

Características fisiológicas y compuestos bioactivos de variedades de melón, correlacionados con propiedades fisicoquímicas del suelo

Physiological characteristics and bioactive compounds of melon varieties, correlated with physicochemical properties of the soil

Patricia Araceli Calvo-Maldonado¹ , Alejandro Moreno-Reséndez^{2*} , José Luis Reyes-Carrillo² , Jesús Omar Díaz-Rivas³ , Guadalupe Calderón-Leyva¹ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, CP. 27054. Torreón, Coahuila de Zaragoza, México.

²Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria. UAAAN-CA-14; Consolidado - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, CP. 27054. Torreón, Coahuila de Zaragoza, México.

³Instituto de Investigación y Transferencia de Tecnología en Zonas Áridas (IITTZA). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, CP. 27994. Parras de la Fuente, Coahuila de Zaragoza, México.

*Autor de correspondencia: alejamosa@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 16 de marzo 2026

Aceptado: 08 de septiembre 2026

RESUMEN. En años recientes, el interés por los compuestos antioxidantes se ha incrementado, debido a su capacidad para reducir el estrés oxidativo que propicia enfermedades. Ante la relevancia de estos compuestos presentes en el fruto de melón, se llevó a cabo este estudio dirigido a determinar el contenido de fitoquímicos totales en pulpa de tres variedades de melón, evaluar su capacidad antioxidante y analizar la relación entre las condiciones edáficas, los compuestos bioactivos y la calidad del fruto. Se evaluaron frutos provenientes de la cosecha temprana de 2025, recolectados aleatoriamente en cinco unidades de producción comercial. La cuantificación de compuestos fenólicos y flavonoides totales se realizó mediante análisis espectrofotométricos y la capacidad antioxidante se estimó utilizando el radical DPPH*. El estudio tuvo un enfoque observacional y exploratorio; en cada unidad de producción se seleccionaron aleatoriamente diez frutos, obteniendo un total de 50 submuestras. El procesamiento y análisis de los datos experimentales se efectuó utilizando el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics. Para la actividad antioxidante se encontró que el tratamiento NP5VP registró el mayor porcentaje de inhibición con una media de $11.13 \pm 0.95\%$ y un valor mínimo de $3.04 \pm 1.10\%$ de inhibición en el tratamiento SP4VAG ($P \leq 0.01$); la variable diámetro ecuatorial destacó el tratamiento SP4VAG 15.81 ± 0.38 cm, SP1VTR 15.58 ± 0.41 cm, y SP3VAG con 5.66 ± 0.50 cm para el espesor de cáscara ($P \leq 0.01$). Las características fisicoquímicas del suelo favorecieron las concentraciones de compuestos antioxidantes, la morfología y calidad del fruto de melón.

Palabras clave: Actividad antioxidante, flavonoides, inhibición, morfología, polifenoles.

ABSTRACT. In recent years, interest in antioxidant compounds has increased due to their ability to reduce oxidative stress that contributes to disease development. Given the relevance of these compounds present in melon fruit, this study was conducted to determine the total phytochemical content in the pulp of three melon varieties, evaluate their antioxidant capacity, and analyze the relationship between edaphic conditions, bioactive compounds, and fruit quality. Fruits from the early harvest of 2025 were evaluated, randomly collected from five commercial production units. The quantification of total phenolic compounds and flavonoids was performed through spectrophotometric analyses, and antioxidant capacity was estimated using the DPPH* radical. The study had an observational and exploratory approach; ten fruits were randomly selected from each production unit, obtaining a total of 50 subsamples. The processing and analysis of experimental data were performed using the statistical package SAS® OnDemand for Academics. Regarding antioxidant activity, the NP5VP treatment showed the highest inhibition percentage, with a mean value of $11.13 \pm 0.95\%$, while the lowest inhibition percentage was recorded for the SP4VAG treatment ($3.04 \pm 1.10\%$) ($P \leq 0.01$). For the equatorial diameter variable, the SP4VAG treatment showed 15.81 ± 0.38 cm and SP1VTR 15.58 ± 0.41 cm, while SP3VAG presented 5.66 ± 0.50 cm for peel thickness ($P \leq 0.01$). The physicochemical characteristics of the soil favored the concentrations of antioxidant compounds, as well as the morphology and quality of melon fruit.

Keywords: Antioxidant activity, flavonoids, inhibition, morphology, polyphenols.

Como citar: Calvo-Maldonado PA, Moreno-Reséndez A, Reyes-Carrillo JL, Díaz-Rivas JO, Calderón-Leyva MG (2026) Características fisiológicas y compuestos bioactivos de variedades de melón, correlacionados con propiedades fisicoquímicas del suelo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(3): e5246. DOI: 10.19136/era.a13n3.5246.

INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.), es una especie de la familia Cucurbitácea y género *Cucumis* (Kerje y Grum 2000). De acuerdo con el SIAP (2025) la producción de melón se distribuye en 22 entidades federativas de México, dentro de las cuales destacan los estados de Coahuila y Durango con una producción de 174 394.99 toneladas, de manera particular en la Comarca Lagunera se tuvo una superficie sembrada de 2778.70 ha con un rendimiento de 97 810.55 toneladas con una utilidad de \$467 654.55.

Además de su importancia comercial, el fruto de melón posee un gran valor nutricional y medicinal gracias al contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y antioxidantes presentes principalmente en la pulpa (Vishwakarma *et al.* 2017, Narayanan *et al.* 2024). Los antioxidantes tienen la capacidad de reacción ante situaciones que producen daño (Oroian y Escriche 2015) y ayudan a inhibir la oxidación por otras moléculas (Gulcin 2020), siendo útiles para el tratamiento de enfermedades que son propiciadas por el estrés oxidativo (Bacca-Narváez *et al.* 2024).

Los compuestos fenólicos y los flavonoides se identifican como metabolitos secundarios y son generados por las plantas como respuesta fisiológica frente a diversos factores de estrés biótico y abiótico. Además de intervenir en los mecanismos de defensa vegetal, desempeñan funciones esenciales durante el crecimiento, la floración, la formación de semillas y el desarrollo del fruto, contribuyendo asimismo a los atributos nutraceuticos de frutas y hortalizas (Ignat *et al.* 2011, Šamec *et al.* 2021, Xu y Wang 2025). Aunque estos metabolitos se distribuyen en distintos órganos de la planta (Alqethami y Aldhebiani 2021), el fruto representa el principal tejido de interés debido a su consumo directo y a su potencial aprovechamiento por las industrias alimentaria, farmacéutica y nutraceutica (Singh *et al.* 2016a).

Por otro lado, la relación que existe entre el suelo-planta es de suma importancia, debido a que los componentes del suelo se encuentran estrechamente relacionados con la biosíntesis de metabolitos secundarios (Tang *et al.* 2024) gracias al contenido de nutrientes particularmente la presencia de N, P y K, que influyen para una mayor concentración de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante (Galván-Cardona *et al.* 2024, Zhang *et al.* 2025).

La morfología y calidad de fruto también se ven afectados por los componentes químicos del suelo, es decir, los niveles de fósforo son vitales durante el periodo de crecimiento de la planta ya que mejora el peso y el diámetro ecuatorial, así como el contenido de sólidos solubles de los frutos (Martuscelli *et al.* 2016). Por otro lado, la salinidad excesiva puede ser estresante para la planta de melón, provocando pérdida foliar, alteración metabólica, rendimiento y baja calidad (Chóez-Baque *et al.* 2025, Jing *et al.* 2025). Por lo expuesto previamente, el objetivo de este estudio fue cuantificar el contenido total de fitoquímicos en pulpa de tres variedades de melón, la capacidad antioxidante y la influencia que tienen las propiedades fisicoquímicas del suelo en relación con los compuestos bioactivos y la calidad del fruto de melón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El material vegetal utilizado en esta investigación se obtuvo de cinco parcelas productoras de melón, ubicadas en el ejido San Juan de Villanueva, Viesca, Coahuila, perteneciente a la Comarca Lagunera. En el periodo primavera-verano 2025 se solicitaron a dos productores de la región 10 frutos, seleccionados al azar, de aproximadamente $1.0 \text{ kg} \cdot \text{muestra}^{-1}$ obteniéndose frutos de tres variedades: T-Rex (Syngenta®), Alaniz Gold (SAKATA®) y Pitayo (Harris Moran®), de tipo Cantaloupe, desarrollados en cinco unidades de producción (parcelas).

Manejo de frutos

Los frutos cosechados fueron almacenados en bolsas de plástico, previamente etiquetadas con el nombre del productor, número de la parcela, variedad y el número consecutivo (1-10) para su identificación, posteriormente se transportaron en hieleras hasta el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna, en éste se realizaron las mediciones de las variables morfológicas DE = Diámetro Ecuatorial (cm); DP = Diámetro polar (cm); EP = Espesor de pulpa (mm); Ecás = Espesor de cáscara (cm); R = Resistencia a la penetración (Newton); SS = Sólidos solubles (°Brix); PF = Peso de fruto (g). Una vez concluidas las mediciones, la pulpa se separó de cada fruto, se preservó en bolsas debidamente etiquetadas a una temperatura de -4°C hasta la extracción y determinación de compuestos bioactivos.

Preparación de extractos

Para obtener los extractos, las muestras de pulpa se descongelaron, a temperatura ambiente, para después cortarla en cubos de aproximadamente de 10 g, los cuales fueron molidos en un mortero de porcelana (130 mL). De cada muestra molida se obtuvieron 3 g, se colocaron en tubos de plástico con tapa de rosca (10 mL) A cada tubo se adicionaron 3 mL de metanol (Golden Bell®) concentrado. Durante el proceso de molienda las muestras permanecieron en refrigeración para evitar alteraciones en los metabolitos de interés. Posteriormente los tubos fueron colocados en un agitador mecánico (Heber-Bach®) por 24 h, para después centrifugar a 4500 rpm por 5 min, por último, se extrajo el sobrenadante y se colocó en tubos nuevos, previamente etiquetados. Los extractos fueron refrigerados a 4°C hasta su análisis correspondiente. Para dar inicio con el análisis bioquímico, las muestras fueron trasladadas en hieleras para preservar la temperatura de 4°C al laboratorio del Instituto de Investigación y Transferencia de Tecnología en Zonas Áridas (IITTZA), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en la ciudad de Parras de la Fuente, Coahuila de Zaragoza y continuar con los análisis correspondientes.

Variables fitoquímicas

Contenido total de polifenoles (CTP)

Una vez que se tienen los extractos de las muestras se realizó análisis del CTP, siguiendo lo descrito por Nossa-González *et al.* 2016. Para cada muestra se prepararon tres réplicas, utilizando 125 μL del extracto, se añadieron 0.5 mL de agua destilada y 125 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de seis minutos de reacción se incorporaron 125 μL de solución de carbonato de sodio (7%; m/v) por último se complementó con 1 mL de agua destilada. La mezcla permaneció en reposo

por 90 minutos procurando las condiciones adecuadas dentro del laboratorio a una temperatura de 20 °C y 65% de humedad relativa. Finalmente, la absorbancia de las muestras se observó en un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®), a 750 nm. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco (mg GAE•g⁻¹ PF).

Contenido total de flavonoides (CTF)

La determinación de flavonoides totales se realizó conforme al procedimiento descrito por Zhishen *et al.* (1999). En tubos de ensayo protegidos de la luz con papel aluminio, se colocó una alícuota de 250 µL del extracto con 1 250 µL de agua destilada y posteriormente se añadieron 75 µL de Nitrato de Sodio (NaNO₃ 5%: m/v) y se mantuvo en reposo por seis minutos, al concluir se agregaron 500 µL de (NaOH) 1 M. Cada muestra fue analizada en un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®) a una absorbancia de 510 nm, para nuestro testigo se preparó una solución de metanol al (80%: m/v) como blanco y los datos obtenidos fueron expresados en miligramos de Catequina por gramo de peso fresco (mg CAT•g⁻¹ PF).

Actividad Antioxidante (AA) por DPPH*

Para la determinación de la AA se utilizó el radical DPPH* (2,2-difenil-1-Picrilhidrazilo) conforme a lo descrito por Singh *et al.* (2016b). Se elaboró una curva de calibración utilizando vitamina C en concentraciones de 0.02, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50 y 2 mM. Para cada muestra se agregaron 100 µL de la solución correspondiente, con 5 mL de solución metanólica de DPPH* (1 × 10⁻⁴ M). Las mezclas permanecieron en oscuridad por un lapso de 30 minutos y posteriormente se registró la absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®). La AA se expresó como porcentaje de inhibición del radical DPPH*.

Variables morfológicas y calidad de fruto

Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)

Se obtuvieron midiendo la distancia máxima vertical al eje longitudinal del melón. Para el diámetro polar se midió la distancia que había de extremo a extremo de forma horizontal y el resultado obtenido se expresó en centímetros para ambas variables.

Espesor de pulpa (EP) y de cáscara (Ecás)

Para obtener el espesor de pulpa se realizaron cortes transversales del fruto y se midió con ayuda de una regla (30 cm) la distancia en centímetros que había entre la corteza y la cavidad central del melón. Para el espesor de cáscara se midió la distancia en milímetros que había entre corteza externa y la orilla de la pulpa, hacia la cavidad central.

Resistencia (R)

La resistencia del fruto se determinó utilizando un penetrómetro Lutron (Modelo LT-FR5120®, 20 kg), registrando la fuerza necesaria para penetrar la pulpa del melón en la región ecuatorial y se expresó en Newtons (N).

Sólidos Solubles (SS)

Con ayuda de un refractómetro manual Master-M (ATAGO®) se determinó el contenido de SS y se expresó en °Brix.

Peso de fruto (PF)

Antes de realizar cortes al fruto de melón se cuantificó el peso (g) en una báscula electrónica portátil (Modelo BASE-5EP, TRUPER®, 7.5 kg).

Análisis de suelo

La determinación de las características fisicoquímicas de las muestras de suelo de cada parcela (Tabla 1), se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna, siguiendo la metodología de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT 2002). Se evaluaron el porcentaje de arena, limo y arcilla, textura, pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo de cada unidad de producción

Tratamiento	Textura	Arena	Arcilla	Limo	CO	MO	N	pH	CE	CIC	K	P
				(%)					(dS cm ⁻¹)	(meq/100 g ⁻¹ suelo)		mg/100 g ⁻¹ suelo
SP1VTR	Areno francosa	79.28	7.28	13.44	0.28	0.48	0.05	7.2	3.4	2	0.21	17.65
SP2VTR	Areno francosa	72.72	16	11.28	0.43	0.74	0.0364	7.4	7.8	5	0.17	12.59
SP3VAG	Areno francosa	72.72	13.64	13.64	0.87	1.49	0.028	7.5	9.1	5	0.286	41.71
SP4VAG	Arcillosa	11.44	68.56	20	0.39	0.67	0.0364	7.7	4.9	4	0.1333	7.26
NP5VP	Areno migajonosa	75.84	13.44	10.92	0.28	0.49	0.047	7.7	4.3	5	1.85	5.5776

S = Productor Samuel; P1 a P4 = Número de parcela; N = Productor Nery; VTR = Variedad T-Rex; VAG = Variedad Alaniz Gold y VP = Variedad Pitayo; CO = Carbono Orgánico; MO = Materia Orgánica; pH = potencial de Hidrógeno; CE = Conductividad Eléctrica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; N = Nitrógeno; P = Fósforo; K = Potasio.

Diseño experimental

El estudio se efectuó bajo condiciones de producción comercial en cinco parcelas pertenecientes a dos productores, que utilizaron tres variedades sembradas en diferentes unidades de producción: la identificación de los tratamientos se realizó considerando la variedad, la parcela y el manejo agronómico de cada productor. En consecuencia, el presente estudio debe entenderse como un análisis observacional y exploratorio, en el que la unidad experimental fue cada parcela comercial (n = 5) y los 10 frutos recolectados aleatoriamente por unidad de producción al momento de la cosecha se consideraron submuestras del comportamiento de cada parcela, más que réplicas independientes en sentido estricto. La identificación de cada tratamiento se encuentra explicada en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de la identificación de tratamientos

Tratamiento	Nombre del productor	P = Número de parcela	Nombre de la variedad
SP1VTR	S = Samuel	P1	VTR = Variedad T-Rex, Syngenta®
SP2VTR	S = Samuel	P2	VTR = Variedad T-Rex, Syngenta®
SP3VAG	S = Samuel	P3	VAG = Variedad Alaniz Gold, SAKATA®
SP4VAG	S = Samuel	P4	VAG = Variedad Alaniz Gold, SAKATA®
NP5VP	N = Nery	P5	VP = Variedad Pitayo, HARRIS MORAN®

Análisis estadístico

Los datos recopilados se analizaron por medio del paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics. Se realizaron pruebas de normalidad en todas las variables evaluadas, de las cuales AA, DE, DP, EP, Ecás, SS y PF presentaron distribución normal, por lo que se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguido de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Para CTP, CTF y R, que no cumplieron el supuesto de normalidad, se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$). Con la finalidad de explorar la conexión entre las propiedades fisicoquímicas del suelo, fitoquímicas, morfológicas y de calidad de fruto, se aplicaron correlaciones de Spearman para variables no paramétricas y correlaciones de Pearson para variables con distribución normal, reportándose únicamente las correlaciones estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Dado que el número de unidades independientes a nivel de suelo fue de $n = 5$, los coeficientes de correlación se interpretan como tendencias exploratorias y no como inferencias estadísticas definitivas. Complementariamente, se hizo un análisis de componentes principales (ACP) con la matriz de correlación mediante el software PAST v4, integrando simultáneamente las variables fitoquímicas, morfológicas y fisicoquímicas del suelo para identificar patrones de agrupamiento entre las unidades de producción evaluadas.

RESULTADOS

La actividad antioxidante en pulpa de melón (AA) presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0002$), mientras que en CTP y CTF no se observaron diferencias significativas. De acuerdo con los resultados obtenidos la variable CTP se determinó un rango de 0.66 a 1.20 mg GAE•g⁻¹ PF, (Tabla 3), demostrando que estadísticamente no existió diferencia significativa entre tratamientos, aun así, el tratamiento NP5VP con 1.20 ± 0.18 mg GAE•g⁻¹ PF, presentó la mayor concentración de CTP, reflejando diferencias numéricas entre las concentraciones halladas en las variedades evaluadas.

Tabla 3. Comparación de medias de los compuestos fitoquímicos determinados en la pulpa de tres variedades de melón y de cinco unidades de producción comercial.

Tratamiento	CTP (mg GAE g ⁻¹ PF)	CTF (mg CAT•g ⁻¹ PF)	AA (% inhibición)
SP1VTR	0.66 ± 0.07^a	0.27 ± 0.01^a	7.49 ± 0.90^{ab}
SP2VTR	0.74 ± 0.06^a	0.28 ± 0.01^a	5.70 ± 0.45^{bc}
SP3VAG	0.92 ± 0.05^a	0.26 ± 0.01^a	8.28 ± 1.20^{ab}
SP4VAG	1.12 ± 0.44^a	0.28 ± 0.01^a	3.04 ± 1.10^c
NP5VP	1.20 ± 0.18^a	0.25 ± 0.00^a	11.13 ± 0.95^a

S = Productor Samuel; N = Productor Nery; P1 a P5 = Número de parcela; V = Variedad; CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido Total de Flavonoides; AA = Actividad Antioxidante. Literales distintas en cada columna señala diferencias estadísticas significativas entre medias ($P \leq 0.05$), ($\pm$ eem) error estándar de la media para cada variable.

Para el CTF se pudo observar cierta similitud entre los tratamientos evaluados (Tabla 3), ya que presentan una consistencia para este compuesto, teniendo una máxima concentración en el

tratamiento SP2VTR y SP4VAG, con una media de 0.28 mg CAT•g⁻¹ PF para ambos tratamientos y una mínima concentración de 0.25 mg CAT•g⁻¹ PF en el tratamiento NP5VP, por lo tanto, no se halló diferencias estadísticas significativa entre las unidades de producción.

Para la AA se encontró que el tratamiento NP5VP registró la mayor concentración en la pulpa con una media de 11.13 ± 0.95% de inhibición y una mínima de 3.04 ± 1.10% de inhibición para el tratamiento SP4VAG, conforme al análisis estadístico se apreció que hubo diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (Figura 1).

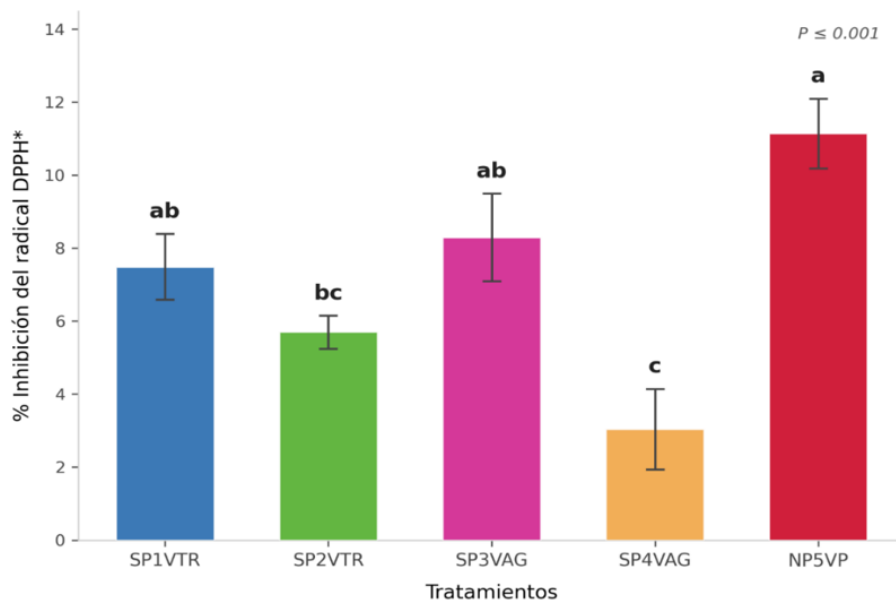


Figura 1. AA, comparación de medias de la inhibición del radical DPPH* en pulpa de melón de tres variedades. Las barras representan la media ± error estándar de la media (n = 10). Los tratamientos que no comparten la misma letra difieren significativamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.01$).

Morfología y calidad de fruto

En relación a los atributos de calidad de fruto, solamente dos registraron diferencias altamente significativas DE y EC ($P \leq 0.01$), y las variables diámetro polar (DP), espesor de pulpa (EP), Resistencia (R), los sólidos solubles (SS) y el peso del fruto (PF) resultaron no significativas.

Respecto a los resultados de los tratamientos evaluados, mostraron diferencias significativas en el diámetro ecuatorial (Figura 2), destacando el tratamiento SP4VAG 15.81 ± 0.38 cm y SP1VTR 15.58 ± 0.41 cm, mientras que NP5VP presentó el valor más bajo 14.05 ± 0.33 cm.

El DP no presentó diferencias significativas entre tratamientos, mostrando similitud entre las mediciones de DP, pero el fruto más grande fue de 16.84 cm en SP3VAG, seguido de SP1VTR con 16.60 cm y por último el de menor longitud fue NP5VP con un promedio de 16.05 cm.

El espesor de pulpa es un compuesto esencial para la calidad de fruto. El tratamiento SP1VTR demostró tener un espesor de pulpa mayor 4.24 ± 2.23 cm en comparación a las demás variedades, aun así, los tratamientos no presentan significancia ya que se observa que hubo una similitud entre las mediciones obtenidas (Tabla 4).

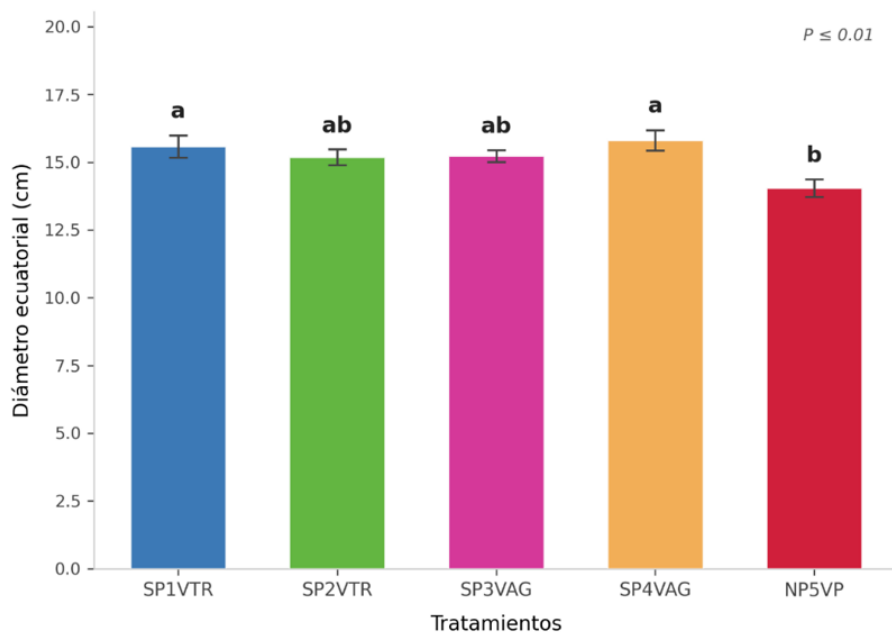


Figura 2. Diámetro ecuatorial de tres variedades de melón. Las barras representan la media $\pm$ error estándar de la media ($n = 10$). Los tratamientos que no comparten la misma letra difieren significativamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.01$).

Tabla 4. Variación de los atributos de calidad del fruto entre tres variedades de melón y de cinco unidades de producción comercial

Tratamientos	DE	DP	EP	Ecás	R	SS	PF
SP1VTR	15.58 $\pm$ 0.41 ^a	16.6 $\pm$ 0.39 ^a	4.24 $\pm$ 2.23 ^a	3.71 $\pm$ 0.39 ^b	0.35 $\pm$ 0.01 ^a	11.14 $\pm$ 0.52 ^a	1860.11 $\pm$ 98.95 ^a
SP2VTR	15.19 $\pm$ 0.29 ^{ab}	16.55 $\pm$ 0.31 ^a	3.59 $\pm$ 3.32 ^a	3.59 $\pm$ 0.34 ^b	0.36 $\pm$ 0.02 ^a	10.54 $\pm$ 0.46 ^a	1882.53 $\pm$ 110.04 ^a
SP3VAG	15.23 $\pm$ 0.22 ^{ab}	16.84 $\pm$ 0.21 ^a	3.95 $\pm$ 1.24 ^a	5.66 $\pm$ 0.50 ^a	0.47 $\pm$ 0.04 ^a	9.64 $\pm$ 0.54 ^a	1785.40 $\pm$ 66.16 ^a
SP4VAG	15.81 $\pm$ 0.38 ^a	16.15 $\pm$ 0.59 ^a	3.83 $\pm$ 2.43 ^a	5.03 $\pm$ 0.46 ^{ab}	0.90 $\pm$ 0.13 ^a	9.83 $\pm$ 0.70 ^a	1856.88 $\pm$ 179.42 ^a
NP5VP	14.05 $\pm$ 0.33 ^b	16.05 $\pm$ 0.24 ^a	3.3 $\pm$ 1.61 ^a	5.60 $\pm$ 0.42 ^a	0.41 $\pm$ 0.02 ^a	9.02 $\pm$ 0.25 ^a	1533.14 $\pm$ 87.90 ^a

S = Productor Samuel; N = Productor Nery; P1 a P4 = Número de parcela; V = Variedad; DE = Diámetro ecuatorial; DP = Diámetro polar; EP = Espesor de pulpa; Ecás = Espesor de cascara; R = Resistencia a la penetración; SS = Sólidos solubles; PF = Peso de fruto. Literales distintas en cada columna señalan diferencias estadísticas significativas entre medias ($P \leq 0.05$), ($\pm$ eem) error estándar de la media para cada variable.

El Ecás si presenta diferencias sumamente marcadas ($P \leq 0.01$) en la comparación de medias de los tratamientos evaluados, el tratamiento con mejor resultado para esta variable fue SP3VAG con 5.66 ± 0.50 mm en comparación al tratamiento SP2VTR con menor espesor de cáscara siendo más vulnerable para la manipulación del fruto de esta variedad (Figura 3).

Aunque los resultados de resistencia no presentaron diferencias significativas, sí hubo diferencia numérica, siendo SP4VAG el tratamiento con mayor valor para la firmeza del fruto con 0.90 N y el tratamiento SP1VTR con 0.35 N con menor R (Tabla 4), obteniendo un 88% de diferencia entre estos tratamientos. Tener una buena firmeza de fruto es primordial para prolongar la vida postcosecha y evitar o reducir pérdidas para el productor y el consumidor.

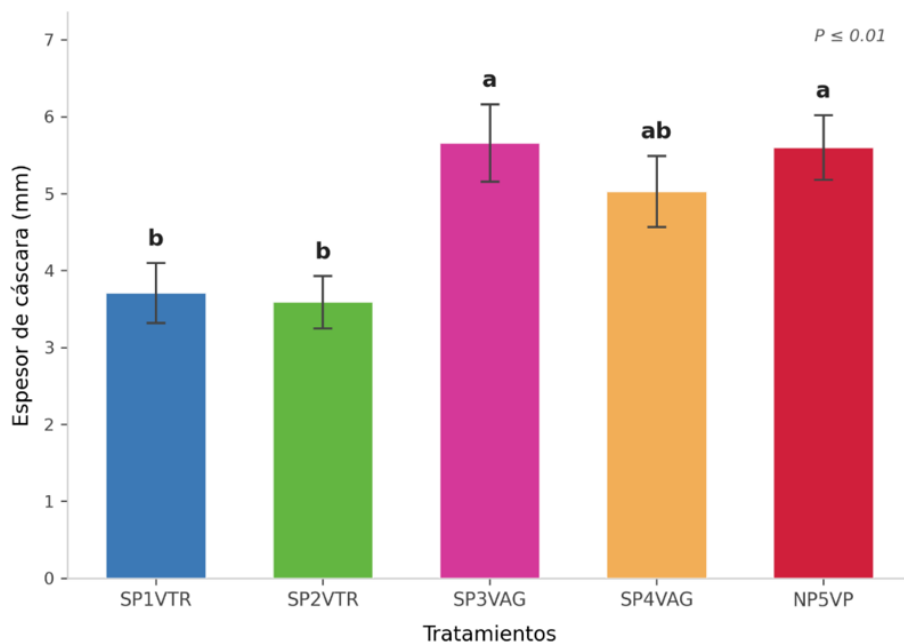


Figura 3. Ecás de tres variedades de melón. Las barras representan la media $\pm$ error estándar de la media ($n = 10$). Los tratamientos que no comparten la misma letra difieren significativamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.01$).

El contenido de SS en la pulpa de melón no presentó diferencias significativas entre las variedades y unidades de producción (Tabla 4), la mayor concentración de SS se encontró en SP1VTR 11.14 °Brix contrario a la concentración de 9.02 °Brix en NP5VP. Los datos recabados en este estudio se encuentran dentro del rango de concentración reportado por otros autores en estudios realizados en la región Lagunera, pero es un hecho que, si se busca frutos con mayor concentración de azúcares, los productores deberían sembrar la variedad T-Rex, ya que registró la mayor concentración de SS ambas unidades de producción. En cuanto al peso de fruto en la Tabla 4 se aprecia que no hay variabilidad, por lo tanto, de acuerdo al análisis estadístico no se presentaron diferencias significativas en esta variable; no obstante, el tratamiento SP2VTR fue superior entre los frutos de las variedades evaluadas, pero ligeramente similar a SP1VTR con un promedio de 1 860.11 g, seguido por el tratamiento SP4VAG con una media de 1 856.88 g y por último el tratamiento NP5VP con 1 533.14 g, en consecuencia la variedad T-Rex provee frutos con un mejor peso en comparación a las otras variedades.

Correlaciones

Se realizaron correlaciones de Spearman para determinar las relaciones entre las variables CTP, CTF, R y las características fisicoquímicas del suelo (Tabla 5), a continuación, se presentan solamente las variables que registraron una relación significativa positiva y negativa. Bajo este tenor se observó que el CTP mantiene una relación moderada con el pH del suelo (**), a diferencia del CTF que presenta una relación fuerte con K (***), mientras que el CO se relaciona moderadamente con CE (**) y las variables negativas con relación significativa son las siguientes: el porcentaje de arena presentó un vínculo moderado con el porcentaje de arcilla (**), para el N existe

una correspondencia moderada con el porcentaje de CO y la CE (**), para las variables restantes no se registraron correlaciones.

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Spearman ($P \leq 0.05$) entre las variables fitoquímicas de la pulpa de melón y las variables químicas del suelo.

Variables fitoquímicas	Características químicas del suelo									
	pH		CE		CIC		MO		K	
CTP (mg GAE 100 g ⁻¹)	0.97	**	0.10	ns	0.44	ns	-0.10	ns	0.30	ns
CTF (mg CAT 1 g ⁻¹)	0.10	ns	0.10	ns	-0.44	ns	-0.50	ns	1.00	***

CTP = contenido total de polifenoles; CTF = contenido total de flavonoides; R = resistencia; CO = carbono orgánico; MO = materia orgánica; pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; N = nitrógeno; P = Fósforo; K = potasio; ns = no significativo; * = ($P \leq 0.05$); ** = ($P \leq 0.01$); *** = ($P \leq 0.001$).

Se aplicaron correlaciones de Pearson, para las variables AA, morfología y calidad de fruto VS las características fisicoquímicas del suelo, de las cuales solo se presentan las relaciones positivas y negativas significativas (Tabla 6). Para el CO se registró una interacción buena con el porcentaje de MO (*), mientras que el porcentaje de arcilla presentó una relación perfecta con el porcentaje de limo (*), el P registró una correlación perfecta con el porcentaje de CO (*) y el porcentaje de MO (*). Las correlaciones negativas significativas se registraron para: SS demostró una conexión perfecta con la CE (*) y pH (*), el porcentaje de arena interactúa perfectamente con el porcentaje de arcilla (***) y el porcentaje de limo (*), el N presentó una interacción perfecta con el porcentaje de CO (*) y la CE (*), el K reflejó un vínculo perfecto con el DE (**) y (PF), cabe mencionar que todas las variables tienen una relación buena y perfecta. Es decir que las variables con relaciones positivas aumentan juntas mientras que las variables con relación negativa dan a entender una relación inversa entre las variables; conforme una aumenta, la otra disminuye.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson ($P \leq 0.05$) entre los elementos fitoquímicos de la pulpa de melón y las variables químicas del suelo.

Calidad y Morfología de fruto	Características químicas de suelo									
	pH		CE		CIC		MO		K	
DE	-0.38	ns	0.05	ns	-0.52	ns	0.12	ns	-0.94	**
PF	-0.55	ns	0.23	ns	-0.40	ns	-0.01	ns	-0.98	**
SS	-0.89	*	-0.15	ns	-0.72	ns	-0.12	ns	-0.69	ns

AA = actividad antioxidante; DE = diámetro ecuatorial; DP = diámetro polar; EP = espesor de pulpa; Ecás = espesor de cáscara; SS = sólidos solubles; PF = peso de fruto; CO = carbono orgánico; MO = materia orgánica; pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; N = nitrógeno; P = Fósforo; K = potasio; ns = no significativo; * = ($P \leq 0.05$); ** = ($P \leq 0.01$); *** = ($P \leq 0.001$).

Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP demuestra que la varianza en el primer componente (CP1) fue de 37.15% mientras que para el segundo componente (CP2) fue de 31.26%, para un total acumulado de 68.41% de la varianza total (Figura 4). En la figura se observó una separación puntual entre tratamientos, el tratamiento NP5VP demostró una diferencia notable y se asoció principalmente a los valores altos de AA, CTP

y K, lo que sugiere que el potasio disponible en el suelo influye positivamente en el contenido de fitoquímicos en esta variedad de melón, mientras que los tratamientos SP1VTR Y SP2VTR se agruparon en el cuadrante derecho y se relacionaron positivamente con las variedades morfológicas y de calidad de fruto (SS, DE, DP, EP y PF). Por su parte, el tratamiento SP4VAG presentó una separación mayor negativa en el eje CP2 agrupándose a la textura arcillosa y a valores altos de resistencia del fruto, por último, el tratamiento SP3VAG se ve asociado a altos contenidos de arena, MO, P y CE disponibles en el suelo.

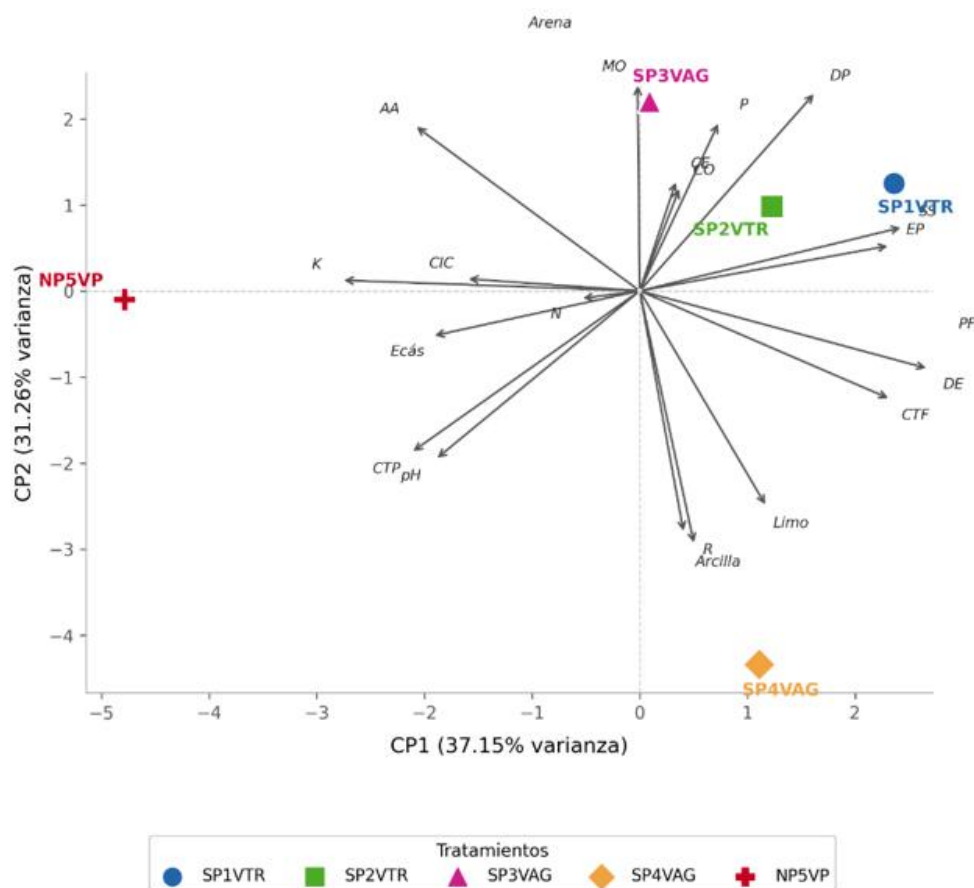


Figura 4. ACP de variables fitoquímicas, morfológicas y fisicoquímicas del suelo en tres variedades de melón producidas en cinco unidades de producción comercial.

DISCUSIÓN

Contenido total de polifenoles (CTP)

En relación a los polifenoles en el cual se obtuvo un rango de 0.66 a 1.20 mg GAE•g⁻¹ PF para los extractos evaluados (Tabla 3), dichos valores son inferiores a lo señalado por Ismail *et al.* (2010) y Ramírez-Aragón *et al.* (2024) presentando contenidos de CTP superiores en pulpa de melón, esto podría atribuirse al método de extracción empleado, a la genética de las variedades evaluadas e inclusive a las condiciones ambientales a las cuales estuvo sometido el fruto durante su desarrollo, afectando drásticamente en los fenoles (Yan *et al.* 2023, Łata *et al.* 2024). Aunque no se presentaron

diferencias significativas para esta variable entre los tratamientos, si fue congruente con lo informado por Armesto *et al.* (2020) quienes no reportaron diferencia significativa en la evaluación de dos variedades de calabazas. Por otra parte, en el análisis de correlación (Tabla 5) se observó que el pH del suelo se asoció positivamente con el CTP ($r = 0.97$, $P \leq 0.01$), esto puede sugerir que las condiciones edáficas del sitio de producción pueden estimular la acumulación de este compuesto. Si bien Chen *et al.* (2008) mencionan que encontraron mayores concentraciones de CTP en pH ácido en frutos de ñame, mientras que en este estudio en pulpa de melón se identificó que el contenido de fenoles mostro una tendencia positiva con pH entre 7.2 y 7.7, en consecuencia, esta relación ayuda a entender la importancia que tiene esta propiedad química del suelo, ya que si se busca mejores concentraciones es importante considerar este factor durante el proceso de producción.

Contenido total de flavonoides (CTF)

El CTF registrado en los cinco tratamientos evaluados presentó valores bajos en comparación con lo reportado en otros estudios de especies de cucurbitáceas. Por ejemplo, Mallek-Ayadi *et al.* (2022) determinaron contenidos de flavonoides de $71.94 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en pulpa de melón Maazoun, por otra parte, Hussain *et al.* (2021) reportan concentraciones de $77.11 \text{ mg CE } 100 \text{ g}^{-1}$ en pulpa de calabaza. Esta discrepancia puede asociarse al método de extracción, el estado de madurez fisiológica del fruto al momento del muestreo, ya que la síntesis de flavonoides en cucurbitáceas tiende a disminuir conforme avanza la maduración fisiológica (Stryjecka *et al.* 2023). Aunque no se detectó disparidad notable entre tratamientos para CTF, el análisis de correlación reveló una asociación perfecta con el K disponible en el suelo ($r = 1.00$, $P \leq 0.01$), lo que apunta que la nutrición es un factor principal para la acumulación de flavonoides en pulpa de melón. Esto refuerza lo presentado por Galván-Cardona *et al.* (2024) y Luna-Fletes *et al.* (2025) quienes señalan que la aplicación de K mediante enmiendas orgánicas y nanopartículas estimula la síntesis de flavonoides en melón, lo que abre un nuevo camino estratégico del manejo nutricional para mejorar el valor del fruto de melón en la región.

Actividad antioxidante (AA)

La AA fue la única variable fitoquímica que presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.01$), destacando NP5VP con la mayor inhibición del radical DPPH ($11.13 \pm 0.95\%$), mientras que SP4VAG registró el valor más bajo ($3.04 \pm 1.10\%$). Los datos presentados son inferiores a los reportados en otras variedades de melón, como lo reportado por Wang *et al.* (2023) con $35.61\text{--}97.3\%$ de FRAP y lo determinado por Valle-Vargas *et al.* (2020) de $869.30 \text{ } \mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$. Sin embargo, no se pueden hacer comparaciones directamente debido a que cada estudio empleó metodologías distintas FRAP, ABTS y TEAC mientras que en este estudio se utilizó el método del radical DPPH. La mayor AA registrada en NP5VP coincide con su mayor contenido de CTP, lo que es consistente con la relación ampliamente documentada entre el CTF y la AA en frutos de cucurbitáceas (Ismail *et al.* 2010, Ramírez-Aragón *et al.* 2024). Adicionalmente, el análisis de componentes principales ubicó al tratamiento NP5VP en una dirección notoriamente diferente del resto de los tratamientos, asociado simultáneamente a los mayores valores de AA, CTP y K disponible en el suelo, lo que permite entender que las condiciones particulares del suelo de la unidad de producción favorecen la acumulación de compuestos con capacidad antioxidante.

Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)

El DE de 15.81 cm, y el DP de 16.84 cm registrados en el presente estudio (Tabla 4) fueron superiores a lo reportado por Adamczewska-Sowińska (2024) en un estudio bajo condiciones climáticas templadas, por otra parte, Monge-Pérez y Loria-Cotto (2020) reportan resultados de 10.1 cm para DE y 11.1 cm para DP, estas diferencias pueden deberse a las características agroclimáticas, debido a que las temperaturas altas favorecen a variedades que son adaptables a condiciones áridas y semiáridas como las presentes en la Comarca Lagunera. Contrastando con Moreno-Reséndez *et al.* (2023), quienes trabajaron en la misma región, obtuvieron valores ligeramente superiores de DE mediante el uso combinado de acolchado y vermicompost, lo que puede sugerir que estrategias de manejo agronómico como la mejora en la estructura del suelo y el aporte de MO puede ayudar a potenciar la morfología del fruto bajo estas condiciones climáticas. Además, se observó que existe una conexión negativa entre el macronutriente K en el suelo y el diámetro ecuatorial ($r = -0.94$, $P \leq 0.01$), este hallazgo contradice con lo presentado por Lester *et al.* (2005) aludiendo que la aplicación de potasio al suelo mejora el tamaño y los atributos del fruto de melón, sin embargo, la relación inversa podría explicarse por una competencia iónica que genera el exceso de K, como lo que se encuentra registrado por el tratamiento NP5VP con un valor de (1.85 meq/100 g suelo), explicando que existe un umbral óptimo para el manejo de la fertilización potásica.

Espesor de cáscara (Ecás)

El Ecás presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.01$), con valores mayores en SP3VAG (5.66 mm) y NP5VP (5.60 mm) respecto a SP1VTR y SP2VTR, lo que representa una ventaja tecnológica para la comercialización a distancia, dado que un mayor grosor de cáscara reduce la susceptibilidad a daños mecánicos durante el transporte y prolonga la vida de anaquel (Hiwale y Chavan 2025). Los valores obtenidos superaron a los descritos por Moreno-Reséndez *et al.* (2014) en fruto de melón producidos a cielo abierto en la misma región, esta diferencia podría atribuirse a las características de las variedades Alaniz Gold y Pitayo, cuya genética favorece el desarrollo del pericarpio en comparación a las variedades evaluadas anteriormente en dicha región. La correlación negativa significativa entre Ecás y SS ($r = -0.91$, $P \leq 0.05$) (Tabla 6) indica que un mayor desarrollo de la cáscara puede competir con la pulpa por los fotoasimilados disponibles para el llenado del fruto, limitando la acumulación de azúcares solubles en la pulpa (Lester *et al.* 2001, Burger *et al.* 2006). Este resultado sugiere que existe una compensación morfológica entre la calidad organoléptica representada por los SS y la vida de anaquel representada por el Ecás, lo que implica una práctica para selección de variedades de acuerdo al destino comercial del fruto; variedades con mayor Ecás como Alaniz Gold y Pitayo serían más adecuadas para mercados lejanos, mientras que T-Rex, con menor Ecás pero mayor SS, sería preferible para consumo local o en fresco.

Espesor de Pulpa (EP)

Los tratamientos no difirieron estadísticamente respecto a esta variable, aunque el valor registrado en el tratamiento SP1VTR, de 4.24 cm, fue inferior a lo reportado por González-Salas *et al.* (2021) bajo esquemas de nutrición orgánica e inorgánica con biofertilizantes, lo que sugiere que el manejo nutricional del suelo, particularmente la incorporación de biofertilizantes puede favorecer el desarrollo de la pulpa de melón. Por otra parte, el valor obtenido superó a lo informado por

Sánchez-Hernández *et al.* (2016) obteniendo valores de 3.14 cm con aplicación de vermicompost, quedando claro que las condiciones edafológicas y climáticas de la Comarca Lagunera, aunando las variedades comerciales evaluadas de fruto de melón, afectan positivamente a esta variable. Sin embargo, la discrepancia observada en lo presentado por García-Mendoza *et al.* (2019), quienes reportaron un espesor de epicarpio de 0.88 cm en híbridos comerciales, reforzando que los híbridos tienden a presentar ventajas en la calidad de fruto postcosecha, aunque también las condiciones ambientales y el manejo agronómico regulan considerablemente esta variable, volviéndola independiente del material genético utilizado.

Resistencia (R)

La R no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con valores inferiores a 5 N en todos éstos, lo que puede indicar que el estado fisiológico de madurez del fruto al momento de la cosecha era avanzado, dado a que la firmeza disminuye gradualmente conforme la maduración avanza, esto se atribuye a la degradación enzimática de la pared celular y la solubilización de pectinas (Hatami *et al.* 2019). Los valores obtenidos fueron considerablemente menores a los 24.5 N reportados por Rivera-Gutiérrez *et al.* (2021) en melón producido en la misma región, diferencia que puede explicarse por la madurez al momento de la cosecha, ya que frutos en madurez comercial presentan valores de firmeza significativamente menores que frutos en estados tempranos de desarrollo (Valero y Serrano 2010). Desde una perspectiva edáfica, el tratamiento SP4VAG registró el mayor valor de R entre los tratamientos evaluados, lo que coincide con su suelo de textura arcillosa que favorece una mayor retención de humedad y un desarrollo más lento del fruto, condiciones que pueden retrasar los procesos de ablandamiento y prolongar la vida postcosecha, tal como lo documenta Moreno-Reséndez *et al.* (2014) para melón producido a cielo abierto en la Comarca Lagunera.

Sólidos Solubles (SS)

El contenido de SS en todos los tratamientos evaluados superó el umbral mínimo de 8.5 °Brix establecido por Tapia *et al.* (1998) lo cual se considera aceptable para consumo fresco del melón, lo que confirma la viabilidad comercial de las tres variedades bajo las condiciones de producción de la Comarca Lagunera. El tratamiento SP1VTR registró el valor más alto, 11.14 °Brix, comparable al rango de 8.93–11.90 °Brix reportado por Fortis-Hernández *et al.* (2022), por lo contrario el tratamiento NP5VP presentó una menor concentración (9.02 °Brix), superando en un 16% al valor de 7.77 °Brix determinado por Ortega *et al.* (2024) en frutos de melón cultivados en invernadero, diferencia que puede atribuirse a que las condiciones de campo en zonas árida con alta radiación solar, favorecen una acumulación alta de azúcares en la pulpa a diferencia de ambientes controlados (Fortis-Hernández *et al.* 2022). La correlación negativa significativa entre SS y Ecás ($r = -0.91$, $p \leq 0.05$) indica que los frutos con más desarrollo de cáscara presentaron menor contenido de azúcares en la pulpa, lo que es consistente con la hipótesis de competencia por fotoasimilados entre los tejidos del pericarpio y la pulpa durante el llenado del fruto (Lester *et al.* 2001, Burger *et al.* 2006), sugiriendo que la selección de variedades con menor Ecás podría favorecer la acumulación de SS y mejorar la calidad organoléptica del fruto. Este patrón fue coherente con lo observado en el ACP, debido a que, los tratamientos SP1VTR y SP2VTR se asociaron con los mayores valores de SS, DE y PF en el cuadrante positivo del CP1, mientras que los tratamientos SP3VAG y NP5VP, con

mayor Ecás, se separaron hacia el cuadrante opuesto, confirmando que la relación inversa entre SS y Ecás es un patrón multivariado consistente entre las unidades de producción evaluadas (Figura 4).

Peso de fruto (PF)

El PF no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilaron entre 1533.14 g en NP5VP y 1882.53 g en SP2VTR, lo que puede atribuirse a la alta variabilidad genética intrínseca de las variedades comerciales de melón evaluadas, cuya expresión fenotípica en peso tiende a ser similar bajo condiciones de manejo homogéneo (Hiwale y Chavan 2025). Los valores obtenidos superaron al PF de 1629.46 g, reportado por Abraham-Juárez *et al.* (2018) en frutos de melón producidos en invernadero en la ciudad de Irapuato mediante cepas de *Bacillus subtilis* mexicanas, esta diferencia se puede explicar por las condiciones de campo abierto en la Comarca Lagunera, ya que, la mayor disponibilidad de radiación solar y el volumen de exploración radical favorecen un mayor desarrollo del fruto, en comparación con sistemas de producción bajo invernadero. Un hallazgo relevante fue la relación negativa significativa entre el K disponible en el suelo y el PF ($r = -0.98$, $P \leq 0.01$), siendo la reciprocidad más alta registrada entre variables edáficas y morfológicas en este estudio, lo que refuerza el argumento planteado en la discusión de DE respecto a que el exceso de K disponible, como el registrado en el tratamiento NP5VP ($1.85 \text{ cmol kg}^{-1}$), genera competencia iónica con Ca y Mg limitando la expansión celular y el llenado del fruto (Cakmak 2005, Lester *et al.* 2005), resultado que en conjunto sugiere que el manejo de la fertilización potásica es un factor crítico para optimizar simultáneamente el tamaño y peso del fruto de melón en la región.

Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP permitió integrar de manera simultánea las variables fitoquímicas, morfológicas y fisicoquímicas del suelo evaluadas en este estudio, ofreciendo una perspectiva multivariada que complementa y enriquece los análisis univariados presentados anteriormente (Figura 4). El CP1, que explicó el 37.15% de la varianza total, diferenció principalmente al tratamiento NP5VP del resto de los tratamientos, asociado a los mayores valores de AA, CTP y K disponible en el suelo, confirmando que las condiciones edáficas particulares de esta unidad de producción, especialmente en su alto contenido de K configuran un perfil fitoquímico distintivo que favorece la acumulación de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. El CP2, explicó el 31.26% de la varianza, separó al tratamiento SP4VAG hacia el cuadrante inferior, asociado a las variables de textura arcillosa y mayor resistencia del fruto, coherente con que esta parcela presentó el único suelo de textura arcillosa entre las unidades de producción evaluadas, lo que influyó directamente en las propiedades mecánicas del fruto. En contraste, los tratamientos SP1VTR y SP2VTR se agruparon en el cuadrante positivo del CP1, asociados a las variables morfológicas de calidad como DE, DP, SS y PF, evidenciando que las variedades T-Rex expresan un perfil de calidad comercial superior en términos de tamaño y contenido de azúcares bajo las condiciones edafoclimáticas evaluadas. El tratamiento SP3VAG se ubicó en una posición intermedia asociada a los más altos contenidos de MO, P y CE en el suelo, sugiriendo que esta parcela presenta las condiciones edáficas más favorables para el desarrollo de la fertilidad del suelo, aunque dicha ventaja no se tradujo en diferencias significativas en las variables fitoquímicas evaluadas. En conjunto, el ACP confirma que

la variabilidad observada entre las unidades de producción no responde exclusivamente a factores varietales sino a la interacción entre la genética de cada variedad y las propiedades fisicoquímicas del suelo de cada parcela, subrayando que el suelo debe considerarse como un componente activo e integral en los estudios de calidad fitoquímica y morfológica de melón bajo condiciones de producción comercial (Legendre y Legendre 2012).

CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas del suelo, particularmente el K disponible y el pH, influyeron significativamente sobre la acumulación de compuestos bioactivos y las cualidades morfológicas del fruto de melón en las unidades de producción evaluadas. La variedad Pitayo (NP5VP) destacó por su mayor AA y CTP, mientras que la variedad T-Rex, de los tratamientos SP1VTR y SP2VTR, presentaron ventajas en calidad morfológica con mayores valores de DE, DP, SS y PF. Por su parte, Alaniz Gold mostró mayor Ecás favorable para su comercialización a distancia. La correlación negativa entre el K disponible y el tamaño del fruto (DE, $r = -0.94$; PF, $r = -0.98$) evidencia que existe un umbral óptimo de K en el suelo más allá del cual su efecto sobre el desarrollo morfológico se vuelve limitante. El ACP confirmó que la variabilidad entre parcelas responde a la interacción suelo-variedad, subrayando la importancia de caracterizar las propiedades edáficas como parte integral de los estudios de calidad de fruto en condiciones de producción comercial en la Laguna.

AGRADECIMIENTOS

El artículo se derivó del proyecto: Caracterización fitoquímica de frutos regionales, vinculada con características edafológicas de cada unidad de producción comercial, con clave: 38-111-425601002-2982, financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna. Los autores agradecen a los productores que proporcionaron el material vegetal para realizar este estudio. La autora principal agradece a la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca proporcionada para estudios de doctorado, de igual forma agradece al Dr. Efraín de la Cruz Lázaro y al Dr. Cayetano Navarrete por el apoyo y asesoría en los análisis estadísticos.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaramos que no tenemos ningún conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

Abraham-Juárez MR, Espitia-Vázquez I, Guzmán-Mendoza R, Olalde-Portugal V, Ruiz-Aguilar GML, García-Hernández JL, Herrera-Isidró L, Núñez-Palénus HG (2018) Desarrollo, rendimiento y

- calidad del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) de plantas inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* (Ehrenberg). Agrociencia 52: 91-102.
- Adamczewska-Sowińska K (2024) The use of soil surface mulching on melon (*Cucumis melo* L.) production under temperate climate conditions. Agriculture 14(8): 1398. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081398>
- Alqethami A, Aldhebiani AY (2021) Medicinal plants used in Jeddah, Saudi Arabia: phytochemical screening. Saudi Journal of Biological Sciences 28(1): 805-812. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.013>
- Armesto J, Rocchetti G, Senizza B, Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Lucini L, Lorenzo JM (2020) Nutritional characterization of Butternut squash (*Cucurbita moschata* D.) Effect of variety (Ariel vs. Pluto) and farming type (conventional vs. organic). Food Research International 132: 109052. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109052>
- Bacca-Narvaez AJ, Vásquez-García A, Rodríguez Í, España-Muñoz J (2024) El potencial de los compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras en la industria alimentaria: Una revisión. Revista de Ciencias 27(2): e20214046. <https://doi.org/10.25100/rc.v27i2.14046>
- Burger Y, Sa'ar U, Paris HS, Lewinsohn E, Katzir N, Tadmor Y, Schaffer AA (2006) Genetic variability for valuable fruit quality traits in *Cucumis melo*. Israel Journal of Plant Sciences 54(3): 233-242. https://doi.org/10.1560/IJPS_54_3_233
- Cakmak I (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168(4): 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- Chen YT, Kao WT, Lin KW (2008) Effects of pH on the total phenolic compound, antioxidative ability and the stability of dioscorin of various yam cultivars. Food Chemistry 107(1): 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.017>
- Chóez-Baque JD, Quimí-Tomalá GM, Amaya-Oñate EA, Villón-Fernández AM (2025) Producción de melón Edisto irrigado con agua de alta salinidad, utilizando diferentes niveles de fósforo. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS 7(4): 467-479. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v7i4.1606>
- Fortis-Hernández M, Ortiz-López J, Preciado-Rangel P, Trejo-Valencia R, Lagunes-Fortis E, Andrade-Sifuentes A, Rueda-Puente EO (2022) Biofortification with copper nanoparticles (Nps Cu) and its effect on the physical and nutraceutical quality of hydroponic melon fruits. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 50(1): 12568. <https://doi.org/10.15835/nbha50112568>
- Galván-Cardona ZM, Preciado-Rangel P, Guillén-Enríquez RR, Espinosa-Palomeque B, Sariñana-Navarrete MA, Buendía-García A (2024) Influence of potassium nanoparticles on yield and bioactive compounds in melon fruit. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. IV: e4280. <https://doi.org/10.19136/era.a11niv.4280>
- García-Mendoza V, Cano-Ríos P, Reyes-Carrillo JL (2019) Los híbridos de melón tipo Harper tienen mayor calidad y una vida postcosecha más larga que los híbridos comerciales. Revista Chapingo, Serie horticultura 25(3): 185-197. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.05.008>
- González-Salas U, Gallegos-Robles MÁ, Preciado-Rangel P, García-Carrillo M, Rodríguez-Hernández MG, García-Hernández JL y Guzmán-Silos TL (2021) Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. Terra Latinoamericana 39: e904. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.904>
- Gulcin I (2020) Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. Archives of Toxicology 94: 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Hatami M, Kalantari S, Soltani F y Beaulieu JC (2019) Storability, quality changes, and general postharvest behavior of dudaim melon harvested at two maturity stages. HortTechnology 29(3): 241-250. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04057-18>

- Hiwale VM, Chavan AM (2025) Evaluation of fruit quality traits in muskmelon (*Cucumis melo* L.) for commercial prospects. International Journal of Scientific Research in Science and Technology 12(6): 394-403. <https://doi.org/10.32628/IJSRST25126355>
- Hussain A, Kausar T, Din A, Murtaza MA, Jamil MA, Noreen S, Rehman HU, Shabbir h, Ramzan MA (2021) Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid, and mineral contents in peel, flesh, and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). Journal of Food Processing and Preservation 45(6): e15542. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>
- Ignat I, Volf I, Popa VI (2011) A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. Food chemistry 126(4): 1821-1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>
- Ismail HI, Chan KW, Mariod AA, Ismail M (2010) Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. Food chemistry 119(2): 643-647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.023>
- Jing Y, Yang J, Xu D, Chen Q, Xin K, Chen X, Tang J, Chen J, Ma Z (2025) Recent Insights into the Molecular Mechanisms of Salt Tolerance in Melon (*Cucumis melo* L.). Plants 14(23): 3598. <https://doi.org/10.3390/plants14233598>
- Kerje T, Grum M (2000) The origin of melon, *Cucumis melo*: A review of literature. Acta Horticulturae 510: 37-44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.510.5>
- Łata B, Latocha P, Łaźny R, Gutfeld A (2024) Comparison in antioxidant potential and concentrations of selected bioactive ingredients in fruits of lesser-known species. Foods 13(18): 2926. <https://doi.org/10.3390/foods13182926>
- Legendre P, Legendre L (2012) Numerical Ecology. 3rd ed. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands. 1006p.
- Lester GE, Arias LS, Gómez-Lim M (2001) Muskmelon fruit soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase activity and polypeptide profiles during growth and maturation. Journal of the American Society for Horticultural Science 126(1): 33-36. <https://doi.org/10.21273/JASHS.126.1.33>
- Lester GE, Jifon JL, Rogers G (2005) Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and beta-carotene contents. Journal of the American Society for Horticultural Science 130(4): 649-653. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.4.649>
- Luna-Fletes JA, Mancilla-Villa OR, Cruz-Crespo E, Can-Chulím Á, Martínez-Rodríguez OG, Guevara-Gutiérrez RD (2025) Enmiendas orgánicas en las características edáficas y el rendimiento de melón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 16(5). <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i5.3773>
- Mallek-Ayadi S, Bahloul N, Baklouti S, Kechaou N (2022) Bioactive compounds from *Cucumis melo* L. fruits as potential nutraceutical food ingredients and juice processing using membrane technology. Food Science & Nutrition 10(9): 2922-2934. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2888>
- Martuscelli M, Di Mattia C, Stagnari F, Specia S, Pisante M, Mastrocola D (2016) Influence of phosphorus management on melon (*Cucumis melo* L.) fruit quality. Journal of the Science of Food and Agriculture 96(8): 2715-2722. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7390>
- Monge-Pérez JE, Loría-Coto M (2020) Parámetros de selección para el rendimiento en melón (*Cucumis melo*) cultivado bajo invernadero. Cuadernos de Investigación UNED 12(2): 515-526. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v12i2.2935>
- Moreno-Reséndez A, García-Gutiérrez L, Cano-Ríos P, Martínez-Cueto V, Márquez-Hernández C, Rodríguez-Dimas N (2014) Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 1(2): 163-173.
- Moreno-Reséndez A, Reyes-Carrillo JL, López-Salazar R, Leos-Escobedo L, Espinoza-Banda A (2023) Rendimiento del melón (*Cucumis melo* L.) con acolchado plástico: aplicando vermicompost como

- fuelle nutritiva. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(1): e3339. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3339>
- Narayanan L, S Manisha D, Athira KV, Sathianarayanan S, Venkidasamy B, Thiruvengadam R, Thiruvengadam M, Rebezov M, Sadanandan P, Shariati MA (2024) Nutritional and therapeutic potential of bioactive compounds from melons: a mini review. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences 14(3): e11877. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11877>
- Nossa-González DL, Talero-Pérez Y V, Roza-Núñez WE (2016) Determinación del contenido de polifenoles y actividad antioxidante de los extractos polares de comfrey (*Symphytum officinale* L). Revista Cubana de Plantas Medicinales 21(2): 125-132.
- Oroian M, Escriche I (2015) Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. Food Research International 74: 10-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>
- Ortega J, Flores-Ramírez H, Ayón-Villao F, Lagos-Pazmiño J, Merchán-García W, Burgos-López G (2024) Optimización del número de frutos en tres híbridos de melón (*Cucumis melo* L.) en invernadero. Journal of the Selva Andina Biosphere 12(1): 4-12. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2024.120100004>.
- Ramírez-Aragón MG, Borroel-García VJ, López-Martínez JD, Nieto-Garibay A, García-Hernández JL (2024) Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3953. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3953>
- Rivera-Gutiérrez RG, Preciado-Rangel P, Fortis-Hernández M, Betancourt-Galindo R, Yescas-Coronado P, Orozco-Vidal JA (2021) Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 12(5): 791-803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Šamec D, Karalija E, Šola I, Vujčić Bok V y Salopek-Sondi B (2021) The role of polyphenols in abiotic stress response: the influence of molecular structure. Plants 10(1): 118. <https://doi.org/10.3390/plants10010118>
- Sánchez-Hernández DJ, Fortis-Hernández M, Esparza Rivera JR, Rodríguez-Ortiz JC, De la Cruz-Lázaro E, Sanchez-Chavez E, Preciado-Rangel P (2016) Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutraceutica. Interciencia 41(3): 213-217.
- SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, Distrito Federal. 85p.
- SIAP (2025) Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/. Fecha de consulta: 3 de noviembre 2025.
- Singh JP, Kaur A, Shevkani K, Singh N (2016a) Composition, bioactive compounds and antioxidant activity of common Indian fruits and vegetables. Journal of Food Science and Technology 53: 4056-4066. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2412-8>
- Singh J, Singh V, Shukla S, Rai AK (2016b) Phenolic content and antioxidant capacity of selected cucurbit fruits extracted with different solvents. Journal of Nutrition Food Sciences 6: 565. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000565>
- Stryjecka M, Krochmal-Marczak B, Cebulak T, Kiełtyka-Dadasiewicz A (2023) Assessment of phenolic acid content and antioxidant properties of the pulp of five pumpkin species cultivated in Southeastern Poland. International Journal of Molecular Sciences 24(10): 8621. <https://doi.org/10.3390/ijms24108621>
- Tang S, Wei K, Huang H, Li X, Min Y, Tai J, Xu Y, Chen L, Yan S, Xiong Q, Li X (2024) Effect of soil factors on flavonoid metabolites in *Striga asiatica* using LC-MS based on untargeted metabolomics. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 11(1): 89. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00614-9>

- Tapia M, López X, Galletti L, Berger H (1998) Melón (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.) cv. máxima puntuación. *Agricultura Técnica* 58(2): 93-102.
- Valero D, Serrano M (2010) *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press. Boca Raton London New York. 288p.
- Valle-Vargas MF, Durán-Barón R, Quintero-Gamero G, Valera R (2020) Caracterización fisicoquímica, químico proximal, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de pulpa y corteza de sandía (*Citrullus lanatus*). *Información Tecnológica* 31: 21-28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100021>.
- Vishwakarma VK, Gupta JK, Upadhyay PK (2017) Pharmacological importance of *Cucumis melo* L.: An overview. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 10(3): 8-12. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i3.13849>
- Wang Y, Gao H, Guo Z, Peng Z, Li S, Zhu Z, Grimi N, Xiao J (2023) Free and bound phenolic profiles and antioxidant activities in melon (*Cucumis melo* L.) pulp: Comparative study on six widely consumed varieties planted in Hainan Province. *Foods* 12(24): 4446. <https://doi.org/10.3390/foods12244446>
- Xu L y Wang X (2025) A Comprehensive review of phenolic compounds in horticultural plants. *International Journal of Molecular Sciences* 26(12): 5767. <https://doi.org/10.3390/ijms26125767>
- Yan Y, Pico J, Sun B, Pratap-Singh A, Gerbrandt E, Diego-Castellari S (2023) Phenolic profiles and their responses to pre- and post-harvest factors in small fruits: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 63(19): 3574-3601. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1990849>
- Zhang Y, Huang J, Jia J, Jiang J, Ma X, Zhao L, Jing Y (2025) Advances in understanding the functions and regulatory factors of secondary metabolites in *Reynoutria japonica*. *Plant Signaling & Behavior* 20(1): 2564957. <https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2564957>
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry* 64(4): 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)