
Calidad de frutos en variedades nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
Fruit quality in native tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.)

Alumno: Alarcon Flores Kevin Iván

Asesor Interno: Dr. Iván Pável Moreno Espíndola



Asesor Interno: Dra. Diana Carolina Franco Vásquez

DIANA CAROLINA FRANCO V.

22/12/2023 al 23/06/2024

Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco
División Ciencias Biológicas y de la Salud
Licenciatura en Agronomía Trimestre 24-O
Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, CDMX

Resumen

Este estudio evalúa las propiedades fisicoquímicas y la actividad antioxidante de variedades nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en comparación con la variedad comercial "Saladette". Los resultados indicaron mayores niveles de sólidos solubles, acidez titulable y carotenoides en las variedades nativas, lo que contribuye a poseer una calidad superior y mayor actividad antioxidante. Las características de las variedades nativas las hacen valiosas para programas de mejora genética, ofreciendo potencial para una mayor calidad del fruto y beneficios nutricionales. Permitiendo explorar nuevas aplicaciones genéticas y comerciales de estas variedades para su uso a nivel agrícola, industrial, comercial y nutracéutico.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, Calidad fisicoquímica, Actividad antioxidante.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una especie herbácea de la familia Solanaceae, originaria del oeste de América del Sur. Fue distribuida desde el trópico hasta el subtrópico de México, país considerado centro de domesticación (Peralta et al., 2006).

En 2017, la producción mundial de tomate alcanzó un máximo histórico de 182.3 millones de toneladas (FIRA, 2019). En este contexto, México se encuentra en la décima posición con una producción anual de 4,271,914 toneladas (FAOSTAT, 2021).

El proceso de domesticación del tomate es crucial para el sector productivo y de comercialización, puesto que se realiza con la finalidad de obtener mayores rendimientos, frutos uniformes en tamaño, mayor firmeza y vida de anaquel (Carrillo et al., 2013). Que con el tiempo provoca cambios en su anatomía y en su forma de reproducción, pasando de alógama a autógama. La mayoría de estos cambios se atribuyen a la selección en pocos loci (Nesbitt y Tanksley, 2002) esto ha provocado que dicho cultivo tenga menos del 5% de la variación genética que presentan los genotipos silvestres (Bai y Lindhout, 2007).

Las variedades de tomates silvestres son la fuente más importante de diversidad genética para el mejoramiento genético de la especie, pues en ellos radica la fuente para encontrar genes de resistencia a factores causantes de estrés biótico y abiótico, además de otros atributos de importancia agronómica o nutracéutica. (Bergougnoux, 2014; Foolad, 2007). Así como la disponibilidad de compuestos nutracéuticos como vitaminas, azúcares, compuestos antioxidantes, pigmentos, microelementos, sales minerales y fibras (Cortés et al., 2018).

Un claro ejemplo de lo anterior son los carotenoides definidos como pigmentos liposolubles naturales sintetizados por las plantas, algas y bacterias. Siendo el tomate la principal fuente de obtención de esta clase de compuestos para la población a nivel mundial. Durante los últimos años cientos de investigaciones apoyan el efecto protector de los carotenoides frente al desarrollo de enfermedades crónicas y degenerativas por su actividad antioxidante (Jáuregui et al., 2011).

La actual preferencia de los consumidores por alimentos orgánicos, nutraceuticos, de mayor calidad y libres de residuos químicos crean condiciones latentes de exigencia para las empresas encargadas de su producción y procesamiento, lo que incita a buscar nuevas estrategias para satisfacer dichos requerimientos comenzando incluso con la mejora genética de cultivos. Esta mejora inicia con la recolección de germoplasma, ya sea silvestre o nativo, que destacan por sus características fenotípicas y genéticas y que han continuado siendo estudiadas a nivel morfológico, molecular y genómico (Canul et al., 2022). No obstante, se estima que el 80 % de las colectas realizadas a nivel mundial no han sido caracterizadas (Marín et al., 2016).

El objetivo de esta investigación fue evaluar y comparar los parámetros fisicoquímicos (como sólidos solubles totales, acidez titulable y pH) y el contenido de compuestos antioxidantes (especialmente carotenoides) de seis variedades nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Chacalito (32V), Pajarito (22V), Uva (14R), Riñón (4V), Bola (11V), Herloom (HrV) y un híbrido comercial de la variedad "Saladette". Este estudio busca destacar las diferencias en la calidad del fruto y la actividad antioxidante, proporcionando información valiosa para programas de mejoramiento genético y potenciales aplicaciones comerciales y nutraceuticas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Xochimilco en el Predio Experimental "Las Ánimas", ubicado en las coordenadas 19.255895 y -99.017440, perteneciente al municipio de Santiago Tulyehualco, Xochimilco, CDMX. Con una precipitación media anual de 2,956 mm, una temperatura media de 15.2 °C y una altitud de 2,247 metros sobre el nivel del mar.

El material vegetal estuvo constituido por 6 variedades nativas las cuales fueron proporcionadas por el Jardín Etnobotánico de Oaxaca, México.

Determinación de peso (g):

Se empleó una balanza analítica y se registró el peso en gramos de mínimo 20 frutos por cada variedad.

"Este método se basa en determinar el crecimiento de la fruta que es proporcional al aumento en su peso, donde el número de células se mantiene relativamente constante pudiendo tener un índice del tamaño" (Martinez et al., 2017).

Determinación de diámetro y longitud (cm):

Se empleó un vernier y se registró el diámetro y la longitud de mínimo 20 frutos de cada variedad.

"Medir los frutos en la agroindustria nos permite identificar su desarrollo vegetativo y nos indica la calidad, mediante el cálculo de una media aritmética utilizando un Vernier o cinta métrica (longitud,

ancho, diámetro, perímetro) nos permite estandarizar las dimensiones de la producción” (Chimborazo et al., 2021).

Determinación de sólidos solubles totales (°Brix):

El contenido de sólidos solubles totales se determinó al analizar una gota de jugo extraída del fruto mediante el uso de un refractómetro.

“Los grados Brix representan una escala para medir densidades de soluciones con presencia de azúcares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles de una muestra, que principalmente son azúcares. Su determinación se realiza con un refractómetro o con un hidrómetro” (Bautista et al., 2001).

Determinación de pH:

Para determinar el pH se utilizó el método 981.12 (AOAC, 1990), mediante la utilización de un potenciómetro.

“El pH es una medida de la intensidad de la acidez, tomando en cuenta sólo la concentración de protones libres en una solución” (Zavala et al., 2009).

Determinación de acidez titulable:

La acidez titulable se determinó mediante la metodología propuesta por (Helrich, 1990). Se registró el volumen de hidróxido consumido empleando un potenciómetro. La acidez fue reportada como % de ácido cítrico.

“La acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido que hay en una solución, tanto en forma de protones libres como de ácidos no disociados” (Pinzón et al., 2009).

Extracción de carotenoides :

La extracción de carotenoides fue realizada siguiendo la metodología descrita por (Saini et al., 2009). Se pesaron 2 g de muestra y se maceraron 20 mL de acetato de isopropilo por 5 min, luego el extracto fue filtrado y aforado a 25 mL.

“Los carotenoides son pigmentos liposolubles naturales sintetizados por las plantas, algas y bacterias fotosintéticas los cuales tienen actividad antioxidante y capturan energía luminosa lo que nos permite ver la pigmentación característica de algunos frutos como los jitomates” (Carranco et al., 2011).

Cuantificación de carotenoides (mg de licopeno/ g de tomate):

La determinación del contenido de carotenoides se obtuvo a través de una alícuota del extracto diluido en acetato de isopropilo y se registró la absorbancia a una onda de (450 nm) (Biehler et al., 2010). El cálculo de la concentración de la concentración de carotenoides (cuadro 7) se realizó

mediante la ley de Lambert-Beer empleado el coeficiente de absorción $A = 235 \text{ cmL/g}$ reportado para el licopeno siendo este el carotenoide más abundante del tomate. Los resultados están expresados en mg de licopeno/ g de tomate tomando en cuenta las diluciones se obtuvo.

“Los carotenoides son metabolitos secundarios de importancia para la industria por su infinito potencial como antibióticos, colorantes, anticancerígenos, antioxidantes, antiparasitarios, estimulantes y reguladores del sistema inmune. Por lo que su cantidad y concentración en la que se encuentran presentes es importante” (Torres et al., 2020).

Los carotenoides presentan alta actividad antioxidante debido a que pueden neutralizar radicales libres. Esta actividad depende de la concentración, la longitud de la cadena isoprénica y de los grupos funcionales de la molécula, en donde se ha demostrado que los carotenoides que poseen grupos funcionales polares presentan una mejor actividad antioxidante con respecto a los no polares, debido a la inducción de momentos dipolo en conjugación con el sistema de dobles enlaces conjugados de acuerdo con (Ortega et al., 2016).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de un producto está determinada por las distintas interacciones entre diferentes compuestos mediante diferentes mecanismos de acción. Por esto mismo, la determinación de la capacidad antioxidante de extractos complejos como los carotenoides se lleva a cabo normalmente a través de diferentes métodos complementarios, que evalúan ampliamente diversos mecanismos de acción. Algunos de los métodos más utilizados, por su simplicidad y reproducibilidad, son DPPH (depleción del oxido 2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y ABTS (depleción del 2, 2'-Azinobis-3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico).

Mediante el método ABTS, se logra medir la actividad de compuestos hidrofílicos y lipofílicos; en cambio, el método DPPH solo puede disolverse en un medio orgánico por lo que mide preferentemente la capacidad antioxidante de compuestos que son poco polares. Otra diferencia entre ambos métodos es que el radical $\text{ABTS}^{\cdot+}$ posee la ventaja de tener un espectro de absorbancia más alto en medio alcohólico mientras que el DPPH los disminuye (Mercado et al., 2013).

Determinación de capacidad antioxidante por ABTS ($\mu\text{mol/g}$ peso fresco):

La evaluación de la capacidad antioxidante empleando el radical ABTS se realizó siguiendo la metodología propuesta por (Re et al., 1999) con algunas modificaciones. La generación del radical $\text{ABTS}^{\cdot+}$ se obtuvo mediante la reacción de persulfato de potasio 2.45 mM con una solución 7 mM de ABTS por 16 h en la oscuridad. Una vez formado el radical se ajustó la absorbancia de la solución a 0.7 ± 0.01 a 734 nm. El ensayo consistió en colocar 100 μL de la muestra con 1000 μL del radical $\text{ABTS}^{\cdot+}$ dejando reaccionar por 10 min, posteriormente se evaluó el cambio de la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron como μmol equivalentes de Trolox/g peso fresco.

El ABTS es un sustrato de la peroxidasa, que al oxidarse en presencia de peróxido de hidrógeno H_2O_2 produce un catión radical $ABTS^{\cdot+}$. En solución, este radical presenta un color índigo intenso el cual puede ser monitoreado mediante espectrofotometría con una longitud de onda de 600 a 750 nm que al reaccionar con un antioxidante, éste se neutraliza a través de la captación de un electrón del agente antioxidante. La neutralización del radical $ABTS^{\cdot+}$ se percibe a nivel visual por una decoloración gradual del color índigo en solución (Karada et al., 2009).

“La determinación de la capacidad antioxidante es útil para valorar la calidad de un alimento, la cantidad de antioxidantes presentes en un sistema, o la biodisponibilidad de compuestos antioxidantes” (Estrada et al., 2020).

Determinación de capacidad antioxidante por DPPH ($\mu\text{mol/g}$ peso fresco):

Por otro lado, el radical DPPH tiene la característica de presentar un radical libre en su estructura acompañado de un color púrpura. La absorbancia máxima del DPPH en solución, se presenta con una longitud de onda de 515 a 517 nm. Estas características cambian cuando el DPPH acepta un protón, estabilizando la estructura del radical a DPPH-H, el cual comienza a degradar la coloración púrpura a un color amarillo (Tirzitis et al., 2010).

Para la evaluación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH se siguió la metodología reportada por (Brand et al., 1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución 1mg/mL del radical DPPH. Posteriormente, se ajustó a 1.1 ± 0.01 la absorbancia de la solución con metanol. Para el ensayo se colocaron 50 μL de la muestra y 950 μL de la solución ajustada de DPPH. Después de 30 min en oscuridad se evaluó el cambio en la absorbancia a 515 nm. Los resultados se expresaron como μmol equivalentes de Trolox/g pf.

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar, en el que cada muestra seleccionada de una variedad distinta se consideró como un tratamiento ($N=6$) con su respectivo triplicado ($r=3$) para las determinaciones físicoquímicas, contenido de carotenoide y capacidad antioxidante, mientras que para los parámetros físicos se emplearon 10 repeticiones ($r=10$) de cada tratamiento. Además, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante por los métodos de DPPH y ABTS. El análisis estadístico se realizó empleando el programa NCSS (Number Cruncher Statistical System) versión 24.0.02.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se presentan las características físicas: diámetro, longitud, peso y apariencia propias de las variedades nativas 32V, 22V, 14R, 4V, 11V, Hrv y la variedad comercial (Saladette).

Medición de características físicas

Variedad	Nombre	Origen	Forma	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Peso (g)	Apariencia
32V	Chacalito	Ojitlan, Oaxaca	Oval	1.63 ± 0.33^c	5.95 ± 2.87^c	1.09 ± 0.34^c	
22V	Pajarito	Tututepec, Oaxaca	Redondo	0.92 ± 0.40^c	0.80 ± 0.26^c	3.48 ± 2.12^b	
14R	Uva	Oaxaca	Piriforme Oval	1.89 ± 0.40^c	1.40 ± 0.37^c	10.78 ± 3.33^c	
4V	Riñón	Valles C, Oaxaca	Hemisférica irregular	4.15 ± 1.31^b	3.83 ± 0.97^a	74.51 ± 44.08^a	
11V	Bola	Mixteca, Oaxaca	Redondo	6.51 ± 3.22^b	3.92 ± 1.45^b	152.9 ± 131.2^b	
HrV	Heirloom	Oaxaca	Elipsoide	5.84 ± 0.45^b	3.59 ± 0.53^a	57.52 ± 65.77^b	
Comercial	Saladette	Ciudad de México	Oval	5.42 ± 0.26^a	7.15 ± 0.55^a	169.5 ± 15.4^a	

Cuadro 1. Características físicas de 6 diferentes variedades de tomate nativo y comercial evaluadas.

En el análisis químico se encontraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en el contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, carotenoides y actividad antioxidante (cuadro 2). La variedad 22V presentó el mayor contenido de sólidos solubles totales, las demás variedades no tuvieron diferencia significativa respecto a la variedad comercial. Por otro lado, en lo que refiere al pH, las variedades nativas 22V, 14R, 11V y HrV presentaron un menor pH en comparación con el tomate comercial. Mientras que el mayor contenido de carotenoides se obtuvo de las variedades nativas 32V, 22V y 14R respecto a la variedad comercial. Finalmente, la determinación de la capacidad antioxidante por el método de ABTS mostró que las variedades 32V y 14R presentaron la mayor capacidad antioxidante respecto al tomate comercial.

Medición de características químicas

Variedad	Sólidos Solubles T.	SST/ÁC Titulable	pH	AT	Carotenoides	DPPH ($\mu\text{mol/g}$ peso fresco)	ABTS ($\mu\text{mol/g}$ peso fresco)
32V	7.71 ± 0.58^{ab}	34.83 ± 5.07^b	4.64 ± 0.12^{ab}	0.22 ± 0.03^{ab}	44.5 ± 14.59^{ab}	0.48 ± 0.17^b	1.80 ± 0.38^{ab}
22V	8.67 ± 2.11^a	29.04 ± 7.86^b	4.36 ± 0.09^d	0.30 ± 0.04^a	33.8 ± 5.09^{abc}	0.35 ± 0.15^b	1.41 ± 0.10^{bc}
14R	6.15 ± 1.35^{bc}	167.7 ± 190^a	4.58 ± 0.03^{bc}	0.12 ± 0.09^b	56.23 ± 11.25^a	0.40 ± 0.03^b	2.05 ± 0.06^a
4V	5.30 ± 0.65^c	27.11 ± 5.21^b	4.72 ± 0.05^{ab}	0.16 ± 0.01^{ab}	13.97 ± 2.72^c	1.06 ± 0.22^a	1.09 ± 0.10^{cd}
11V	4.92 ± 0.66^c	30.56 ± 4.17^b	4.41 ± 0.01^d	0.19 ± 0.02^{ab}	24.4 ± 12.8^{bc}	0.62 ± 0.35^{ab}	1.34 ± 0.19^{bcd}
HrV	5.25 ± 0.35^{bc}	29.08 ± 1.96^{ab}	4.45 ± 0.02^{cd}	0.18 ± 0^{ab}	19.07 ± 15.5^{bc}	0.47 ± 0.13^{ab}	0.91 ± 0.39^{cd}
Comercial	5.67 ± 0.52^{bc}	28.39 ± 3.55^b	4.78 ± 0.04^a	0.20 ± 0.01^{ab}	17.29 ± 3.27^{bc}	0.62 ± 0.05^{ab}	0.76 ± 0.05^d

Cuadro 2. Características químicas de 6 diferentes variedades de tomate nativo y comercial evaluadas.

Sólidos Solubles Totales (SST)

Los resultados (Cuadro 2) mostraron que el contenido de sólidos solubles totales (SST) fue mayor en las variedades nativas en comparación con la variedad comercial (Figura 1), siendo la 22V la que obtuvo el mayor porcentaje con un 8.67% mostrando una diferencia significativa en comparación con la obtenida en la variedad comercial. El contenido de SST del resto de frutos de variedades nativas no presentó diferencia estadística con los SST de la variedad comercial.

Estos resultados son congruentes con los obtenidos por (Tochihuitl et al., 2017), quienes reportaron un mayor porcentaje de SST en las variedades nativas en comparación con variedades comerciales. A su vez diversos investigadores reportaron un rango de STT entre 3.2 a 9.3 % para las variedades nativas donde éstas también rebasaban a la comercial (Brekse et al., 2015; Kaur et al., 2013; Shah et al., 2015; Vinha et al., 2014).

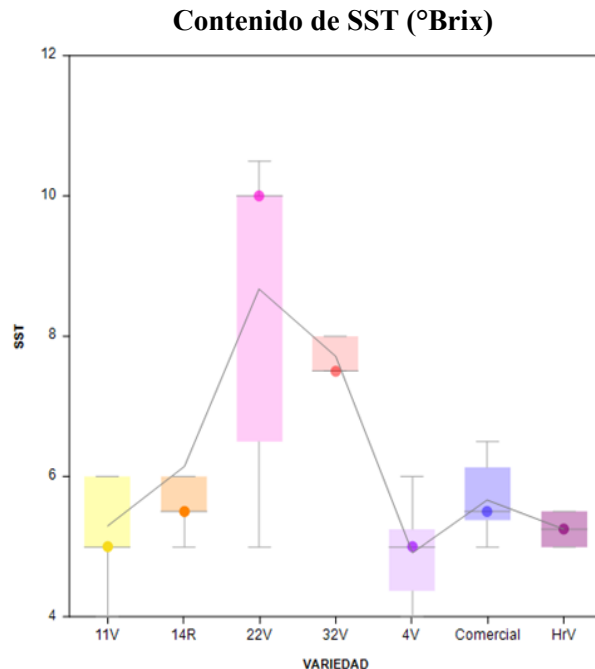


Figura 1. Contenido de SST (°Brix) en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial.

Acidez titulable (AT)

Los resultados indicaron un rango de presencia de ácido cítrico que oscilaron entre $0.30 \pm 0.03\%$ en la 22V y un $0.12 \pm 0.009\%$ para la variedad 14R. A nivel estadístico sólo la variedad 14R mostró diferencia significativa respecto a la variedad comercial (Figura 2). Estos resultados son ligeramente menores a los registrados por (Kaur et al., 2006) donde el contenido de ácido cítrico oscila entre 0.36 a 0.54 % en siete variedades de tomate nativo proveniente del estado de Puebla y Guerrero.

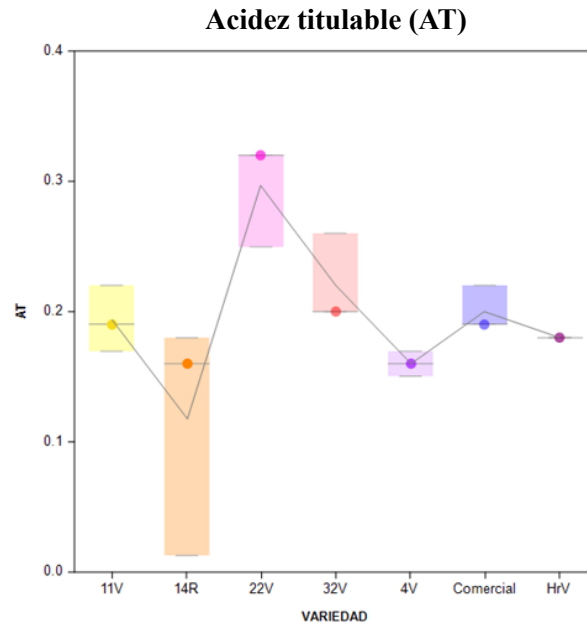


Figura 2. Acidez titulable (AT) en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial.

Relación SST/AT

La relación SST/AT es una variable importante para el consumo fresco del fruto, la variedad nativa 14R presenta los valores más altos 167.7 ± 190 (14R) y la comercial el más bajos con un 28.39 ± 3.55 (Figura 3). Según (Kader et al., 1978), se considera de alta calidad a los frutos de tomate con una relación mayor a 10, por ende todos los frutos analizados en el experimento tuvieron una buena calidad. Esto último permite asumir la relevancia de las poblaciones nativas al presentar opciones únicas en cuanto calidad para los consumidores, así como los requerimientos idóneos para su procesamiento.

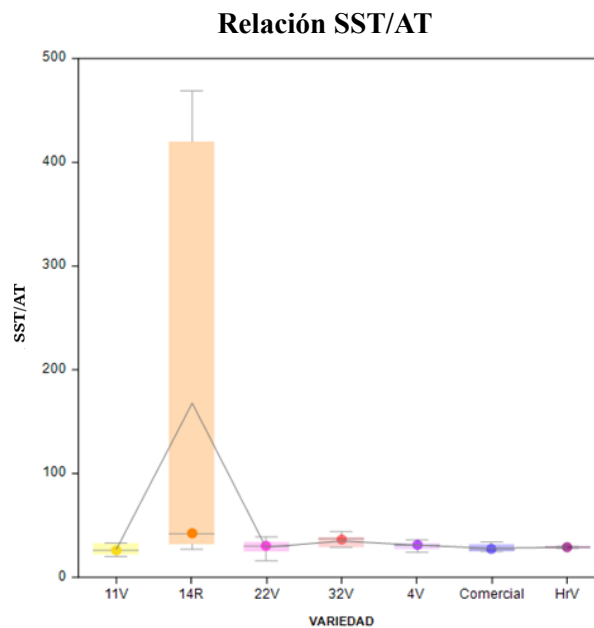


Figura 3. Relación SST/AT en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial.

Determinación de pH

De acuerdo con los resultados Cuadro 2, las variedades nativas presentaron un pH en un rango de 4.72 ± 0.05 y 4.36 ± 0.09 . Particularmente, la variedades comercial, 32v y 4v presentaron los valores de pH más altos, mientras que las variedades 11v y Heirloom los más bajos (Figura 4). Estos resultados son similares con los promedios de (Casierra et al., 2008), quienes reportaron el pH de 3 variedades híbridas destinadas al uso comercial con 4.46, 4.48 y 4.58 respectivamente, las cuales son originarias de Tunja, Colombia.

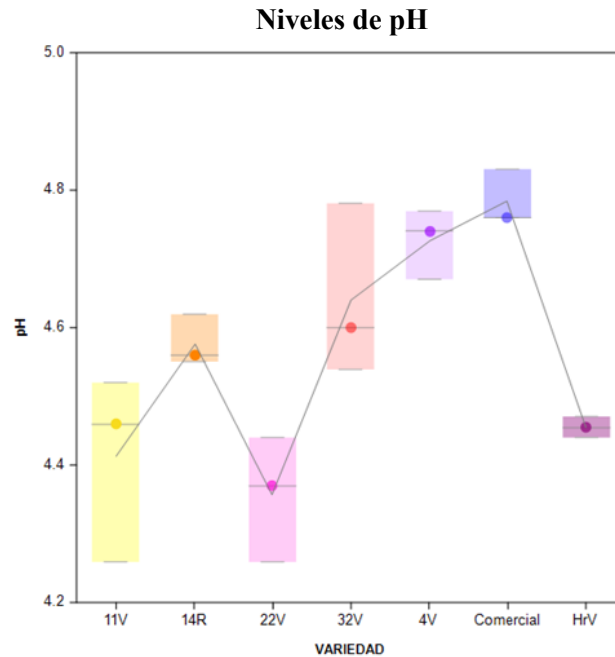


Figura 4. Valores de pH en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial

Contenido de carotenoides totales

La mayor cantidad de carotenoides se obtuvo en la variedad 14R con 56.23 ± 11.25 mg licopeno /g donde por el contrario la comercial tuvo un cantidad menor de con 17.29 ± 3.27 mg licopeno/g siendo este valor casi 3 veces menor. Lo cual resulta de importancia puesto que a mayor concentración de ciertos compuestos funcionales como los carotenoides existe mayor actividad antioxidante (Cortés et al., 2018).

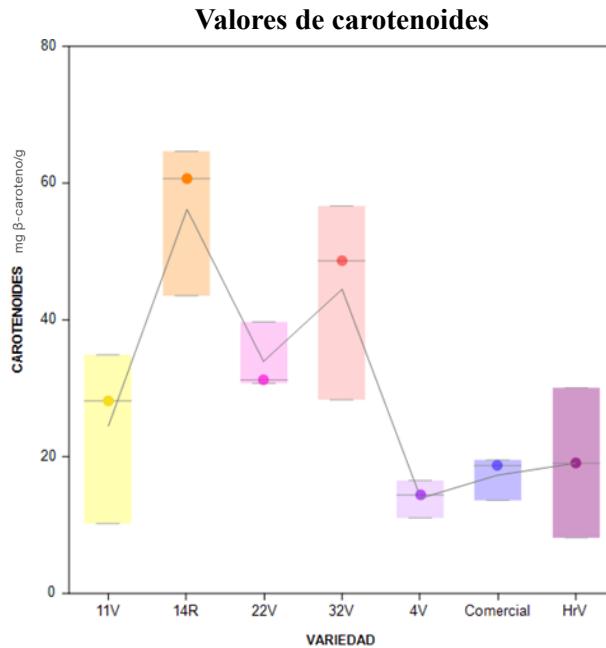


Figura 5. Valores de carotenoides en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial

Capacidad antioxidante

De acuerdo con los resultados del cuadro 2. Los extractos de carotenoides mostraron diferentes valores siendo 14R la variedad nativa con mayor actividad antioxidante teniendo $2.05 \pm 0.06 \mu\text{mol/g}$ peso fresco, seguida por la 32V con un $7.71 \pm 0.58 \mu\text{mol/g}$ peso fresco y presentando la variedad comercial los niveles más bajos con un $0.76 \pm 0.05 \mu\text{mol/g}$ peso fresco (Figura 6).

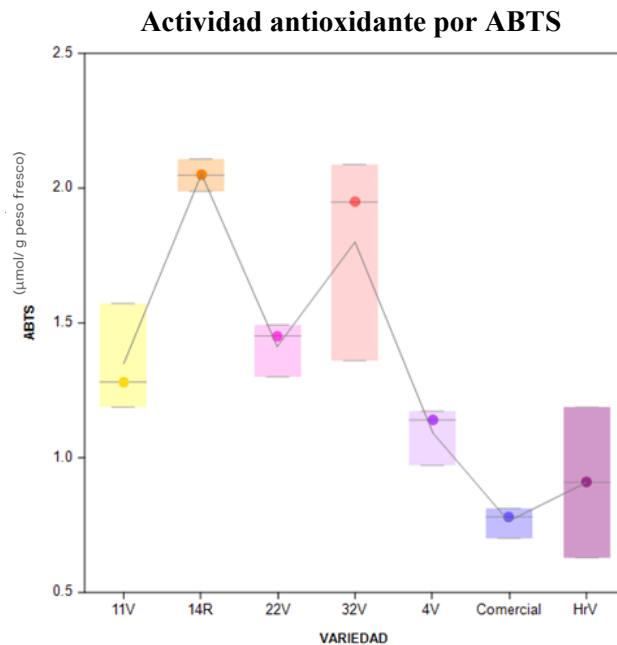


Figura 6. Valores de actividad antioxidante por prueba de ABTS en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial.

Se registraron diferencias significativas en la determinación de capacidad antioxidante, el rango de los resultados osciló entre $1.06 \pm 0.22 \mu\text{mol/ g peso fresco}$ y $0.35 \pm 0.15 \mu\text{mol/ g peso fresco}$. Siendo la variedad 4V la que presentó mayor inhibición de radicales libres mientras que la comercial tuvo $0.62 \pm 0.35 \mu\text{mol/ g peso fresco}$. Si bien hubo diferencias significativas entre la actividad antioxidante reportada con ABTS y DPPH se logra apreciar un descenso en dicha actividad en la prueba de DPPH (Figura 9).

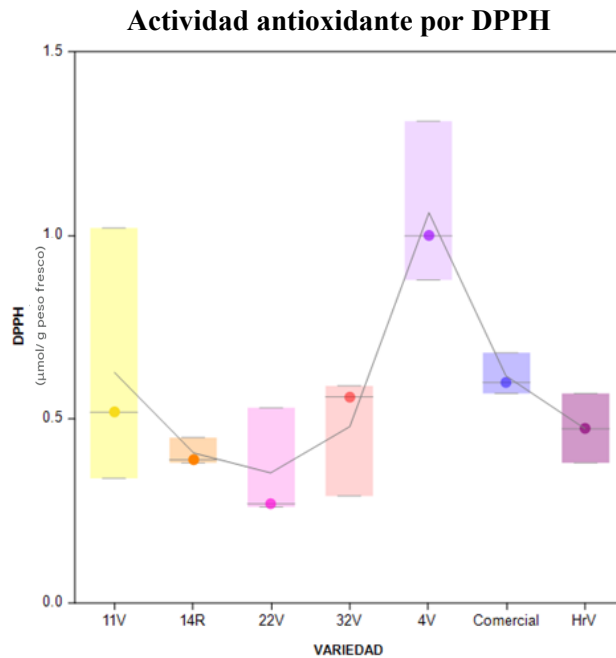


Figura 7. Valores de actividad antioxidante por prueba de DPPH en frutos de tomate de seis variedades nativas y una comercial.

Con el fin de determinar si la capacidad antioxidante estaba vinculada con la concentración de carotenoides como en otros estudios se realizó una prueba de correlación (Figura 8), se comprobó que la capacidad antioxidante en la prueba de ABTS estaba directamente relacionada con la cantidad de carotenoides presentes en las variedades con un valor de (0.878).

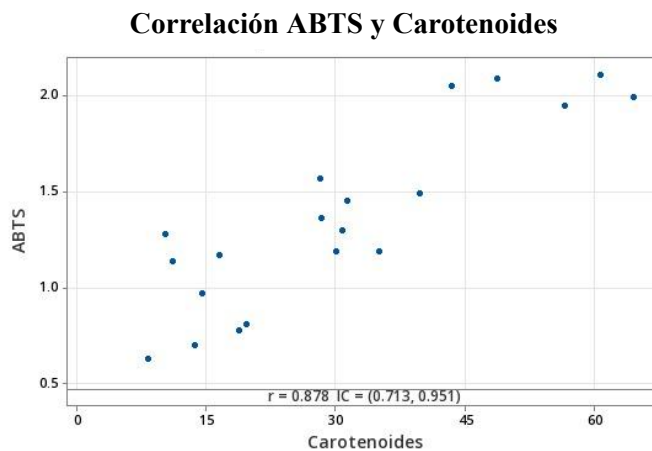


Figura 8. Prueba de correlación ABTS y Carotenoides

En el caso del ensayo de capacidad antioxidante por DPPH (Figura 9) no correlacionó con el contenido de carotenoides con un coeficiente de correlación de (-0.616).

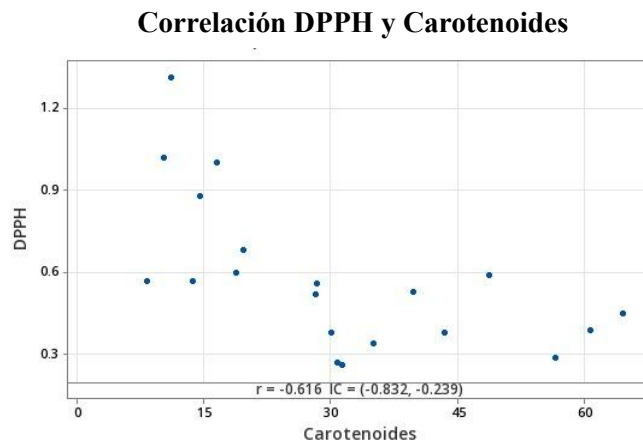


Figura 9. Prueba de correlación DPPH y Carotenoides

Este efecto fue reportado previamente por (Müller et al., 2011) quienes observaron que, al mediar la capacidad antioxidante de distintos carotenoides, entre los que se encontraban la bixina y el licopeno, el método de DPPH presentaba diversos inconvenientes como nula reacción, incremento en la absorbancia en lugar de disminución, así como comportamientos en los que la concentración de compuesto no seguía una relación lineal con la cantidad de radical neutralizado. Por el contrario, y acorde con lo observado en este trabajo, Müller y colaboradores reportaron que el método de ABTS no presenta ninguno de estos inconvenientes y es adecuado para la medición de muestras que contienen carotenoides.

Conclusiones

Las variedades nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) mostraron composiciones fisicoquímicas (SST, AT, pH) y capacidad antioxidante *In vitro* significativamente superiores siendo 22V, 14R y 4V las que presentaron los niveles más elevados en comparación con la variedad comercial "Saladette", la cual presentó los niveles más bajos en la mayoría de los parámetros estudiados y en los restantes solo logró equipararse con las variedades nativas que obtuvieron los rendimientos más bajos (Cuadro 1 y 2). En particular, las variedades 22V, 14R y 4V presentaron los niveles más altos de carotenoides, lo cual está directamente relacionado con una mayor capacidad antioxidante. Confirmando a su vez que la baja actividad antioxidante de la variedad comercial tipo "Saladette" en todas las pruebas se ve directamente relacionada a la baja concentración de carotenoides y otros compuestos funcionales que presentó.

Las especies silvestres de tomate evaluadas poseen características prometedoras para el mejoramiento genético, ofreciendo beneficios tanto comerciales como nutricionales. Las

propiedades únicas de cada variedad nativa no solo mejoran la calidad del fruto, sino que también amplían las posibilidades de diversificación genética y productiva. Futuras investigaciones podrían enfocarse en explorar más a fondo las aplicaciones de estas variedades en programas de mejoramiento genético y en el desarrollo de productos con mayor valor agregado.

Referencias

- Bautista Justo, M., García Oropeza, L., Salcedo Hernández, R., & Parra Negrete, L. A. (2001). Azúcares en agaves (*A. tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33-38
- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32, 170-189.
- Biehler, E., Mayer, F., Hoffmann, L., Krause, E., & Bohn, T. (2010). Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 75(1), C55–C61. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01417>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Breksa, A. P., Robertson, L. D., Labate, J. A., King, B. A., & King, D. A. (2015). Physicochemical and morphological analysis of ten tomato varieties identifies quality traits more readily manipulated through breeding and traditional selection methods. *Journal of Food*.
- Canul-Ku, J., González-Pérez, E., Barrios-Gómez, E. J., Pons-Hernández, J. L., & Rangel-Estrada, S. E. (2022). Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 23-31. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.23>
- Carranco Jáuregui, M. E., Calvo Carrillo, M. C., & Pérez-Gil Romo, F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(3), 233-241. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222011000300001&lng=es&tlng=e
- Carrillo-Rodríguez J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle y Y. Villegas-Aparicio (2013) Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1081-1091.
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avendaño, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300-307.

Chimborazo, S. S., Quille, D., Sánchez, E., & Jácome Pilco, C. (2021). Principios activos de origen biológico para favorecer la inocuidad en frutas y hortalizas. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 28(1), 81–88. <https://doi.org/10.31243/aci.v28i1.1058>

FAOSTAT. (2021). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>

FIRA. (2019). Panorama Agroalimentario. Tomate rojo. Dirección de Investigación y Evaluación.

Helrich, K. (1990). Official methods and analysis (15th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemists, USA. 1298p.

Karadag, A., Ozcelik, B., & Saner, S. (2009). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Anal. Methods*. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>

Kaur, D., Sharma, R., Abas, A., Singh, B., & Sogi, S. (2006). Physicochemical changes in seven tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars during ripening. *International Journal of Food Properties*, 9, 747-757.

Marín-Montes, Iván Maryn, Rodríguez-Pérez, Juan Enrique, Sahagún-Castellanos, Jaime, Hernández-Ibáñez, Lucas, & Velasco-García, Ángela Manuela. (2016). Variación morfológica y molecular de 55 colectas de tomate nativo de México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(2), 117-132. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.03.008>

Mercado-Mercado, G., de la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López Díaz, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>

Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay, and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, 129, 139-148. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.045

Nesbitt, T. C., & Tanksley, S. D. (2002). Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics*, 162, 365-379. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12242247>

Ortega Cabello, L., Pérez Méndez, H. I., Manjarrez Alvarez, N., López-Luna, A., Solís Oba, A., & Solís Oba, M. (2016). Comparación de la actividad antioxidante de carotenoides en extractos crudos

y pre-purificados de actinobacterias marinas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(2), 60-65.

Peralta, I. E., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *Report of the Tomato Genetics Cooperative*, 56, 6-12.

Pinzón, I. M., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9-10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)

Román-Cortés, N. R., García-Mateos, M. R., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2018). Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 245-253. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>

Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240, 90–103. doi:10.1016/j.foodchem.2017.

Shah, K., Singh, M., & Rai, A. C. (2015). Bioactive compounds of tomato fruits from transgenic plants tolerant to drought. *LWT Food Science and Technology*, 61, 609-614.

SIAP. (2020). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Agricultura protegida. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> (fecha de consulta: 30/06/2021).

Tanksley, S. D. (2004). The genetic, developmental, and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *Plant Cell*, 16, S181. *Theoretical Applied Genetics*, 92, 935-951. <http://doi:10.1007/BF00224033>

Tirzitis, G., & Bartosz, G. (2010). Determination of antiradical and antioxidant activity: Basic principles and new insights. *Acta Biochimica Polonica*. https://doi.org/10.18388/abp.2010_2386

Tochihuitl Martiñón, G. A., Saucedo Veloz, C., Arellano Ostoa, G., García Osorio, C., & Suárez Espinosa, J. (2017). Evaluación de la calidad de frutos de jitomate de cuatro poblaciones nativas y un híbrido comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 47-52.

Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Costa, A. S. G., Alves, R. C., & Olvera, M. B. P. P. (2014). Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds, and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*, 67, 139-144.

Zavala Cruz, G. G., (2008). Una visión universitaria: el ph, sustento en el equilibrio químico para la vida celular. Ciencia UAT, 2(4), 62-66.