

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DEL FRUTO DE CUATOMATE (*SOLANUM GLAUCESCENS* ZUCC) EN DOS ESTADOS DE MADUREZ

PHYSICAL, CHEMICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF CUATOMATE (*SOLANUM GLAUCESCENS* ZUCC) FRUIT AT TWO MATURITY STAGES

Romero Cruz Anabel¹, Vidals Flores Rosa Isela², López Aranda Erika³, Luna Esquivel Narciso⁴, Escamilla Ramírez Rosalinda⁵

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i2.327>

¹ Maestra en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, anabel.romero@itsao.edu.mx, 9531052567, CP 74949. <https://orcid.org/0000-0003-1142-9251>

² Ingeniera en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, rosa.vidals@itsao.edu.mx, 953 213 4296, CP 74949. <https://orcid.org/0009-0006-4933-007X>

³ Maestra en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, erika.lopez@itsao.edu.mx, 9531126180, CP 74949. <https://orcid.org/0000-0003-1424-2927>

⁴ Maestro en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería en Gestión Empresarial, narciso.luna@itsao.edu.mx, 953 127 9295, CP 74949. <https://orcid.org/0000-0002-2829-9265>

⁵ Maestra en Ciencias de la Educación. Tecnológico Nacional de México/ITS de Acatlán de Osorio, División de Ingeniería Industrial, rosalinda.escamilla@itsao.edu.mx, 953 5419778, CP 74949. <https://orcid.org/0009-0003-2981-2635>

Resumen --El cuatomate es un fruto muy apreciado en la dieta de los pobladores de la mixteca baja poblana. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar las propiedades físicas, químicas y funcionales del fruto de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc) en dos estados de madurez para estimar su valor nutricional y funcional. Se determinó peso, diámetro polar y ecuatorial, pH, acidez titulable, humedad, proteína, lípidos, cenizas, fibra cruda y carbohidratos. El valor funcional se cuantificó determinando fenoles, flavonoides y actividad antirradical frente al radical DPPH.

Se utilizó un diseño factorial completamente al azar.

Los resultados muestran diferencia significativa en peso ($p = 0.025$), frutos en estado de madurez verde presentaron mayor peso, no así para diámetro polar, ecuatorial y número de semillas.

Los frutos maduros presentaron mayor porcentaje de proteína (4.733 %), grasas (1.786 %), cenizas (5.403 %), carbohidratos (1.939 %), acidez (0.0503 %) y SST (1.566 °Brix), mientras que en frutos verdes presentó mayor porcentaje en fibra cruda (4.447%) y pH (5.857).

Existen diferencias significativas de las propiedades funcionales debido al estado de madurez entre los frutos, los cuatomates verdes presentaron un contenido mayor de fenoles (418.57 ± 2.74 mg EAG/100 g de muestra seca). En cambio, el contenido de flavonoides para cuatomate verde fue menor (1162.3 ± 31.7 mg EQ/100 g de ms) que en estado maduro de 2676.8 ± 6.78 mg EQ/100 g de ms. Sin embargo, mayor actividad antirradical DPPH se encontró en cuatomate verde, ya que solo se requiere 12.883 ± 0.503 mg de cuatomate verde para reducir el 50% de la actividad antirradical DPPH con respecto a los cuatomates maduros (97.450 ± 1.105 mg). Los resultados obtenidos indican que los frutos del cuatomate proveen propiedades nutricionales y funcionales significativas

que pueden ser utilizados para enriquecer alimentos y bebidas.

Palabras Clave-- *Solanum glaucescens*, DPPH, Actividad antirradical.

Abstract -- The cuatomate is a fruit highly appreciated in the diet of the residents of the Mixteca Baja region of Puebla. The present study was carried out with the objective of evaluating the physical, chemical and functional properties of the cuatomate fruit (*Solanum glaucescens* Zucc) in two stages of maturity to estimate its nutritional and functional value. Weight, polar and equatorial diameter, pH, titratable acidity, humidity, protein, lipids, ash, crude fiber and carbohydrates were determined. The functional value was quantified by determining phenols, flavonoids and antiradical activity against the DPPH radical.

A completely randomized factorial design was used.

The results show a significant difference in weight ($p = 0.025$), fruits in a state of green maturity presented greater weight, but not for polar, equatorial diameter and number of seeds.

Ripe fruits presented a higher percentage of protein (4.733%), fats (1.786%), ash (5.403%), carbohydrates (1.939%), acidity (0.0503%) and TSS (1.566 °Brix), while green fruits presented higher percentage in crude fiber (4.447%) and pH (5.857).

There are significant differences in the functional properties due to the state of maturity between the fruits, the green tomatoes had a higher content of phenols (418.57 ± 2.74 mg EAG/100 g of dry sample). On the other hand, the flavonoid content for green cuatomate was lower (1162.3 ± 31.7 mg EQ/100 g of ms) than in the mature state of 2676.8 ± 6.78 mg EQ/100 g of ms. However, greater DPPH antiradical activity was found in green cuatomate, since only 12.883 ± 0.503 mg of green

cutomate is required to reduce 50% of the DPPH antiradical activity with respect to mature cuatomates ($97,450 \pm 1,105\text{mg}$). The results obtained indicate that cuatomate fruits provide significant nutritional and functional properties that can be used to enrich foods and beverages.

Key words – *Solanum glaucescens*, DPPH, Antiradical activity.

INTRODUCCIÓN

La región mixteca baja poblana presenta un clima semicálido, subhúmedo con algunas lluvias en verano y prolongados periodos de sequía con limitada disponibilidad de agua, tanto para el consumo humano como para el desarrollo de la agricultura, sin embargo, el conocimiento empírico campesino ha permitido a los habitantes de esta región conservar el cultivo de especies silvestres que forman parte de su alimentación tales como el cuatomate [1], que tiene un valor cultural, económico, gastronómico y agroecológico [2,3].

El cuatomate, *Solanum glaucescens* Zucc., pertenece a la familia de las solanáceas del género *solanum* y subfamilia solanoidea, localizada en la región mixteca de los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero en México [2,3,1]. Es una planta silvestre, perenne, semileñosa y del tipo trepador [1] que crece sobre los árboles que le dan soporte y sombra, aunque es posible encontrar frutos en todo el año, la mayor producción se concentra en los meses de junio a septiembre, en los que se presenta el periodo de lluvias en esta región [4,1].

El fruto del cuatomate se recolecta principalmente de plantas silvestres localizadas en cerros y barrancas, que son más prolíferas en frutos [4]; es empleado para consumo para consumo humano y su venta representa un ingreso económico [5] para los pobladores de la región mixteca. Se considera un fruto silvestre altamente cotizado cuya demanda se ha incrementado aceleradamente debido al transporte, comercialización y promoción que realizan los migrantes mixtecos en los Estados Unidos [1,5] y que ha provocado la evaluación de prácticas para una producción semiintensiva [6,7], que consisten en la extracción de semillas para ser cultivadas en huertos familiares. Aunque existen diferencias en características de frutos, hojas y tallos de las plantas de cuatomate los campesinos mixtecos sólo identifican claramente tres tipos: verde, blanco o cenizo y moteado, que se relacionan con el color externo del fruto desde sus primeras etapas de desarrollo hasta el inicio de su maduración (en la cual todos los tipos adquieren un color amarillo-naranja) [2], como consecuencia de la alteración del contenido de clorofila, carotenoides y acumulación de flavonoides. Al ser un fruto climatérico, su proceso de maduración involucra cambios de textura, modificaciones en el contenido de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles que afectan la calidad nutricional, sabor y el aroma [8] por lo que se plantea que

el estado de madurez afecta las propiedades físicas, químicas y funcionales de los frutos del cuatomate.

En sus distintos estados de madurez es altamente apreciado en la gastronomía regional por sus características organolépticas (olor, textura y sabor) e integrado como ingrediente en diversas comidas. El cuatomate inmaduro tiene una pulpa firme por lo que es incluido en diversos platillos gastronómicos destacando la elaboración de salsas; esta firmeza característica se mantiene durante su almacenamiento a temperatura ambiente, conservando sus características físicas, químicas y sensoriales óptimas hasta por 15 días [5].

Las investigaciones realizadas con este fruto se han centrado principalmente en el estudio etnobotánico y caracterización agronómica [7], procesos de domesticación [6], conocimiento tradicional [1] y la valoración fisicoquímica y funcional según la temporada de cosecha [5]. Aunque estas investigaciones destacan al cuatomate como una especie importante para los productores de la mixteca baja poblana debido a sus repercusiones económicas, sociales, ecológicas, así como de seguridad alimentaria dados por sus valores de uso, de cambio y cultural [4,1], en la actualidad no existen estudios acerca de su composición nutricional y funcional durante las etapas fenológicas del fruto en las que son frecuentemente son empleados en la preparación de alimentos y que permitan conocer el aporte en la dieta de los mixtecos, por tal motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar las propiedades físicas, químicas y funcionales del fruto de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en dos estados de madurez para estimar su valor nutricional y funcional.

DESARROLLO

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio Básico Multifuncional de la Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Tecnológico Nacional de México Campus Acatlán de Osorio.

Obtención de la materia prima

Los frutos de cuatomates (*Solanum glaucescens* Zucc) fueron obtenidos de huertos de la comunidad de Santo Domingo Tonahuixtla perteneciente a San Jerónimo Xayacatlán, Puebla. Los frutos desde su aparición hasta el corte fueron rotulados (Figura 1) indicando la fecha de aparición del fruto.



Figura 1. Frutos de cuatomate seleccionados para este estudio.

Fuente. Elaboración propia, 2024

Preparación de la muestra

Los frutos fueron clasificados en seis estados de madurez (Figura 2) de acuerdo con la pérdida de coloración verde y a la aparición de zonas de color naranja, retomando lo publicado por Hernández-Rojas *et al.* [4]. Para esta investigación se seleccionaron dos estados de madurez, verde (EM1) cuando alcanzó el tamaño óptimo para consumo y naranja (EM6), cuando la clorofila ha disminuido y aumenta la cantidad de flavonoides y carotenoides.

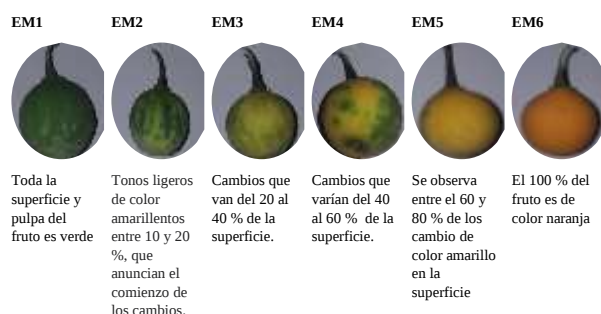


Figura 2. Estados de madurez de frutos de cuatamate (*Solanum glaucescens* Zucc.)

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se seleccionaron lotes de 60 cuatomates en estado de maduración EM1 y 60 en EM6; para eliminar restos de suciedad se lavaron con agua potable y se sumergieron durante 15 minutos en una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio para desinfectarlos, posteriormente se secaron con papel absorbente hasta eliminar exceso de solución. Una vez secos se almacenaron en bolsas ziploc rotuladas hasta su análisis.

Propiedades físicas

A los frutos de cada lote se les determinaron parámetros físicos como peso, diámetros (polar y ecuatorial), número de semillas.

Peso del fruto: Se empleó una balanza analítica marca OHAUS modelo AS200 con una precisión de ± 0.0001 [4,9].

Diámetro polar y ecuatorial: Se midió con un vernier digital, marca Mitutoyo graduado, en milímetros, medido desde la base hasta la punta de la fruta (vertical) y el contorno transversal del fruto [4,10,9].

Número de semillas: Cada uno de los frutos fue cortado a la mitad y con ayuda de unas pinzas de acero inoxidable se extrajeron las semillas para posteriormente contabilizarlas [4].

Propiedades químicas

Para cada estado de madurez se tomó tres cuatamate al azar al cual se les determinaron parámetros fisicoquímicos como humedad, proteínas, cenizas, grasa, fibra cruda, carbohidratos, sólidos solubles totales, acidez titulable y pH, esto se hizo por triplicado.

Humedad: La determinación del contenido de humedad se realizó de acuerdo con la NMX-F-428-1982 [11] empleando la termo balanza marca Velab, modelo VE-

50-5, a una temperatura de 105 °C. El valor obtenido fue registrado como porcentaje de humedad.

Proteínas: El contenido total de proteínas se determinó por el Método Oficial AOAC 2001.11, con algunas modificaciones. El resultado fue expresado como porcentaje de proteína [5].

Cenizas: Se determinó por el método de cenizas totales por calcinación. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas.

Grasas: El contenido de grasa se determinó por el método de soxhlet [5]. El resultado de expreso como porcentaje de grasa.

Fibra cruda. La metodología empleada de fibra cruda utilizada fue de acuerdo a lo descrito por la NMX-F-090-S-1978 [12]. El resultado fue expresado como porcentaje de fibra cruda.

Determinación de carbohidratos. Se determinó por diferencia de los demás componentes [13]. El resultado fue expresado como porcentaje de carbohidratos totales.

Sólidos solubles Totales (SST): Un cuatamate fue cortado en pequeñas porciones y molido junto con 10 mL de agua destilada la mezcla obtenida se filtró. Al filtrado se le determinó los sólidos solubles totales con un refractómetro portátil, en una escala de 0 a 32%. El resultado se reportó como el porciento de sólidos solubles [14,15].

Acidez titulable: Se determinó como porcentaje de ácido cítrico por gramo de pulpa del fruto, se realizó la valoración con NaOH a 0.1N, hasta pH 8.1 y usando 2-3 gotas de fenoltaleína, como indicador [18,17,14,15].

pH: Para la determinación de pH se licuó 10 g de cuatamate *Solanum glaucescens* Zucc con 20 mL de agua destilada, posteriormente se filtró con un lienzo de tela. A 100 mL de agua destilada se adicionaron 10 mL del filtrado, posteriormente se tomó lectura [18,15, 16] de pH con empleando un potenciómetro marca J.T. BAKER, serie 6630, previamente calibrado, con buffer pH 4, 7 y 10.

Propiedades funcionales

Obtención de extractos

Se prepararon extractos a partir de 6 g de muestra, macerado con 30 mL de etanol (70 % v/v) y agitados durante 60 minutos a 5000 rpm, [19]. El sobrenadante se filtró usando papel filtro Whatman No.1 y se centrifugó a 2000 rpm durante 30 minutos e inmediatamente se almacenó a 4°C en frasco ámbar, para posteriormente ser empleado para la determinación de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, capacidad antioxidante (DPPH).

Fenoles totales

El contenido de fenoles se determinó por el método **Folin Ciocalteu** según lo descrito propuesto por Herrera [20] con algunas modificaciones y empleando ácido gálico de la marca Sigma-Aldrich®, como patrón. Se añadieron alícuotas de 1.5 ml del extracto a 1.5 mL de reactivo de **Folin-Ciocalteu**, seguido de 1.5 mL de solución acuosa de carbonato de sodio al 0.05 % (p/v). La mezcla resultante se agitó y se dejó reposar durante 30 min. La absorbancia a 765 nm se midió usando el

espectrofotómetro VELAB modelo VE-5000V. Se utilizó como referencia una muestra en blanco compuesta por agua y reactivos. El resultado se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g ms) con referencia a la curva de calibración de ácido gálico usando la siguiente ecuación:

$$y = 0.0223x + 0.0703 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$R^2 = 0.9967$$

Flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se realizó por el método propuesto por Herrera [20] con algunas modificaciones. En un frasco ámbar se mezcló 1 mL de extracto con 1 mL de nitrito de sodio al 1.5 % (p/v), la mezcla se agitó por 5 minutos. Se colocó 1mL de la disolución en un frasco ámbar y se mezcló con 1 mL de cloruro de aluminio al 3% (p/v) durante 1 minuto, a continuación, se adicionó 1 mL de NaOH 1 M y se agitó por un minuto. Posteriormente se tomó lectura en el espectrofotómetro marca VELAB modelo VE-5000V a una absorbancia de 490 nm. Se tomó como referencia una muestra en blanco compuesta por agua destilada y los reactivos. Se empleó una disolución quercetina (Sigma-Aldrich ®) de 250 µg/mL. El resultado se expresó en miligramos equivalentes de quercetina (mg EQ/g ms), considerando la curva de calibración de quercetina.

Actividad antirradical

Para la actividad antioxidante de los extractos etanólicos de las muestras se determinó mediante eliminación de la actividad de los radicales libres a través del método descrito por Pérez (2023) [19] con algunas modificaciones. Se elaboró una curva de calibración a partir de diluciones de ácido gálico a concentraciones de 1,2,3,4 y 5 µg/mL. De cada dilución se tomó 1.5 mL y se mezcló con 1.5 mL de DPPH al 0.004% en un frasco ámbar, la mezcla se mantuvo en reposo durante 30 min a temperatura ambiente en ausencia de luz. Transcurrido el tiempo se agitó por 1 min y se tomó lectura en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm.

De cada extracto se tomó 1.5 mL y se mezcló con 1.5 mL de DPPH al 0.004% en un frasco ámbar, la mezcla se mantuvo en reposo durante 30 min a temperatura ambiente en ausencia de luz, para posteriormente agitar durante 1 minuto. Para el blanco del estándar (AG) se agregó 1.5 mL de etanol al 90% (v/v) en lugar de DPPH. La actividad antioxidante se expresó con el parámetro de IC₅₀, la concentración necesaria del extracto para inhibir el 50% de la concentración inicial del DPPH. El porcentaje de inhibición se calculó a través de la fórmula retomada por Pérez (2023) [19].

$$\% \text{ de Inhibición del DPPH} = \frac{(A_{DPPH} - A_{EXT})}{A_{DPPH}} \times 100$$

$$100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde A_{DPPH} es la absorbancia del DPPH y A_{EXT} es la absorbancia del extracto. A partir de la ecuación obtenida de las curvas de los controles y de los extractos, el parámetro IC₅₀, se reportó en mg/ de extracto o control/mL.

Análisis estadístico

El efecto del estado de madurez del fruto sobre los parámetros físicos (peso del fruto, diámetro ecuatorial, diámetro polar y cantidad de semillas), químicos (sólidos solubles totales, acidez, pH, cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos por diferencia) y funcionales (fenoles, flavonoides y capacidad antirradical), se estimó mediante un análisis de varianza (ANOVA) del diseño factorial completamente al azar de un solo factor con dos niveles. Para cada uno de los tratamientos se realizó la comparación de medias, usando la prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico Minitab 19.0 considerando un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se encontró diferencia significativa en el peso ($p = 0.025$) debido al estado de madurez del fruto, no así para diámetro polar ($p = 0.772$), diámetro ecuatorial ($p = 0.506$) y número de semillas ($p = 0.731$).

Características físicas del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc) debido al estado de madurez

Peso del fruto

Frutos en estado de madurez verde (EM1) presentaron mayor peso (12.785g) respecto al fruto maduro (11.274g). Estos resultados difieren con lo reportado por Hernández *et al.*, (2018) [2] quienes reportaron pesos promedio entre 20 y 23 g.

Diámetro polar y ecuatorial

Los promedios de los diámetros ecuatorial y polar para los estados EM1 y EM6 fueron similares (Figura 3). Los diámetros de los frutos en estado de madurez EM1 fueron menores a lo publicado por Hernández *et al.*, (2020) en frutos de cuatomate verde de la región mixteca quienes reportan valores promedio de 3.82 cm y 3.86 cm de diámetro polar y ecuatorial, respectivamente.

Número de semillas

Aunque, los frutos verdes (EM1) presentaron un promedio mayor de semillas respecto a los frutos maduros (Figura 4). Estos resultados son inferiores a lo reportado por Hernández *et al.*, (2020) [4], quienes al estudiar frutos de cuatomates verdes de ocho municipios de la Mixteca Poblana, reportaron valores promedios de 194, 168, 160, 159, 112, 125, 145 y 144 semillas de frutos de cuatomate procedentes de los municipios de Izúcar de Matamoros, Tulcingo, Chiautla de Tapia, Acatlán de Osorio, Guadalupe Santa Ana, San Pedro Yeloixtlahuaca, Tehuiztzingo y Chinantla respectivamente; aunque los resultados de los dos últimos municipios no presentaron diferencia significativa, el número de semillas son superiores a lo encontrado en el presente estudio.

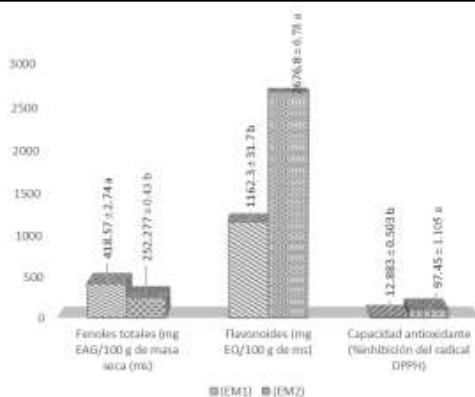


Figura 3. Comparación de medias del peso (g), diámetro polar y ecuatorial (cm) y número de semillas del cuatomate. Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$)
Fuente: Elaboración propia, 2023

Características químicas del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc) debido al estado de madurez

Diferencia significativa debido al estado de madurez fue encontrado en el porcentaje de humedad ($p=0.000$), contenido de proteínas ($p=0.000$), en el contenido de proteínas, porcentaje de grasa ($p=0.000$), porcentaje de cenizas ($p=0.000$), fibra ($p=0.0000$) y carbohidratos totales ($p=0.000$), pH($p=0.000$), acidez titulable ($p=0.000$) y sólidos solubles totales ($p=0.000$) en los frutos del cuatomate.

Humedad

El porcentaje de humedad fue mayor para los frutos en estado madurez EM1 respecto a los frutos maduros (EM6) como se muestra en la Figura 4. Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a $88.8 \pm 0.76 \%$ y $89.61 \pm 0.97 \%$ de humedad para frutos verdes cosechados en otoño e invierno respectivamente, reportado por Medina *et al.*, (2014) [5]. En cambio, los porcentajes de humedad en frutos maduros encontrado en el presente estudio son inferiores a lo reportado por Torres (2012) [22] para pulpa de tomate de árbol ($87.72 \pm 0.15 \%$).

Proteínas

El fruto maduro (EM6) presentó mayor porcentaje de proteínas, 4.733% en comparación al 4.01% de proteínas de frutos verdes (EM1) (Figura 4), este último valor resultó ser inferior al $13.17 \pm 0.29 \%$ y $10.53 \pm 0.27 \%$ reportado por Medina *et al.* [5], para frutos cosechados en otoño e invierno, respectivamente. El contenido de proteína para frutos en estado de madurez EM6 reportado en esta investigación resultó mayor lo encontrado en la pulpa madura de tomate de árbol ($1.78 \pm 0.14 \%$) reportado por Torres (2012)[22].

Grasas

Mayor contenido de grasa presentaron los frutos en estado de madurez EM6, tal como se muestra en la Figura 4. Los cuatomates verdes (EM1) presentaron menor contenido de grasa comparado con los resultados obtenidos del estudio de dos cosechas diferentes de

cuatomate verde, de acuerdo a lo reportado por Medina *et al* (2014) [5] los frutos cosechados en otoño presentaron $2.79 \pm 0.03 \%$ mientras que los frutos cosechados en invierno tuvieron un contenido de grasa de $2.99 \pm 0.05 \%$. El contenido de grasa en cuatomates maduros (EM6) resultó ser de 1.79% de grasa, valor mayor a 0.16% reportado por Torres (2012) [22] en un estudio realizado en pulpa de tomate de árbol maduro, esta diferencia se debe que en este proyecto se utilizó el fruto completo de cuatomate.

Cenizas

Mayor porcentaje de cenizas fue encontrado en los frutos maduros de cuatomate (Figura 4). El porcentaje de ceniza en cuatomate verde (EM1) es inferior a lo reportado por Medina *et al* (2014) [5] en dos cosechas diferentes de cuatomate, los autores indican que el porcentaje de ceniza fue de $6.53 \pm 0.18 \%$ para frutos de cosecha de otoño y para invierno de $7.03 \pm 0.20 \%$; comparando los resultados del contenido de cenizas en frutos en estado de madurez EM6 con pulpa madura de tomate de árbol [22], $0.88 \pm 0.01 \%$, los resultados obtenidos en este estudio son superiores.

Fibra cruda

Los cuatomates verdes (EM1) presentaron mayor porcentaje de fibra con respecto a los cuatomates maduros (EM6), tal como se puede observar en la Figura 4. Estos resultados son mayores a lo reportado por Pantoja *et al.* (2009) [23] en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en las variedades Armella ($0.91 \pm 0.03 \%$) y Vermelha ($0.87 \pm 0.02 \%$).

Carbohidratos totales

Los frutos maduros presentaron mayor contenido de carbohidratos totales como se puede observar en la Figura 4. A pesar de que en estado maduro el contenido de azúcares es alto, este resultado es inferior a lo reportado por Torres (2012)[22] en pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) con un porcentaje de 5.36. Mientras que en cuatomates verdes de acuerdo a lo reportado por Medina *et al.*, (2014) [5] en dos temporadas de cosechas de cuatomate, los frutos de la cosecha de otoño presentaron un porcentaje de 77.51 mientras que la cosecha de invierno de 79.45 de carbohidratos totales, estos resultados son mayores a lo obtenido en el presente estudio, ya que los autores también determinaron los carbohidratos por diferencia, pero solo lo obtienen de los resultados de proteínas, grasas y cenizas.

pH

Los frutos verdes presentaron mayor pH promedio de 5.8567 respecto a los frutos maduros con 4.97333 (Figura 4), estos resultados son mayores a lo reportado por Pantoja *et al.*, (2009) [22] para tomate de árbol (*solanum betaceum*) en las variedades Armella (3.00 ± 0.03) y Vermelha (3.84 ± 0.02).

Acidez titulable

La medición de acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido cítrico, indicó que en frutos maduros (EM6) presentaron mayor promedio con respecto a los frutos verdes (EM1) tal como se muestra en la figura 4. Aun así, estos valores resultaron inferiores a lo reportado

por Pantoja *et al.*, (2009) [23] quienes indicaron que el tomate de árbol de la variedad Armella registró un porcentaje de 1.65 ± 0.02 y Vermelha de 1.65 ± 0.035 . Se reportó que para pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) obtuvo un porcentaje de 0.20 ± 0.00 [22], este resultado es mayor a lo obtenido en cuatomate maduro (EM6).

Sólidos solubles totales (SST)

Los frutos maduros presentaron mayor promedio de sólidos solubles totales, expresados como °Brix, a diferencia de los frutos verdes (Figura 4). Camacho (2019)

[24] reportó que los tomates de árbol (*Solanum betaceum*), presentaron valores de 10.6 ± 0.1 a 12.9 ± 0.1 ° Brix, estos resultados son mayor a los obtenidos en el presente estudio.

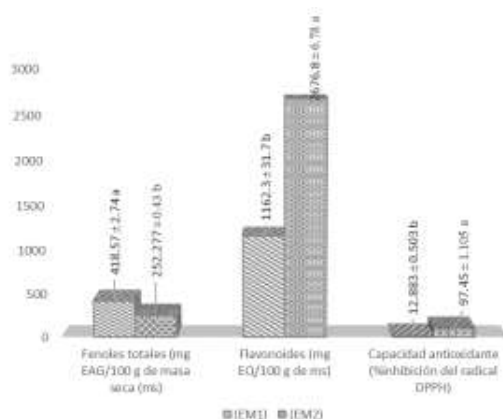


Figura 4. Comparación de medias del porcentaje de humedad, proteínas, grasa, cenizas, fibra cruda, carbohidratos totales, pH, acidez titulable y solidos solubles totales del cuatomate.

Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia, 2023

Caractrísticas funcionales del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc) debido al estado de madurez

Diferencia significativa fue encontrada en la concentración de fenoles totales ($p=0.000$), flavonoides ($p=0.000$) y capacidad antioxidante ($p=0.000$) debido al estado de madurez.

Fenoles totales

Los frutos en estado de maduración EM1 presentaron un promedio mayor de fenoles de 418.57 ± 2.74 mg EAG/100 g de muestra seca (ms) en comparación a los frutos en estado de maduración EM6, este resultado es mayor a lo reportado por Medina *et al.*, (2014) [5] en un estudio realizado en cuatomates verdes en la cosecha de invierno, los investigadores registraron un valor de 204.06 mg de fenoles totales/100 g de muestra en peso fresco, equivalentes a mg de ácido gálico. Con respecto a los frutos maduros presentaron un contenido de 252.277 ± 0.43 mg EAG/100 g de muestra seca, este resultado es mayor a lo reportado por Bartolón (2015) [25] en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) que reporta un promedio de

193.09 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de muestra seca.

Flavonoides totales

El contenido de flavonoides en fruto en estado de maduración verde (EM1) fue menor respecto a frutos maduros (EM6) que presentaron mayor promedio de flavonoides como se observa en la Figura 5. Estos resultados son mayores a lo reportado por Camacho (2019) [24] en tomate de árbol (*solanum betaceum*), quien evaluó un total de 50 muestras de tomate rojo y reporto que estas muestras presentaron un contenido de flavonoides totales que varían en un rango de 1.54 ± 0.06 a 6.70 ± 0.20 mg de catequina /g. La diferencia en los resultados de este estudio y con lo reportado por Camacho se debe al tipo de estándar utilizado.

Actividad antioxidante frente al radical DPPH.

La evaluación de la actividad antirradicalar de los compuestos fenólicos (CF) de cuatomate estado de maduración verde y maduro con respecto al ácido gálico, utilizado como control; muestran que se requieren 12.883 ± 0.503 mg de cuatomate verde y 97.450 ± 1.105 mg de cuatomate maduro para inhibir el 50 % del radical DPPH, cantidades superiores respecto a ácido gálico (2.8653 ± 0.006 mg/mL) para inhibir la misma concentración de radical DPPH. El resultado obtenido en cuatomate verde (EM1) es menor a lo reportado por Cobaleda (2016) [24] quien indicó que para el tomatillo silvestre (*Physalis angulata*) se requiere de 30.18 ± 1.55 mg de pulpa de tomatillo, para inhibir el 50% del radical DPPH. El resultado obtenido en cuatomate maduro (EM6) es mayor a lo reportado por García *et al.*, (2016) [26], los autores reportaron que para inhibir el 50% del radical DPPH se requiere 83.06 ± 1.27 mg de muestra de pulpa de tomate rojo.

El contenido de capacidad antioxidante en la muestra de cuatomate verde fue de 12.883 ± 0.503 mg y en muestra de cuatomate maduro fue de 97.450 ± 1.105 .

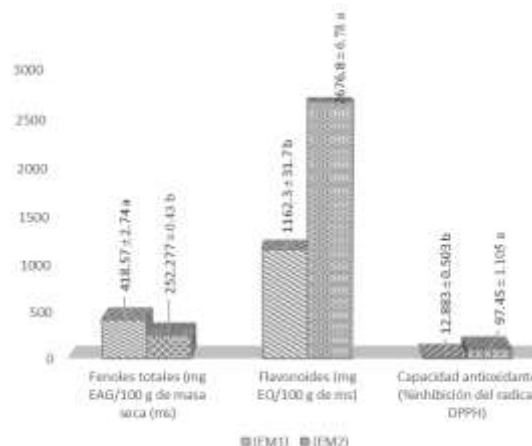


Figura 5. Comparación de medias del peso (g), diámetro polar y ecuatorial (cm) y número de semillas del cuatomate.

Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia, 2023

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis, el peso promedio del fruto de cuatomate se ve afectado por el estado de madurez, no siendo lo mismo para el diámetro polar, ecuatorial y número de semillas. Los resultados promedios de humedad, fibra y pH disminuyen durante el proceso de maduración, no siendo lo mismo para proteínas, grasas, cenizas, carbohidratos, acidez titulable y sólidos solubles que aumenta durante el proceso de maduración.

Los resultados obtenidos para el extracto de muestra de cuatomate verde presentaron un contenido alto de fenoles totales de 418.57 ± 2.74 mg EAG/100 g de masa seca (ms), mientras que en cuatomate maduro se obtuvo un contenido de 252.277 ± 0.43 mg EAG/100 g de masa seca, por lo que el contenido de fenoles va disminuyendo a medida que el estado de madurez aumenta.

La determinación de flavonoides en los cuatomates verdes tienen menor cantidad de flavonoides (1162.3 ± 31.7 mg EQ/100 g de ms) en comparación con cuatomates maduros con alto contenido de 2676.8 ± 6.78 mg EQ/100 g de materia seca, esto puede verse afectado por el estado de madurez del fruto, entre más maduro este la cantidad de flavonoides aumenta.

Mayor actividad antirradical DPPH se encontró en los cuatomates verdes, porque solo se requiere 12.883 ± 0.503 mg de cuatomate verde para inhibir el 50% de la actividad antirradical DPPH con respecto a los cuatomates maduros que se necesita 97.450 ± 1.105 mg para inhibir el 50 % de la actividad antirradical.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, es posible considerar en futuras investigaciones la incorporación del fruto de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.), mediante la identificación del o los tipos de fenoles y flavonoides presentes en el fruto mediante análisis de infrarrojos o cromatografía de gases, con el objetivo de saber específicamente lo que contiene y poder adicionarse a algún alimento o bebidas. Elaborar productos con fruto fresco o fruto deshidratado, incorporándolos en forma de harina o encapsulados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, por el financiamiento concedido para el desarrollo de esta investigación y a la Jefatura de la Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias

BIBLIOGRAFÍA

[1]Gutiérrez Rangel, N., Medina Galicia , A., Ocampo Fletes, I., López, P. A., & Pedraza Santos, M. E. (2011). Conocimiento tradicional del "cuatomate" (*Solanum glaucescens* Zucc) en la Mixteca Baja Poblana, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 8 (3), 407- 420.

[2]Hernández-Rojas, C. J., Sandoval Castro , E., Gutiérrez Rangel, N., Pineda Pineda, J., Sánchez Vélez, A., & Espinoza Hernández, V. (2018). Concentración de nutrimentos en la solución nutritiva y rendimiento de "cuatomate"(*Solanum glaucescens* Zucc.). *Revista*

mexicana de ciencias agrícolas, 9 (1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.853>.

[3] Martínez-Pérez. A., López, P.A., Gil, M.A. & Cuevas, S.J.A. (2012). Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la Mixteca Poblana. México. *Acta Botánica Méxicas* 98: 73-98- Recuperado en 17 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000100005&lng=es&tlng=es.

[4] Hernández-Rojas, C. J., Sandoval Castro, E., Ocampo Mendoza, J., & Casillas Zepeda, L. (2020). Caracterización de frutos de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en el sistema de traspatio de la Mixteca Poblana. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30 (55). <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.830>

[5] Medina Dzul, K., Muñoz Rodríguez, D., Guzmán Gerónimo, R. I., & Acereto Escoffí, P. Ó. (2014). Valor nutrimental y funcional del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc), fruto silvestre de la región mixteca. *Ciencia en la frontera*, 12 (3), 93-100.

[6] Martínez M., L. (2004). Proceso de domesticación de cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en la Mixteca Poblana. ITA. No. 32, Tecmatlán. Memoria de residencia profesional. México. 33 p

[7] Vargas, M. O. (1998). Estudio etnobotánico y caracterización agronómica del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc), en la región Mixteca Baja Poblana. Tesis profesional, UACH. Chapingo, México. 111 p.

[8] Martínez-González, M.E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. & López-Gúzman, G.G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(spe19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>

[9]Ayala, L. C., Valenzuela C.P. & Bohórquez P. Y. (2013). Caracterización Físicoquímica de Mora de Castilla (*Rubus Glaucus* Benth.) En Seis Estados De Madurez. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 11 (2), 10-18. Recuperado el 18 de enero de 2024 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200002&lng=en&tlng=es.

[10] Balderas,G.V., (2017). Evaluación de la calidad física, sensorial, nutritiva, y nutraceutica de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) cosechados en la región de Huitziltepec, Puebla. (Tesis de maestría). Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.

[11] Secretaría de economía. (1982, octubre 7). Norma oficial mexicana NMX-F-428-1982, Alimentos-Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza. Diario oficial de la federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=691922

[12] NMX-F-090-S-1978.Determinación de fibra cruda en alimentos. (s.f.). Obtenido de <https://studylib.es/doc/7419630/nmx-f-090-s-1978.-determinación-de-fibra-cruda>

- [13]Valenciano, A. F. F., & Chávez, E. S. (2017). Estudio de las propiedades físico-químicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9(18), 133. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>. [13]
- [14]Ghasemnezhad, M., & Javaherdashti, M. (2008). Effect of methyl jasmonate treatment on antioxidant capacity, internal quality and postharvest life of raspberry fruit. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 6(1), 73-78.
- [15] González-Aguilar, G. A., Buta, J. G., & Wang, C. Y. (2001). Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of 'Kent'mangoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1244-1249.
- [16] Noriega, J.A.D. (2021). Caracterización funcional, antioxidantes y fisicoquímica del jugo fermentado y sin fermentar de pitaya de mayo *Stenocereus griseus*. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico superior de Acatlán de Osorio. Acatlán de Osorio, Puebla
- [17] García-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Zapata, P. J. (2019). Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Scientia Horticulturae*, 247, 380–389.
- [18] AOAC. (1996). *Official Methods of Analysis*. 16th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- [19] Pérez Hernández, M. (2023). Obtención de formulados antidiabéticos en polvo a partir de residuos de pitaya roja (*Stenocereus griseus*) (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, Acatlán de Osorio.
- [20] Herrera Bravo, Y. (2022). Evaluación de la actividad antidiabética in vitro de los extractos de hoja de *Salvia amarissima* fresca y seca. (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, Acatlán de Osorio.
- [21]Bartolon Anzueto, R. L. (2015). Contenido fenólico total y capacidad antioxidante de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) desarrollado con abonos orgánicos y perlita en invernadero (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila.
- [22] Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)(Cav.) Sendtn. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62 (4), 381-388.
- [23] Pantoja, L., Dessimoni Pinto, N. V., Lopes, C., Gandra, R., & Soares Dos Santos, A. (2009). CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DE DUAS VIERDADES DE TAMARILHO ORIUNDAS DO NORTE DE MINAS GERAIS. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31 (3), 916-919.
- [24] Camacho Dillon, D. K. (2019). Caracterización fisicoquímica y funcional de una población de segregantes

de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) (Tesis de licenciatura). Universidad Central del Ecuador Facultad - de Ciencias Químicas, Quito.

[25] Cobaleda Velasco, M. (2016). Caracterización y determinación del papel de los polifenoles durante el desarrollo de especies de *Physalis* (Tesis doctoral). Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Integral Regional Unidad de Durango, Victoria de Durango.

[26] García G, I. M., Reyes P, H., Echeverry A, A., & Rodríguez E, J. A. (2016). Comparación cuantitativa de la actividad antioxidante en tomate chonto y ahuyama por los métodos ABTS, DPPH y voltamperometría cíclica. 576-579.

ROLES DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización Supervisión Administración del proyecto Redacción del borrador original	Anabel Romero Cruz
Metodología-Recursos-	Rosa Isela Vidals Flores
Redacción Validación-visualización	Erika López Aranda
Redacción-Revisión y Edición	Narciso Luna Esquivel
Redacción-Revisión y Edición	Rosalinda Escamilla Ramírez



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.