($5,00 \pm 0,46$), mientras que Rojo presentó el menor NL ($1,39 \pm 0,07$).

Cuadro 3. Comparación de medias de variables físicas de 18 accesiones de tomates (*Solanum* spp.) silvestres y cultivados en Venezuela.

Nombre común	Pf	De	Dd	De/Dd	NL	F	RJ
CG1	17,93 efg	32,31 fg	30,91 f	1,05 def	2,13 defg	0,23b	39,33 b
CG2	14,34 efg	30,05 gh	29,45 f	1,03 f	2,34 de	0,18 bcd	34,20 b
Perita	41,40 cdef	35,22 ef	45,72 bcd	0,80 gh	2,00 defg	0,39 a	21,08 b
Margariteño1	90,00 a	59,5 a	50,00 b	1,20 ab	5,00 a	0,43 a	33,88 b
Alba1	79,85 a	56,02 a	45,66 bcd	1,23 ab	3,69 b	0,40 a	32,83 b
Margariteño2	87,17 a	56,10 a	49,70 bc	1,15 abcdef	3,33 bc	0,43 a	30,26 b
Castaño	3,03 g	16,53 j	14,83 h	1,12 bcdef	1,74 efg	0,13 bcd	27,86 b
Rojo	2,63 g	16,08 j	15,58 h	1,03 ef	1,39 g	0,08 d	28,98 b
Rosado	2,60 g	15,97 j	15,58 h	1,03 f	1,41 fg	0,09 cd	35,86 b
P7 INIA-Lara	66,82 abc	49,16 b	42,51 d	1,16 abcd	3,76 b	0,18 bcd	47,13 ab
RAFE-74	45,58 bcde	44,36 c	37,64 e	1,18 abc	5,25 a	0,18 bcd	35,31 b
Cherry 181	16,88 efg	31,79 fg	29,62 f	1,07 cdef	2,68 cd	0,18 bcd	32,49 b
Ojo de Buey	9,37 fg	25,92 hi	22,62 g	1,15 abcde	2,31 de	0,12 bcd	46,49 ab
Cherry T	7,93 g	23,81 i	21,41 g	1,11 bcdef	3,17 bc	0,16 bcd	38,27 b
Río Grande	58,50 abcd	42,34 cd	60,70 a	0,70 h	2,20 def	0,39 a	26,34 b
Santa Cruz	33,00 defg	38,73 de	43,23 d	0,90 g	2,67 cd	0,21 b	34,88 b
Alba2	74,70 ab	55,05 a	44,36 d	1,26 a	3,60 b	0,20 bc	34,83 b
Bonanza	33,77 cdefg	37,15 e	45,01 cd	0,85 g	2,13 defg	0,21 b	71,01 a

Pf: Peso fruto (g); De: Diámetro ecuatorial (mm); Dd: Diámetro distal (mm); De/Dd: Relación Diámetro ecuatorial/Diámetro distal; NL: Número de lóculos; F: Firmeza (kg f); RJ: Rendimiento en Jugo (% v/p), Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Las accesiones con mayor F fueron Margariteño1, Margariteño2, Alba1, Río Grande y Perita, mientras que Rojo y Rosado presentaron los menores valores, siendo clasificadas como las más blandas. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas, en tanto que el resto de las accesiones no mostró variaciones relevantes entre sí. Alba2 exhibió un valor intermedio de firmeza, significativamente distinto tanto de los grupos más firmes como de los más blandos.

En cuanto a RJ, Bonanza destacó con el valor más alto ($71,01 \pm 5,02$ % v/p), significativamente superior al resto de las accesiones. P7 INIA-Lara y Ojo de Buey presentaron rendimientos intermedios, mientras que las demás accesiones registraron valores más bajos, sin diferencias estadísticas entre ellas.

Comparación de medias de variables

químicas. Todas las variables químicas evaluadas mostraron diferencias significativas entre accesiones (Cuadro 4). Las accesiones de menor peso y tamaño (Rojo y Rosado) registraron los valores más altos de SST, con promedios de $7,78 \pm 0,10$ y $7,71 \pm 0,12$ °Brix, respectivamente. En contraste, Margariteño1, de mayor tamaño, presentó el menor contenido de SST ($4,25 \pm 0,70$ °Brix), con diferencias estadísticas significativas respecto a las demás accesiones. La AT mostró un patrón similar. Rosado presentó el valor más alto ($0,792 \pm 0,039$ g·100 g⁻¹), significativamente superior al resto, mientras que Santa Cruz registró el valor más bajo ($0,180 \pm 0,062$ g·100 g⁻¹) (Cuadro 4).

El mayor valor de pH se registró en Santa Cruz ($4,49 \pm 0,06$), mientras que el más bajo correspondió a Rosado ($4,16 \pm 0,038$), ambos con diferencias estadísticamente significativas con respecto al

resto de las accesiones (Cuadro 4). En cuanto al contenido de Car, Ojo de Buey presentó el valor más alto ($0,389 \pm 0,03 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), y Margariteño2

el más bajo ($0,150 \pm 0,036 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). En esta variable, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las demás accesiones.

Cuadro 4. Perfil químico del fruto en accesiones de tomate (*Solanum* spp.): comparación de medias de SST, AT, pH y Car.

Nombre Común	SST	AT	pH	Car
CG1	4,64 cde	0,427 def	4,26 cd	0,253 abcd
CG2	4,41 cde	0,417 def	4,26 cd	0,304 abcd
Perita	4,82 cde	0,243 fg	4,25 cd	0,350 abc
Margariteño1	4,25 e	0,300 efg	4,41 abc	0,259 abcd
Alba1	4,82 cde	0,371 defg	4,28 bcd	0,200 abcd
Margariteño2	4,37 de	0,307 defg	4,36 abc	0,150 d
Castaño	5,58 bcd	0,323 defg	4,46 ab	0,187 bcd
Rojo	7,78 a	0,635 abc	4,22 cd	0,290 abcd
Rosado	7,71 a	0,792 a	4,16 d	0,361 ab
P7 INIA-Lara	4,57 cde	0,503 bcd	4,27 bcd	0,226 abcd
RAFE-74	6,13 b	0,345 defg	4,38 abc	0,166 cd
Cherry 181	5,21 bcde	0,288 efg	4,39 abc	0,172 bcd
Ojo de Buey	5,62 bc	0,473 cde	4,35 abcd	0,389 a
Cherry T	4,45 cde	0,405 def	4,27 cd	0,219 abcd
Río Grande	6,43 b	0,697 ab	4,38 abc	0,342 abc
Santa Cruz	4,57 cde	0,180 g	4,49 a	0,250 abcd
Alba2	5,27 bcde	0,283 efg	4,38 abc	0,191 bcd
Bonanza	4,63 cde	0,283 efg	4,30 abcd	0,182 bcd

SST: Sólidos Solubles Totales (°Brix); AT: Acidez titulable, ácido cítrico ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); Car: Contenido de carotenoides ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Análisis de Componentes Principales. El primer componente principal (CP1) se asoció con variables relacionadas con el tamaño del fruto (De, Dd, Pf); y en el segundo componente (CP2), la mayor carga factorial correspondió a la relación De/Dd (0,92), lo que sugiere que este eje refleja la mayor variabilidad genética entre las accesiones (Cuadro 5). El CP3 y el CP4 mostraron las cargas factoriales más altas en la variable RJ (0,67 y 0,65, respectivamente), lo cual está altamente relacionado al tamaño de los frutos. En la Figura 2 se observa la distribución de las accesiones en función de los componentes CP1 (46,6 %) y CP2 (15,1 %), que en conjunto explican el 61,7 % de la variación total. El análisis mostró que, en el CP1, las variables con mayores cargas factoriales en valor absoluto fueron: De = 0,93; Dd = 0,84; F = 0,71; Pf = 0,90; AT = -0,76; y SST = -0,77.

Análisis de Conglomerados. El dendrograma generado (Figura 3) permitió clasificar las accesiones en 4 grupos principales. El Grupo 1 incluyó a RAFE-74, P7 INIA-Lara, Alba2, Margariteño1,

Alba1 y Margariteño2. El Grupo 2 agrupó a Bonanza, Castaño, Cherry 181 y Santa Cruz. El Grupo 3 estuvo conformado por Perita y Río Grande; mientras que el Grupo 4, integró a CG2, CG1, Ojo de Buey, Cherry T, Rojo y Rosado.

Análisis de varianza. El ANOVA evidenció efectos significativos en todos los parámetros evaluados. Las variables independientes, empleadas en este estudio, explicaron de manera efectiva gran parte de la variabilidad observada en las dimensiones físicas del fruto y en la AT. Sin embargo, su capacidad explicativa fue menor en variables como F, pH y Car, lo cual podría atribuirse a la alta influencia del componente genético inherente a cada accesión. Los CV fueron en general aceptables, aunque mostraron variabilidad dependiente de la naturaleza de cada parámetro evaluado.

DISCUSIÓN

Comparación de medias de variables físicas. El análisis de los grupos mostró que las accesiones

con mayores valores de Pf, De, Dd y F correspondieron, en su mayoría, a materiales locales como Margariteño1 y Margariteño2, así como a variedades mejoradas por el INIA, tales como P7 INIA-Lara, Alba2 y Alba1. También se destacaron dos cultivares comerciales de origen foráneo: Río Grande (Italia) y RAFE-74 (España), lo que evidencia el potencial de estos materiales tanto para consumo directo como para programas de cruzamiento. Los resultados revelan diferencias

significativas cruciales para seleccionar accesiones según su destino comercial. Por ejemplo, los frutos con mayor Pf y F son ideales para consumo en fresco. En contraste, aquellos con alto rendimiento (RJ y SST) son más adecuados para la formulación de jugos, salsas u otros productos terminados. Esta variabilidad fenotípica constituye una base valiosa para los programas de mejoramiento genético orientados a diferentes usos comerciales.

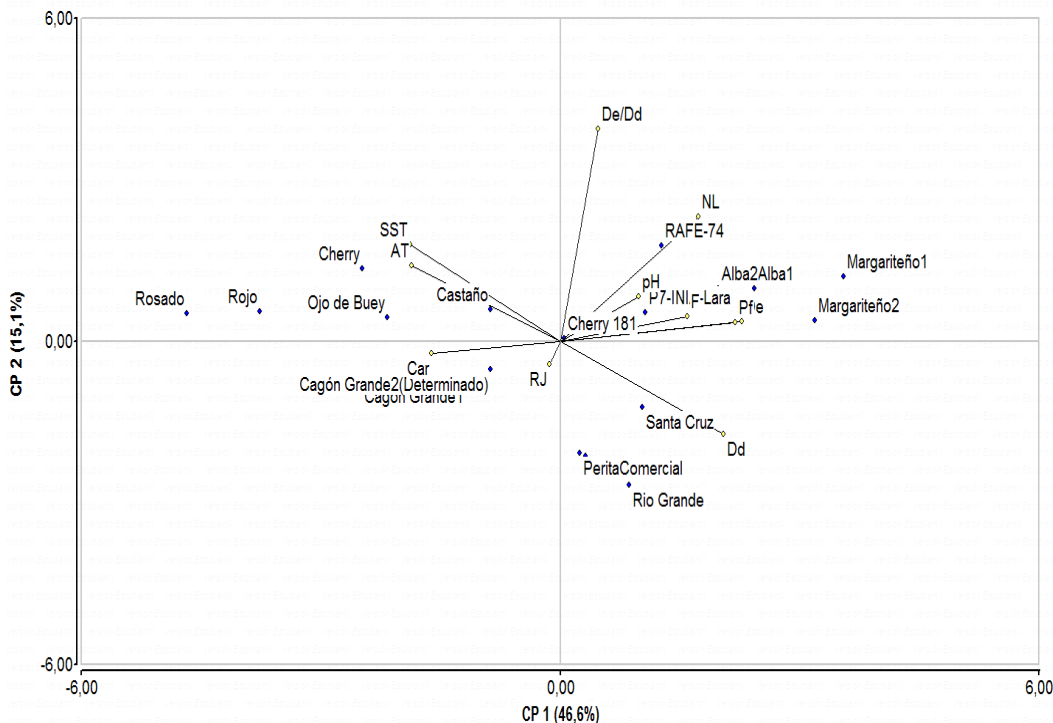


Figura 2. Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP) basado en variables físicas y químicas de accesiones de tomate.

Según la Norma CODEX STAN 293-2007 (FAO, 2007), los tomates se clasifican con base en el De en una escala de calibre que va desde el 0 (≤ 20 mm) hasta el 10 (> 102 mm). Paralelamente, la FAO (2006) propone una clasificación por peso, diferenciando entre tomates pequeños (≤ 60 g), medianos (60–80 g) y grandes (> 80 g). De acuerdo con estos criterios, las accesiones Margariteño evaluadas en este estudio se ubican en el calibre 7 según la norma de la FAO (2007) y en la categoría de frutos grandes conforme a FAO (2006), en concordancia con sus características morfológicas observadas.

En cuanto a las variedades comerciales desarrolladas por el INIA no se encontraron referencias específicas en la literatura. No

obstante, con base en los parámetros morfológicos obtenidos en este estudio, estas accesiones pueden clasificarse como calibre 6 según la citada Norma CODEX (FAO, 2007) y como frutos pequeños según la clasificación por peso de la FAO (2006), lo que coincide con los estándares de calidad previamente establecidos.

La variedad Río Grande, de tipo Roma, se caracteriza por frutos oblongos, de color rojo intenso, carnosos, con bajo contenido de semillas y, ocasionalmente, con un ombligo puntiagudo en el extremo distal. Su peso promedio, según la literatura, oscila entre 70 y 100 g; sin embargo, en el presente estudio se observó un valor inferior (58,50 g).

De acuerdo con los estándares de la FAO (2006; 2007), el grupo compuesto por Perita, Bonanza y Santa Cruz se ubica en el calibre 4 (diámetro entre 35 y 40 mm), clasificado como frutos de categoría pequeña por peso. En tanto, el grupo

formado por CG1, Cherry 181, CG2 y Ojo de Buey, todas accesiones tipo Cherry, presentó calibres entre 3 y 4, también correspondientes a frutos de bajo peso.

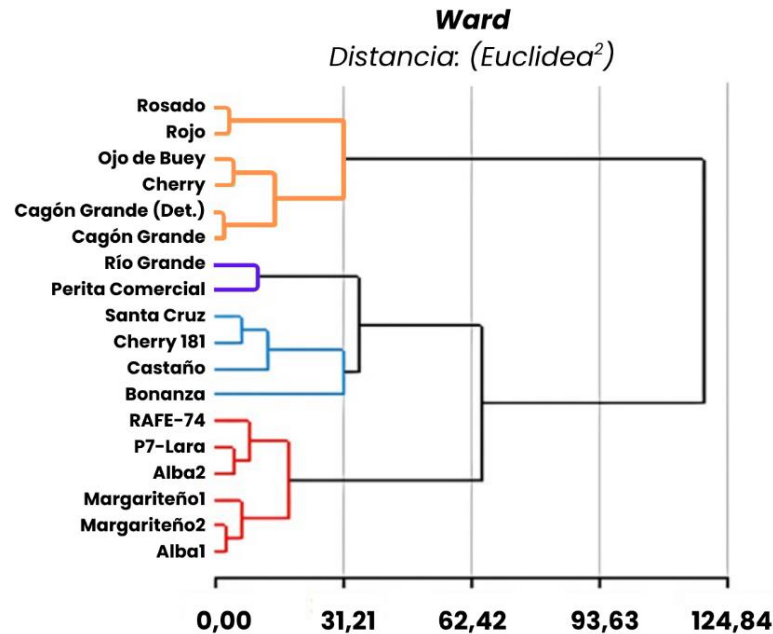


Figura 3. Estructura de similitud entre accesiones: dendrograma de agrupamiento jerárquico (método Ward; distancia euclídea²) a partir de variables fisicoquímicas.

Cuadro 5. Contribución de las variables físicas y químicas a los componentes principales: matriz de cargas factoriales (CP1–CP4) del Análisis de Componentes Principales (ACP).

Variabes	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
De	0,93	0,09	0,29	-0,16
Dd	0,84	-0,40	0,25	-0,19
De/Dd	0,20	0,92	0,08	0,07
NL	0,71	0,54	0,22	0,05
F	0,65	0,11	-0,52	-0,30
SST	-0,77	0,42	-0,03	-0,16
Pf	0,90	0,08	0,24	-0,31
AT	-0,76	0,33	0,33	-0,29
pH	0,40	0,19	-0,54	0,61
Car	-0,66	-0,05	0,08	-0,27
RJ	-0,06	-0,10	0,67	0,65

Correlaciones con las variables originales. Correlación cofenética: 0,987; Variables consideradas: De: Diámetro ecuatorial; Dd: Diámetro distal; De/Dd: Relación Diámetro ecuatorial/Diámetro distal; NL: Número de Lóculos; F: Firmeza; SST: Sólidos Solubles Totales; Pf: Peso del Fruto; AT: Acidez Titulable; Car: Contenido de Carotenoides; RJ: Rendimiento en Jugo.

Un grupo adicional incluyó materiales con los menores valores de peso, diámetro y firmeza, como Castaño, Rojo y Rosado, siendo este último el más ligero. Estas accesiones, clasificadas dentro del calibre 0 (≤ 20 mm) y con pesos entre 2,60 y 3,03 g, corresponden a tomates tipo Cherry o cereza de origen silvestre (*S. pimpinellifolium*). Estos resultados coinciden con los de Araujo (2023), quien atribuyó la reducción en el tamaño del fruto a la acción de poligenes en especies silvestres como *S. lycopersicum* var. cerasiforme y *S. pimpinellifolium*.

Por su parte, la accesión RAFE-74 presentó el mayor NL; al respecto, Lippman y Tanksley (2001) reportaron que el NL en los frutos de tomate está determinado por el número de carpelos de la flor y puede variar entre 2 y 4 en las especies silvestres, y más de 15 en las especies cultivadas. Esta variación puede explicarse por factores genéticos y condiciones agroambientales, como el clima, el sistema de fertilización, el manejo hídrico, el tipo de cultivo y el estado fisiológico del fruto al momento de la cosecha (Alvarado *et al.*, 2019).

El NL puede influir en la firmeza del fruto. Monge y Loria (2019) encontraron una relación directa entre un mayor NL y mayor firmeza en tomates tipo Manzano (≈ 6 lóculos/fruto); en contraste con frutos tipo Cherry, que presentaron menor firmeza y un promedio de 2 lóculos por fruto.

Comparación de medias de variables químicas. Los resultados sugieren la existencia de una relación inversa entre las variables químicas y físicas en las accesiones que presentaron mayor variabilidad estadística, aunque esta asociación no se tradujo en una formación consistente de grupos. Las accesiones Rojo y Rosado destacaron por presentar los valores más altos de SST, mientras que Margariteño1 registró el más bajo. Estos hallazgos coinciden con los de Magallanes *et al.* (2020), quienes describieron una asociación genética negativa entre el tamaño del fruto y la concentración de azúcares, indicando que los tomates tipo cereza, de menor tamaño, tienden a presentar mayor concentración de SST debido a su mayor capacidad para acumular fotosintatos.

Por su parte, la accesión Santa Cruz presentó el valor más bajo de AT, lo cual es coherente con su descripción como variedad de crecimiento indeterminado y frutos de sabor ligeramente ácido. En contraste, la accesión Rosado registró el mayor valor de AT. La acidez total en el tomate es

atribuida a la presencia de diversos ácidos orgánicos, siendo el ácido cítrico el principal, con valores que comúnmente oscilan entre 0,35 y 0,40 g·100 mL⁻¹ de jugo (García *et al.*, 2010). Durante la maduración se incrementa la concentración de ácidos cítrico y glutámico, mientras que el ácido málico tiende a disminuir. El contenido de AT medido en las 18 accesiones evaluadas estuvo por debajo del rango entre 1,04 y 2,44 % de ácido cítrico, obtenido por Ceballos *et al.* (2012) en tomate.

Con respecto al pH, se observó una relación inversa a los valores de AT, especialmente en las accesiones Santa Cruz y Rosado. Todas las accesiones evaluadas se ubicaron dentro del rango óptimo de pH para tomate, entre 4,2 y 4,5 siendo poco frecuente que se superen estos valores. La norma Codex (2007) establece que el pH no debe superar el valor de 4,6. Este rango garantiza una adecuada estabilidad microbiológica durante el procesamiento industrial, lo cual facilita su manejo tecnológico. Según Ciruelos *et al.* (2008), dicho valor de pH convierte al tomate en un producto relativamente fácil de procesar a nivel industrial, contribuyendo a la seguridad y la calidad de los productos derivados.

La accesión con mayor Car fue Ojo de Buey, un tomate silvestre perteneciente a *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme, caracterizado por un tamaño pequeño y excelente sabor. Lenucci *et al.* (2006) con base en evaluaciones realizadas en 14 variedades Cherry e híbridos de alta pigmentación cultivados en el Sur de Italia, reportaron que entre ellos hubo diferencias significativas entre el contenido de licopeno y betacarotenos, además de otros pigmentos.

Análisis de componentes principales. El CP1 agrupa variables morfológicas de tamaño y firmeza, mientras que el CP2 se asocia a la forma del fruto (relación De/Dd); resultado que coincide con el encontrado por Canul *et al.* (2022), quienes reportaron al tamaño y el peso del fruto como caracteres con mayores valores descriptivos de la variabilidad entre germoplasmas. El CP3 se vincula directamente con RJ (Cuadro 5). Específicamente, en el CP1, las variables que presentan correlaciones positivas destacadas son Pf, De, Dd, y NL, indicando que este componente representa principalmente las características de tamaño y NL. En contraste, las variables SST y AT se encuentran correlacionadas negativamente

con el CP1. Esto sugiere que las accesiones asociadas a este componente tienden a tener frutos de mayor peso, tamaño y NL, pero con valores relativamente más bajos de SST y AT, lo que podría influir en su perfil organoléptico y en su destino comercial. Resultados similares fueron los de Hernández (2024) quien, en caracterizaciones realizadas en variedades tradicionales españolas, obtuvo una correlación inversa entre SST y Pf. Cabe precisar que la calidad organoléptica de los frutos está asociada al contenido, tipo y proporción entre SST y AT, lo cual determina la generación de los distintos sabores (Andelini *et al.* 2023; Natalini *et al.*, 2021). A su vez, diversos estudios sustentan que, tanto la producción como la acumulación de estos compuestos, pueden estar influenciadas por la variación genética, entre otros factores (Ali *et al.*, 2021; Dumas *et al.*, 2003). En el CP2, la relación De/Dd es la variable con una mayor correlación positiva. Las accesiones asociadas a este componente tienden a producir frutos de mayor tamaño relativo, con forma más achatada. La alta correlación cofenética ($r=0,987$) valida la fiabilidad de la representación gráfica del ACP, lo que la convierte en una herramienta precisa para la selección varietal basada en criterios agronómicos y de calidad física y química.

Análisis de conglomerados. Este complementó la caracterización física y química al orientar el posible uso potencial de cada accesión. Los cuatro grupos principales identificados, presentaron características distintivas. El Grupo 1 contiene accesiones de frutos grandes y firmes; el Grupo 2 está compuesto por accesiones diversas, incluyendo variedades comerciales de consumo fresco, de forma redonda y tamaño mediano a pequeño; en el 3, se agruparon accesiones comerciales de forma piriforme; y en el 4, accesiones con frutos pequeños y jugosos. El dendrograma resultante diferenció claramente dos tipos de frutos comerciales (alargados y redondos) de los frutos silvestres redondos y los achatados tipo manzano.

La caracterización física y química realizada constituye un aporte para la conservación y aprovechamiento del germoplasma local. No obstante, se recomienda complementar estos resultados con evaluaciones agronómicas, sensoriales y moleculares, que permitan ampliar y consolidar el conocimiento sobre el potencial de estas accesiones.

CONCLUSIONES

Existe una amplia variabilidad entre las 18 accesiones de tomate (*Solanum* spp.) evaluadas. Las variedades locales, y las mejoradas por el INIA (P7 INIA-Lara, Alba2 y Alba1) destacaron por sus atributos físicos y químicos, cumpliendo estándares internacionales de calidad para el consumo en fresco. Por su parte, las de origen silvestre como Cagón Grande1, Cagón Grande2, Castaño, Rojo y Rosado, a pesar de su pequeño tamaño, presentaron valores elevados de sólidos solubles totales, acidez titulable y carotenoides, cualidades que las posicionan como candidatas idóneas para el segmento tipo cóctel. Los grupos intermedios integraron accesiones con propiedades aptas para procesamiento industrial, como la elaboración de conservas y salsas. En particular, las accesiones tipo Cherry destacaron por su forma y apariencia, mientras que Margariteño1 y Alba1 sobresalieron por su tamaño y firmeza. De esta manera, la diversidad observada permite orientar estrategias de mejoramiento genético y selección, según criterios específicos de uso.

LITERATURA CITADA

1. Ali, M.Y., A.A.I. Sina, S.S. Khandker, L. Neesa, E.M. Tanvir, A. Kabir *et al.* 2021. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods* 10(1).
2. Alvarado-Bárceñas E., J. Ramírez Pimentel, E. Martínez Vegas, C. Piña Bernal, B. De la Cruz y F. Chablé Moreno. 2019. Calidad de fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de generaciones S2 y F4. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 7(2): 1-9.
3. Amr, A. y W.Y. Raie. 2022. Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Journal of Agricultural Sciences* 18(3): 199-220.
4. Andelini, M., N. Major, N. Išić, T.K. Kovačević, D. Ban, I. Palčić *et al.* 2023. Sugar and Organic Acid Content Is Dependent on Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Peel Color. *Horticulturae* 9(3). 313

5. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods and Analysis. 14th Ed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, VA. 1006 p.
6. Araujo, T.C. 2023. Características fenotípicas de 32 líneas S1 de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.). Trabajo de Grado de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú.
7. Boada-Higuera, M.Y., J.L. Mejía-Ramírez, N. Ceballos-Aguirre y F.J. Orozco. 2010. Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía* 18(2):59-67.
8. Canul-Ku, J., E. González-Pérez, E.J. Barrios-Gómez, J.L. Pons-Hernández, y S. E. Rangel-Estrada. 2022. Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1): 23-31.
9. Ceballos-Aguirre, N., F.A. Vallejo-Cabrera y N. Arango-Arango. 2012. Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.). *Acta Agronómica* 61(3): 230-238.
10. Chaudhary, J.N., A. Srivastava, M.D., Sharma y I.P. Gautam. 2024. Growth, yield and quality attributes of determinate tomato genotypes in Parwanipur, Bara of Nepal. *Agronomy Journal of Nepal* 8: 112-118.
11. Ciruelos, A., R. de la Torre y C. Gonzales Ramos. 2008. Parámetros de calidad en el tomate para industria. En: J.M. Coletto Martínez, R. González Blanco, E. de Muslera Pardo y F. Pulido García (Eds.). *La agricultura y la ganadería extremeñas en 2007*. Caja de Ahorros de Badajoz. Badajoz, España. pp. 157-172.
12. Codex Alimentarius. 2007. Norma del Codex para el tomate (CXS 57-1981).
13. Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca, y P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(5): 369-382.
14. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. Norma del Codex para el tomate (Codex Stan 293-2007).
15. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. Fichas Técnicas. Productos Frescos y Procesados. Tomate.
16. FAOSTATS. 2023. FAO Statistical databases. Statistics División. <http://faostat.fao.org>. Consulta de Agosto 17, 2025
17. Felföldi, Z., F. Ranga, S.A. Socaci, A. Farcas, M. Plazas, A.F. Sestras *et al.* 2021. Physico-Chemical, nutritional, and sensory evaluation of two new commercial tomato hybrids and their parental lines. *Plants* 10(11): 2480.
18. García A., A. Contreras, M. Rodríguez y N. Trujillo. 2010. Características físicas y químicas del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad pera. *@Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria* 8(1):75-82.
19. Gupta, A., A. Kawatra y S. Sehgal. 2011. Physical-chemical properties and nutritional evaluation of newly developed tomato genotypes. *African Journal of Food Science and Technology* 2(7): 167-172.
20. Hernández, D. 2024. Caracterización de variedades tradicionales de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo diferentes insumos y ambientes. Tesis de Maestría de la Universitat Politècnica de València. España.
21. Hidalgo Loggiodice, P. y R. González. 2007. Manual práctico para la producción de semilla artesanal: Tomate. Publicaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Venezuela.
22. Huda, N., S. Hossain, J. Tanzim, A. Aliy y G. Hossain. 2022. Effect of planting density on growth, development and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) *International Journal of Biosciences (IJB)* 21(3): 209-214.
23. InfoStat (2020). InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
24. IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores para el tomate (*Lycopersicon* spp.). *International Plant Genetic Resources Institute* 44 p.
25. Kavitha, P., K.S. Shivashankara, V.K. Rao, A.T. Sadashiva, K.V. Ravishankar y G.J. Sathish. 2014. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes

- and wild species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(5): 993-999.
26. Khan, M.A., S.J. Butt, K.A. Khan, F. Nadeem, B. Yousaf y H.U. Javed. 2017. Morphological and physico-biochemical characterization of various tomato cultivars in a simplified soilless media. *Annals of Agricultural Sciences* 62(2): 139-143.
 27. Lenucci, M.S., D. Cadinu, M. Taurino, G. Piro y G. Dalessandro. 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agric. Food. Chem.* 54: 2606-2613.
 28. Lippman, Z. y S.D. Tanksley. 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: 413-422.
 29. Magallanes-López A., M. Martínez-Damián, J. Sahagún-Castellanos, L. Pérez-Flores, I. Marín-Montes y J. Rodríguez-Pérez. 2020. Calidad Poscosecha de 40 poblaciones de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativas de México. *Agrociencia* 54(6): 779-795.
 30. Monge-Pérez, J. y M. Loria Coto. 2019. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *RevistaSEP-PyS@uned.ac.cr* 17(1): 1-20.
 31. Natalini, A., N. Acciarri, y T. Cardi. 2021. Breeding for nutritional and organoleptic quality in vegetable crops: The case of tomato and cauliflower. *Agriculture* 11: 7.
 32. Peixoto, J.V.M., L.G.C. Garcia, A. dos R. Nascimento, E.R. de Moraes, T.A.P. de C. Ferreira, M.R. Fernandes y V. de A. Pereira. 2018. Post-harvest evaluation of tomato genotypes with dual purpose. *Food Science and Technology (Campinas)* 38(2): 255-262.
 33. Pérez-Díaz, F., Ma. de L. Arévalo-Galarza, L.J. Pérez-Flores, R. Lobato-Ortiz, y M.E. Ramírez-Guzmán. 2020. Fruits growth and postharvest characteristics of native tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(1): 89-99.
 34. Regassa, M.D., A. Mohammed y K. Bantte. 2012. Evaluation of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Genotypes for fruit quality and shelf life. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology* 6 (Special Issue 1): 50-56.
 35. Roselló, S., A.M. Adalid, J. Cebolla-Cornejo y F. Nuez. 2011. Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(6): 1014-1021.