



POSGRADOS

Maestría en

Biología Molecular

RPC-SO-26-NO.430-2023

Opción de Titulación:

Artículos profesionales de alto nivel

Tema:

ESTUDIO DEL PERFIL METABÓLICO DE
TOMATE CHERRY DE COLORES
CULTIVADOS EN ECUADOR

Autor(es)

MARIA BELEN APOLO RENJIFO

Director:

ELENA COYAGO CRUZ

QUITO - Ecuador

2025



Autor(es):

María Belén Apolo Renjifo
Licenciada en Laboratorio Clínico
Candidata a Magíster en Biotecnología Molecular por la
Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.
mapolor@est.ups.edu.ec

Dirigido por:

Elena Del Rocío Coyago Cruz
Ingeniera Química
Magister en Ingeniería Industrial y Productividad
Doctora en Ingeniería Agraria, Alimentaria Forestal y del Desarrollo
Rural Sostenible
ecoyagoc@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
2025 © Universidad Politécnica Salesiana.
QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA
María Belén Apolo Renjifo
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR

DEDICATORIA

Mi más sincero agradecimiento a mi novio Eduardo Lucas, por enseñarme que los sueños se construyen con amor, esfuerzo y paciencia, al impulsarme cuando dudé, escucharme cuando lo necesité y celebró cada pequeño avance conmigo. A mi hermano Daniel Apolo que fue un pilar importante para que yo pueda completar esta maestría, sin su ayuda, guía y consejos no lo hubiese logrado.

AGRADECIMIENTO

A mi Padre Edwin Apolo y mi Madre Erika Renjifo por ser mi base y mi refugio. Gracias por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, por cada palabra de ánimo y por estar siempre, en los buenos y malos momentos.

A mi tutora Elena del Rocío Coyago, por su tiempo, su guía y por enseñarme que la investigación también puede hacerse con paciencia y humanidad.

Tabla de Contenido

Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción	1
2. Determinación del problema	3
3. Marco teórico referencial.....	5
3.1 <i>Solanum lycopersicum</i>	5
3.1.1 Historia de <i>Solanum lycopersicum</i> var. ceraciforme	7
3.1.2 Variedades de <i>Solanum lycopersicum</i>	8
3.2 Metabolómica.....	9
3.3 Carotenoides en el tomate.....	10
3.4 Compuestos fenólicos del tomate.....	11
3.5 Actividad antioxidante.....	12
4. Materiales y metodología.....	15
4.1 Muestreo	15
4.2 Características fisicoquímicas.....	16
4.3Compuestos bioactivos	17
4.3.1Cuantificación de carotenoides totales.....	17
4.3.2Cuantificación de fenoles totales.....	18
4.4Actividad antioxidante por DPPH.....	20
4.5Actividad antimicrobiana.....	20
4.6Análisis estadístico	21
5. Resultados y discusión.....	22
5.1. Análisis fisicoquímicos	22
5.1.1 Tamaño.....	23
5.1.2 PH	24
5.1.3 SS (Brix)	25
5.1.4 Acidez titulable	27
5.1.5 Humedad.....	28
5.1.6 Cenizas	29
5.2. Cuantificación de carotenoides totales	29
5.3. Cuantificación de fenoles totales	30
5.4. Determinación de actividad antioxidante.....	31

5.5. Determinación de actividad antimicrobiana	33
6. Conclusiones.....	34
7. Referencias	35

Índice de tablas

Tabla 1.	Listado de frutos seleccionado para el estudio.....	15
Tabla 2.	Presencia o ausencia de inhibición frente a <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphilococcus aureus</i>	33

Índice de figuras

Figura 1. Imagen del <i>Solanum lycopersicum</i>	6
Figura 2. Etapas de desarrollo fenológico del tomate	5
Figura 3. Grados de madurez del tomate	7
Figura 4. Valores promedio del peso de los tomates cherry en estudio.	22
Figura 5. Valores promedio del diámetro ecuatorial (A) y diámetro longitudinal (B) de los tomates cherry en estudio.	23
Figura 6. Valores promedio del pH de los tomates cherry en estudio.	24
Figura 7. Valores promedio del contenido de sólidos solubles de los tomates cherry en estudio.....	26
Figura 8. Valores promedio del contenido de acidez titulable total de los tomates cherry en estudio.....	27
Figura 9. Valores promedio de la humedad total de los tomates cherry en estudio. 28	
Figura 10. Valores promedio de las cenizas de los tomates cherry en estudio.	29
Figura 11. Valores promedio de la concentración de carotenoides totales de los tomates cherry en estudio.	30
Figura 12. Valores promedio de la concentración de fenoles totales de los tomates cherry en estudio.....	31
Figura 13. Valores promedio de la actividad antioxidante de los tomates cherry en estudio.....	32

Índice de ecuaciones

Ecuación 1	.....	16
Ecuación 2	.....	17
Ecuación 3	.....	17
Ecuación 4	.....	18
Ecuación 5	.....	19
Ecuación 6	.....	20

ESTUDIO DEL PERFIL METABÓLICO DE TOMATE CHERRY DE COLORES CULTIVADOS EN ECUADOR

Autora:

MARÍA BELÉN APOLO RENJIFO

Resumen

En el presente estudio se caracterizó el perfil metabólico de siete variedades de tomate cherry diferenciadas por color (amarillo, verde, rojo redondo, rojo ovalado, Bielsa, negro y negro rojo) cultivadas en Ecuador. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas (peso, diámetro ecuatorial y longitudinal, sólidos solubles, pH, acidez titulable, humedad y cenizas), el contenido de carotenoides totales, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante por espectrofotometría, además de la actividad antimicrobiana por difusión en pozo de agar. Los resultados evidenciaron una amplia variabilidad entre las muestras analizadas. En cuanto a las características físicas, Bielsa presentó los mayores valores de peso (71,11 g) y diámetro ecuatorial (64,77 mm) y la variedad negro rojo un diámetro longitudinal (55,28 mm). Respecto a los parámetros químicos, los sólidos solubles oscilaron entre 5,40 °Brix (Negro y Verde) y 7,33 °Brix (Amarillo), el pH entre 3,33 (Verde) y 4,33 (Negro Rojo), la acidez titulable entre 0,25 % (Bielsa) y 0,90 % (Verde), la humedad entre 77,55 % (Negro Rojo) y 93,80 % (Amarillo) y ceniza entre 0,53 % (Rojo Redondo) a 3,56 % (Negro Rojo). En cuanto a los compuestos bioactivos, la variedad Negro Rojo destacó significativamente con la mayor concentración de carotenoides totales y de compuestos fenólicos totales (520,04 mg EAG/100 g PS), superando a las demás variedades. La actividad antioxidante, medida por el método DPPH, presentó los mayores valores en Negro Rojo (92,90 % de inhibición). En términos de actividad antimicrobiana, el tomate cherry Verde fue la única variedad que mostró inhibición frente a *Escherichia coli*. Finalmente, se concluyó que las variedades de tomate cherry de colores oscuros, en especial Negro Rojo, poseen un perfil metabólico más favorable debido al elevado contenido de compuestos fenólicos y carotenoides, lo que se traduce en una mayor capacidad antioxidante. Estas variedades representan una alternativa prometedora como fuente natural de antioxidantes para aplicaciones alimentarias y nutraceuticas.

Palabras clave:

Metabolómica, compuestos bioactivos, alimentos funcionales, actividad antibacteriana.

Abstract

In the present study, the metabolic profile of seven cherry tomato varieties differentiated by color (yellow, green, round red, oval red, Bielsa, black and red black) grown in Ecuador was characterized. Physicochemical properties (weight, equatorial and longitudinal diameter, soluble solids, pH, titratable acidity, moisture, and ash) were evaluated, as well as the content of total carotenoids, total phenolic compounds and antioxidant activity by spectrophotometry and antimicrobial activity by agar well diffusion. The results showed a wide variability among the varieties analyzed. In terms of physical characteristics, Bielsa presented the highest values for weight (71.11 g) and equatorial diameter (64.77 mm) and red-black longitudinal diameter (55.28 mm). Regarding chemical parameters, soluble solids ranged between 5.40 °Brix (Black and Green) and 7.33 °Brix (Yellow), pH between 3.33 (Green) and 4.33 (Black Red), titratable acidity between 0.25 % (Bielsa) and 0.90 % (Green), moisture between 77.55 % (Black Red) and 93.80 % (Yellow) and ash between 0.53 % (Red Round) to 3.56 % (Black Red). In terms of bioactive compounds, the Negro Rojo variety stood out significantly with the highest concentration of total carotenoids and total phenolic compounds (520.04 mg EAG/100 g), surpassing the other varieties. Antioxidant activity, measured by the DPPH method, presented the highest values in Negro Rojo (92.90 % inhibition). In terms of antimicrobial activity, Green cherry tomato was the only variety that showed inhibition against *Escherichia coli*. Finally, it is concluded that dark-colored cherry tomato varieties, especially Negro Rojo, have a more favorable metabolic profile due to their high content of phenolic compounds and carotenoids, which translates into a higher antioxidant capacity. These varieties represent a promising alternative as a natural source of antioxidants for food and nutraceutical applications.

Key words:

Metabolomics, bioactive compounds, functional foods, antibacterial activity.

1. Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se ha consolidado como uno de los cultivos hortícolas más relevantes a nivel mundial, no solo por la alta demanda y valor económico, sino también por el valor nutricional y versatilidad en la alimentación humana (Allende, 2018). Dentro de las variedades existentes, los tomates cherry destacan por la diversidad de colores y sabores, siendo particularmente valorados aquellos de tonalidades oscuras por el potencial nutracéutico. Estos frutos contienen altos niveles de compuestos bioactivos como flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos y carotenoides, así como nutrientes esenciales como azúcares, aceites esenciales, vitaminas y minerales (Guzmán et al., 2021; Raza et al., 2022).

La creciente atención hacia los tomates de color oscuro se debe a la presencia de antocianinas, polifenoles que pertenecen al grupo de los flavonoides, conocidos por la capacidad para prevenir enfermedades degenerativas y participar en procesos terapéuticos. Además, el contenido de polifenoles, carotenoides y vitaminas potencia el valor nutricional de estos frutos, consolidándolos como una opción funcional en la dieta (Guzmán et al., 2021). La especie *S. lycopersicum* var. *Cerasiforme*, considerada el ancestro de los tomates cultivados modernos, tiene una distribución natural en América del Sur, incluyendo Perú, Ecuador, Chile y las Islas Galápagos, reflejando la adaptación a diversos ambientes y aportando una rica base genética para la diversidad actual (Délices et al., 2019).

En este contexto, el estudio del perfil metabólico de los tomates resulta esencial para comprender la composición bioquímica que sustenta las propiedades funcionales. Los metabolitos son moléculas que reflejan el fenotipo de la planta y desempeñan funciones vitales en el crecimiento, desarrollo y adaptación al estrés biótico y abiótico. El análisis del metaboloma, que abarca la totalidad de metabolitos presentes en un organismo, proporciona información dinámica sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos, superando las limitaciones del genoma y el proteoma en la caracterización de sistemas biológicos (Katam et al., 2022).

La metabolómica, ciencia dedicada al estudio cualitativo y cuantitativo de los metabolitos bajo condiciones específicas, ha emergido como una herramienta poderosa en la investigación agrícola. Se ha utilizado para evaluar la calidad de cultivos, las respuestas al estrés ambiental, y los cambios metabólicos durante la maduración de frutos, contribuyendo así a la mejora genética y al desarrollo de productos con valor agregado (Valentino et al., 2020).

En este marco, el objetivo principal de este estudio fue determinar el perfil metabólico de tomate cherry de colores cultivados en Ecuador, mediante un enfoque cuantitativo y experimental, orientado a la caracterización fisicoquímica, la evaluación de compuestos bioactivos y la cuantificación de la actividad antioxidante y antimicrobiana. Para ello se aplicaron métodos estandarizados y técnicas analíticas de alta precisión, siguiendo normativas internacionales y metodologías previamente validadas.

2. Determinación del problema

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), especialmente en la variedad cherry, se ha convertido en un cultivo de creciente interés debido a la alta concentración de compuestos bioactivos como flavonoides, antocianinas, carotenoides y ácidos fenólicos, los cuales le confieren propiedades funcionales y nutraceuticas de gran valor para la salud humana. La variabilidad genética y fenotípica entre los tomates cherry de diferentes colores sugiere diferencias en la composición metabólica, lo que podría influir en la calidad nutricional y en las propiedades beneficiosas para la prevención de enfermedades crónicas.

En Ecuador, a pesar del incremento en la producción y consumo de tomates cherry de diversas tonalidades, existe una limitada caracterización científica del perfil metabólico de estas variedades locales. Esta falta de información impide valorizar adecuadamente el potencial nutraceutico, así como desarrollar estrategias de aprovechamiento agrícola, comercial y alimentario basadas en evidencia. Además, no se dispone de estudios sistemáticos que evalúen la relación entre el color del fruto, la composición en compuestos bioactivos, y la actividad antioxidante y antimicrobiana, factores clave para la promoción como alimento funcional.

Ante esta situación, surge la necesidad de realizar un análisis detallado y comparativo del perfil metabólico de tomates cherry de colores cultivados en Ecuador. La ausencia de datos específicos limita el diseño de estrategias para la diferenciación de productos, la mejora genética, y la promoción del consumo de variedades con mayores beneficios para la salud. Comprender las características fisicoquímicas, la composición bioactiva y las propiedades funcionales de estos frutos permitirá no solo fortalecer el conocimiento científico, sino también impulsar la innovación en los sistemas agroalimentarios locales.

Por tanto, el presente estudio buscó responder a la interrogante, ¿cuál es el perfil metabólico, la composición de compuestos bioactivos, y la actividad antioxidante y antimicrobiana de tomates cherry de diferentes colores cultivados en Ecuador? Esta

investigación aspira a llenar el vacío existente en la literatura nacional y a aportar información estratégica para el sector agrícola, industrial y de salud pública.

3. Marco teórico referencial

3.1 *Solanum lycopersicum*

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta (Angiospermas), clase Magnoliopsida (Dicotiledóneas), orden Solanales, familia Solanaceae y género *Solanum* (Rawat et al., 2024). Es un cultivo anual de autopolinización natural (Salim et al., 2020).

El tomate tiene sus orígenes en América, donde los Aztecas fueron los primeros en cultivarlos. El nombre proviene del náhuatl *tomatl*, que hacía referencia al tomatillo (*Physalis philadelphica*), mientras que el tomate rojo utilizado actualmente en la gastronomía corresponde a *Solanum lycopersicum*. Los tomates silvestres eran significativamente distintos a los actuales, con frutos pequeños de apenas 1 a 2 cm de diámetro, sabor más ácido y dos lóculos internos (Lafrance et al., 2024).

El tomate puede sembrarse durante todo el año, con un tiempo de maduración de entre dos y tres meses, dependiendo de la variedad. El desarrollo fenológico se divide en tres etapas principales que consiste en plántula (día 1 a 21), etapa vegetativa (día 22 a 49) y etapa productiva (día 50 a 100) (Figura 2) (Yadav et al., 2022).

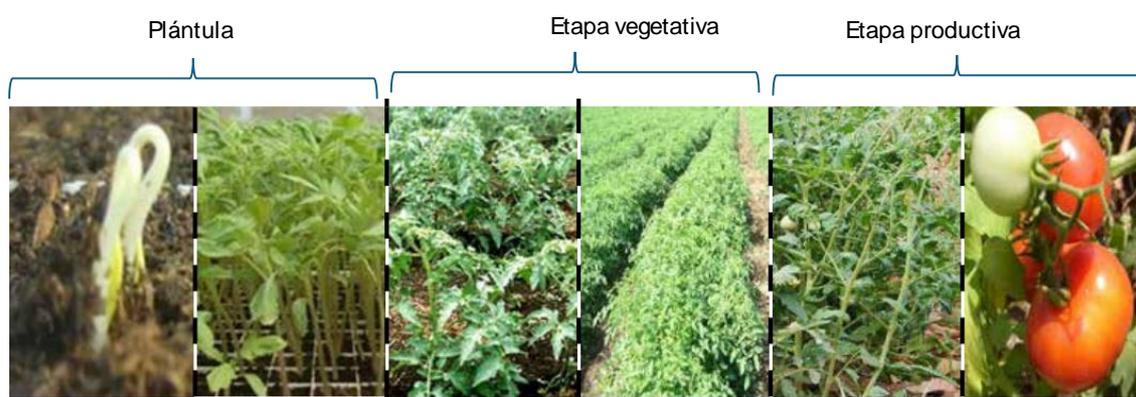


Figura 1. Etapas de desarrollo fenológico del tomate

Fuente: (Guerra et al., 2016)

La planta de tomate esta caracterizada por un crecimiento ramificado, pudiendo alcanzar entre 60 y 180 cm de extensión. Posee una baja carga de frutos, con un crecimiento rastrero, aunque existen variedades más compactas y erectas. Las hojas son compuestas, pinnadas, de hasta 45 cm de largo, cubiertas por tricomas que le confieren el aroma característico (Marcelo et al., 2021). Las flores son de color amarillo, miden aproximadamente 2 cm de diámetro y se presentan en inflorescencias colgantes (Swamy, 2023).

El crecimiento y desarrollo del tomate son altamente sensibles a las condiciones ambientales. Las temperaturas óptimas para el cultivo oscilan entre 21,0 °C y 29,5 °C durante el día y entre 18,5 °C y 21,0 °C durante la noche. Incrementos superiores a 25,0 °C pueden afectar la reproducción, reduciendo la formación de frutos o alterando la calidad (EL-Mansy et al., 2021). El estrés térmico, junto con la escasez de agua, disminuye los días ideales de cultivo, especialmente en condiciones de campo abierto en zonas tropicales, afectando la productividad y limitando las áreas aptas para la producción (Ayenán et al., 2019).

El color de los frutos varía desde el rojo, escarlata, amarillo, verde o morado. Poseen una forma esférica, ovalada o alargada (Figura 2) (Swamy, 2023).



Figura 1. Imagen del *Solanum lycopersicum*
Fuente: (Intagri, 2025)

Los frutos albergan numerosas semillas rodeadas de una matriz gelatinosa, las cuales maduran entre 35 y 50 días después de la polinización (Swamy, 2023). Durante la etapa productiva, el tomate rojo atraviesa seis grados de madurez (Figura 3). Así, en el grado 1 la superficie del fruto es completamente verde; en el grado 2, aparece una ligera coloración rosada en la base. Con el avance de la maduración se presentan el grado 3, 4 y 5, donde un cierto porcentaje de color rojo va cubriendo la superficie del fruto, hasta alcanzar el grado 6 con todo el fruto de color rojo (Campos, 2022).

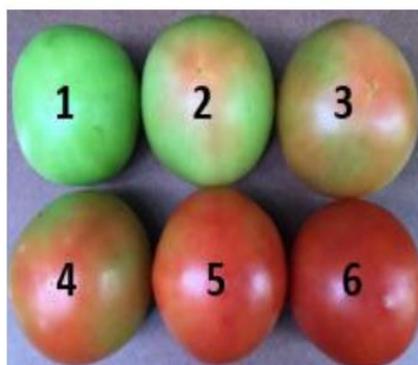


Figura 1. Grados de madurez del tomate

Fuente: (Campos, 2022)

El tomate es un fruto climatérico, lo que significa que continúa la maduración después de la cosecha. Esta característica, sumada a la alta sensibilidad a daños físicos y al ataque de microorganismos, contribuye a elevadas pérdidas postcosecha, estimadas entre el 20 % y 42 % a nivel mundial (Yadav et al., 2022).

3.1.1 Historia de *Solanum lycopersicum*

El tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) es una variedad ampliamente distribuida y apreciada por los frutos pequeños, de color rojo intenso y sabor característico, semejante al de una cereza. Esta variedad no solo destaca por los atributos organolépticos, sino también por la elevada diversidad genética, la cual representa un recurso valioso para la mejora de cultivos, permitiendo la selección de características específicas y la adaptación a diversas regiones agroecológicas (Chanthini et al., 2019).

Estudios moleculares y morfoestructurales sugieren que *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* constituye el ancestro directo del tomate cultivado actualmente. Se considera que la domesticación se habría desarrollado en dos etapas, inicialmente, a partir de la variedad silvestre *Solanum pimpinellifolium*, seguida de la adaptación y domesticación completa en Mesoamérica, donde se seleccionaron individuos con frutos de mayor tamaño (Délices et al., 2021).

En el estado natural, el tomate cherry crece en diversos ecosistemas, desde desiertos hasta áreas de alta pluviometría, y puede establecerse desde el nivel del mar hasta altitudes de 2,400 metros (Gramazio et al., 2020).

3.1.2 Variedades de *Solanum lycopersicum*

El tomate presenta una amplia diversidad varietal, adaptada a diferentes usos culinarios y preferencias de consumo. Entre las variedades más comunes destaca el tomate redondo o de ensalada, representado por cultivares como *Globe*, *Marmande* y *Ace*. Estos frutos, de forma redondeada, tamaño medio y piel lisa, poseen un sabor equilibrado y una textura firme, características que los hacen ideales para ensaladas, sándwiches y diversas preparaciones gastronómicas (Mariano et al., 2019).

El tomate cherry, también conocido como tomate cereza, incluye variedades como *Sweet 100*, *Sun Gold* y *Red Cherry*. Estos frutos, se caracterizan por la notable dulzura y jugosidad, lo que los convierte en una excelente opción para ensaladas frescas, aperitivos y decoraciones culinarias (Eliecer et al., 2018).

Otra variedad destacada es el tomate pera o roma, ejemplificada por cultivares como *Roma VF* y *San Marzano*. Estos tomates de forma alargada presentan una pulpa densa y un contenido reducido de semillas, atributos que los hacen especialmente apropiados para la elaboración de salsas, conservas y productos deshidratados (Jaramillo et al., 2017).

El tomate *beefsteak* o corazón de buey se distingue por el gran tamaño, abundante contenido de pulpa y elevada jugosidad. Variedades como *Brandywine* y *Big Beef* son

apreciadas para el uso en hamburguesas, cortes gruesos o platos frescos que requieren una proporción considerable de tomate (Díaz et al., 2024).

Finalmente, los tomates *heirloom* (variedades antiguas o patrimoniales) incluyen cultivares tradicionales no híbridos como *Cherokee Purple*, *Green Zebra* y *Black Krim*. Estos tomates se reconocen por la diversidad morfológica, colores inusuales y perfiles de sabor intensos y complejos, siendo altamente valorados en la cocina gourmet y en la preparación de ensaladas de alta calidad (Mariano et al., 2019).

3.2 *Metabolómica*

La metabolómica es una disciplina emergente de las ciencias ómicas que se enfoca en el estudio integral de los metabolitos, pequeñas moléculas producidas durante los procesos metabólicos en organismos vivos. Estos compuestos, presentes en células, tejidos y fluidos, reflejan el estado fisiológico y bioquímico de los organismos, incluyendo las plantas. A través del análisis detallado de los metabolitos, la metabolómica permite detectar cambios asociados al desarrollo, a condiciones ambientales o a la aparición de enfermedades, proporcionando información clave para la mejora de cultivos (Manickam et al., 2023).

Los metabolitos se clasifican en dos grandes grupos, los metabolitos primarios, esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas; y los metabolitos especializados, que no intervienen directamente en las funciones básicas, pero juegan un papel importante en la adaptación a factores de estrés biótico y abiótico. Aunque todas las células de una planta comparten la misma información genética, los perfiles metabólicos pueden diferir significativamente en función de factores ambientales o de la etapa de desarrollo, condicionando así la respuesta adaptativa (Katam et al., 2022).

El conjunto total de metabolitos de un organismo se conoce como metaboloma. Este representa un nivel dinámico de información dentro de la compleja red metabólica, donde genes, proteínas y metabolitos interactúan como componentes interconectados de un sistema integral. La comprensión de estos niveles de interacción es esencial para interpretar los mecanismos que regulan la fisiología de los seres vivos (Manickam et al., 2023).

La metabolómica se ha consolidado como una herramienta fundamental para el estudio de los cultivos agrícolas. Permite analizar cualitativa y cuantitativamente los metabolitos bajo condiciones específicas, facilitando la identificación de variaciones metabólicas durante el crecimiento, la maduración de los frutos y la respuesta frente al estrés ambiental. Además, posibilita la comparación entre genotipos y ecotipos, proporcionando bases para la selección y mejoramiento de variedades con atributos deseables, como una mayor resistencia a condiciones adversas o una mejor calidad nutricional (Valentino et al., 2020).

3.3 *Carotenoides en el tomate*

Los carotenoides son compuestos lipofílicos ampliamente distribuidos en frutas, verduras y ciertos microorganismos, responsables de los colores vivos que van desde el amarillo hasta el rojo, como el naranja de las zanahorias o el rojo del tomate. Se almacenan en organelos celulares especializados como los cloroplastos y cromoplastos. Estructuralmente, los carotenoides se dividen en carotenos, formados únicamente por hidrocarburos (por ejemplo, β -caroteno y licopeno), y las xantofilas, que contienen átomos de oxígeno en la estructura, como la luteína y la zeaxantina (Osamede et al., 2024).

La biosíntesis de carotenoides en el tomate inicia con el geranylgeranyl difosfato (GGPP) como sustrato. La enzima fitosintasa (*Phytoene synthase*) cataliza la formación de 15-cis-fitoeno, el primer carotenoide incoloro. Posteriormente, la fitodesaturasa (*Phytoene desaturase*) actúa en dos pasos sucesivos para generar di-cis- ζ -caroteno. A continuación, la ζ -caroteno desaturasa transforma este compuesto en tetra-cis licopeno, precursor de la coloración amarillenta o anaranjada, y finalmente, la isomerasa de carotenoides convierte el tetra-cis licopeno en trans-licopeno, otorgando el característico color rojo del fruto maduro (Meléndez, 2017).

El β -caroteno, otro carotenoide relevante, proporciona tonalidades anaranjadas y rojas en numerosos vegetales y flores. Se destaca por la alta solubilidad en medios no acuosos, lo que facilita la extracción y análisis (Osamede et al., 2024). Asimismo, el tomate contiene xantofilas como la luteína y la zeaxantina, estereoisómeros que, aunque presentan la misma fórmula química, difieren ligeramente en la estructura. La

luteína desempeña un papel protector en las plantas, actuando como filtro de la radiación azul y previniendo daños fotooxidativos (Jáuregui et al., 2011). Otros carotenoides importantes son el fitoeno y el fitoflueno, precursores en la biosíntesis del licopeno, cuya concentración en el tomate es menor en comparación con los principales pigmentos (I. Navarro & Periago, 2016).

Los carotenoides presentes en el tomate aportan múltiples beneficios para la salud humana. Así, el β -caroteno actúa como antioxidante, protege contra el estrés oxidativo al inactivar especies reactivas de oxígeno (ROS), posee propiedades anticancerígenas, contribuye a la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y protege frente a la degeneración macular y al envejecimiento. El α -caroteno comparte propiedades antioxidantes y anticancerígenas similares a las del β -caroteno. El licopeno se destaca por el potente efecto antioxidante, disminución del riesgo de cáncer de próstata, propiedades anticancerígenas generales y protección contra enfermedades cardiovasculares y degeneración macular. La luteína y zeaxantina, ambas contribuyen a la protección ocular, mejoran la agudeza visual, previenen la degeneración macular y las cataratas, y eliminan radicales libres dañinos (Daphnee et al., 2022).

3.4 Compuestos fenólicos del tomate

Los compuestos fenólicos constituyen un amplio y diverso grupo de metabolitos secundarios presentes en todas las plantas. La estructura básica consiste en un anillo aromático al que se unen uno o más grupos hidroxilo, además de otras posibles sustituciones como azúcares o ácidos. Según el número de anillos y la forma de conexión, los compuestos fenólicos se clasifican en varias subcategorías, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, entre otros (Martínez et al., 2023).

La biosíntesis de los compuestos fenólicos se inicia a partir del ácido shikímico, producto de la combinación entre fosfoenolpiruvato (PEP) y D-eritrosa-4-fosfato, formando ácido 3-desoxi-D-arabinoheptuloso-7-fosfato (DAHP). A través de una serie de reacciones de eliminación y reducción, donde intervienen cofactores como NAD^+ y NADH , se genera ácido quínico y posteriormente ácido shikímico (Martín, 2018).

A partir del ácido shikímico se producen ácidos fenólicos como el ácido protocateico y el ácido gálico. Paralelamente, mediante nuevas transformaciones, se sintetiza ácido corísmico, precursor del ácido prefénico, que finalmente da origen a la L-fenilalanina, un aminoácido esencial que es la base para la síntesis de muchos otros fenoles (Herrera et al., 2016).

El tomate contiene diversos compuestos fenólicos de interés nutricional y funcional. Así, el ácido clorogénico perteneciente a los ácidos hidroxicinámicos, asociado con la prevención del síndrome metabólico (Santana et al., 2017). El ácido cafeico está presente en múltiples frutas y verduras, con potentes efectos antioxidantes (Cizmarova et al., 2020). El ácido ferúlico que es derivado de la fenilalanina y la tirosina actúa como antioxidante y agente protector celular frente a radicales libres (Li et al., 2021). El ácido *p*-cumárico está presente en tomates y otras frutas, con capacidad antioxidante que protege frente al estrés oxidativo (Fuentes & Palomo, 2014).

Entre los flavonoides más relevantes del tomate se encuentran, la quercetina que es un flavonol de intenso color amarillo, con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. No se sintetiza en el organismo humano, siendo esencial la ingesta dietética (Batiha et al., 2020). El kaempferol es un flavonoide asociado a propiedades anticancerígenas, antioxidantes y antiinflamatorias (Wang et al., 2023). La naringenina es un flavonoide presente en cítricos y tomates, inicialmente en forma de naringina, que es convertida a su forma activa en el intestino humano (Stecko et al., 2022).

Los compuestos fenólicos son sustancias naturales que se encuentran en muchas frutas, verduras, cereales y hasta en el chocolate. En el cuerpo humano son antioxidantes protegiendo las células del daño causado por sustancias oxidantes (que pueden acelerar el envejecimiento y causar enfermedades). Así, se ha descubierto que estos compuestos pueden reducir el riesgo de enfermedades como la diabetes y los problemas del corazón (Cereceres et al., 2019).

3.5 *Actividad antioxidante*

Los radicales libres son especies químicas que contienen un electrón desapareado en la capa más externa, confiriéndoles una alta reactividad. Esta inestabilidad los impulsa a

reaccionar rápidamente con biomoléculas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, desencadenando procesos de daño celular que pueden favorecer el envejecimiento y la aparición de enfermedades crónicas (Guija & Guija, 2023).

En este contexto, los antioxidantes son compuestos que, aun en pequeñas concentraciones, son capaces de retardar o prevenir el daño oxidativo causado por los radicales libres en las células. Estas moléculas reactivas, al interactuar descontroladamente con lípidos, proteínas y ADN, pueden comprometer la integridad celular y contribuir al desarrollo de enfermedades degenerativas. Los antioxidantes neutralizan a los radicales libres, protegiendo así las funciones esenciales del organismo y preservando la homeostasis (Abarca-Vargas & Vera, 2018).

El estrés oxidativo ocurre cuando existe un desequilibrio entre la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y los mecanismos antioxidantes del cuerpo. En este contexto, los antioxidantes se clasifican en enzimáticos y no enzimáticos. Entre los antioxidantes enzimáticos destaca la catalasa, una enzima que descompone el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en agua (H_2O) y oxígeno (O_2), mitigando el potencial daño celular (Zárate et al., 2021).

Desde el punto de vista funcional, los antioxidantes se subdividen en antioxidantes primarios y secundarios. Los antioxidantes primarios actúan directamente sobre los radicales libres, neutralizándolos mediante la cesión de electrones o átomos de hidrógeno. La acción implica la propia oxidación y destrucción posterior, como ocurre con muchos compuestos fenólicos. Los antioxidantes secundarios inhiben o retardan la formación de radicales libres, actuando mediante mecanismos indirectos como la quelación de metales pesados, la absorción de radiación ultravioleta o la desactivación del oxígeno singlete (Zapata et al., 2017). Además, los antioxidantes constituyen el sistema de defensa natural frente al estrés oxidativo. Estos se pueden clasificar en antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos. Los enzimáticos son sintetizados endógenamente, como la catalasa, la superóxido dismutasa y la glutatión peroxidasa, que neutralizan las ROS de forma específica. Los antioxidantes no enzimáticos provienen principalmente de la dieta, incluyen compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas (C y E) y carotenoides. Estos compuestos bioactivos, abundantes en frutas, verduras y

cereales integrales, juegan un rol fundamental en la protección celular (Zárate et al., 2021).

Los antioxidantes aportan múltiples beneficios a la salud humana. Los bioflavonoides, un subgrupo de los polifenoles, destacan por la capacidad para neutralizar radicales libres, prevenir daños en el ADN y bloquear la acción de metales catalíticos como el hierro y el cobre, que promueven la formación de ROS (Engwa, 2018).

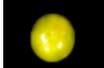
4. Materiales y metodología

4.1 Muestreo

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus Girón. Las muestras de tomate cherry de diferentes colores fueron recolectadas en una plantación ubicada en la parroquia de Checa, en el Distrito Metropolitano de Quito.

La recolección de los frutos (Tabla 1) se realizó mediante un muestreo aleatorio, garantizando así la representatividad de la muestra (INEN, 2012). Los tomates seleccionados fueron colocados cuidadosamente en contenedores plásticos rígidos, con el objetivo de minimizar daños mecánicos y preservar la integridad durante el transporte.

Tabla 1.
Listado de frutos seleccionados para el estudio

Muestra	Grado de madurez	Imagen
Tomate cherry amarillo	100%	
Tomate cherry verde	100%	
Tomate cherry negro	100%	
Tomate rojo redondo	100%	
Tomate cherry rojo ovalado	100%	
Tomate Bielsa	100%	
Tomate negro-rojo	100%	

4.2 Características fisicoquímicas

Las muestras de tomate cherry colectadas se dividieron en dos porciones. En la primera se analizaron las propiedades fisicoquímicas del fruto entero, siguiendo protocolos estandarizados. Los análisis realizados incluyeron la metodología de Coyago-Cruz, et al. (2023):

- **Peso (g):** El peso individual de los frutos se determinó utilizando una balanza analítica Mettler Toledo ML204T/00 (Mettler Toledo, Greifensee, Suiza).
- **Tamaño (cm):** El diámetro ecuatorial y longitudinal se midió con un calibrador digital Titan 23175 (Titan, Kent, WA, EE. UU.).
- **pH:** El pH de las muestras se cuantificó conforme la normativa INEN (2013). La medida se realizó con un potenciómetro SevenMulti S47 (Mettler Toledo, Columbus, OH, EE. UU.).
- **Sólidos solubles (°Brix):** El contenido de sólidos solubles se determinó utilizando un refractómetro manual Hitech RHB-32 ATC (G-Won Hitech Co., Ltd., Seúl, Corea).
- **Acidez titulable total (%):** Se pesó 1 g de muestra triturada se diluyó con 10 mL de agua destilada. A la mezcla se añadieron de 2 a 3 gotas de fenolftaleína al 0,1 % como indicador, y se tituló con NaOH 0,1 N. La acidez titulable total se calculó mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1.

$$\frac{V_{NaOH} * meq.cido * factor\ de\ dilucion * 100}{g * V_{jugo} * V_{muestra\ titulada}}$$

Donde:

V_{NaOH} : mL gastados de hidróxido de sodio en la titulación

N_{NaOH} : Normalidad de la solución de hidróxido de sodio 0,1 N

meq. cido: Miliequivalentes del ácido domínate (0,064 g/meq de ácido cítrico)

V_{jugo} : mL de extracto de fruta

$V_{muestra\ titulada}$: mL de titulación

- Humedad (%): Se pesó aproximadamente 1 g de fruto triturado en cajas Petri previamente taradas y se secó en una estufa Memmert Be 20 (Memmert GmbH+Co.KG, España) a 121 °C (Coyago-Cruz et al., 2019). La humedad (%) se determinó utilizando la Ecuación 2.

$$\text{Ecuación 2. Humedad (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

- Ceniza (%): El porcentaje de ceniza se midió siguiendo el procedimiento de Coyago-Cruz et al., (2024). Se pesó aproximadamente 1 g de fruto triturado en crisoles previamente tarados en una mufla Thermolyne (Thermo Fisher Scientific, Estados Unidos) a 550°C. Los crisoles fueron colocados en una plancha de calentamiento dentro de la Sorbona hasta eliminar toda la materia orgánica y posteriormente fueron colocados en la mufla hasta obtener cenizas blancas a 550 °C. Las cenizas (%) se calcularon empleando la Ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3. Cenizas (\%)} = \frac{\text{peso de cenizas}}{\text{peso de muestra fresca}} * 100$$

4.3 Compuestos bioactivos

La segunda fracción de las muestras de tomate cherry fue procesada siguiendo la metodología propuesta por Coyago-Cruz, Barrigas, et al. [2024]. Los frutos fueron cortados en trozos pequeños, colocados en frascos herméticos y congelados a -80 °C. Posteriormente, se sometieron a un proceso de liofilización en un equipo Christ Alpha 1-4 LDplus (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Alemania). La muestra liofilizada fue molida hasta obtener un polvo fino utilizando un mortero, y el polvo resultante fue almacenado en frascos de vidrio ámbar, protegidos de la luz, hasta el respectivo análisis.

4.3.1 Cuantificación de carotenoides totales

La cuantificación de carotenoides totales se realizó mediante microextracción, siguiendo la metodología de Coyago-Cruz, Barrigas, et al. (2024), en condiciones de

oscuridad y por triplicado. Para ello, se mezcló 20 mg de polvo liofilizado con 250 μL de metano, 500 μL de triclorometano y con 250 μL de agua destilada. La mezcla se homogeneizó en un vórtex VM-300 (Interbiolab Inc., Orlando, FL, EE. UU.) y se sometió a sonicación durante 3 minutos en un baño ultrasónico Fisher Scientific FS60 (Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 14 000 rpm durante 3 minutos a 4 °C en una microcentrífuga MiniSpin (Eppendorf, Bochum, Alemania). La fase orgánica coloreada fue recolectada y el proceso de extracción se repitió hasta que el residuo sólido quedó incoloro. Las fases coloreadas combinadas se evaporaron a sequedad en un rotavapor Buchi R-100 (Buchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza) a temperaturas inferiores a 30 °C.

El extracto seco se reconstituyó en 2 mL de etanol grado HPLC y se transfirió a una celda de cuarzo de 10 mm de trayectoria óptica para medir la absorbancia a 450 nm utilizando un espectrofotómetro ThermoSpectronic Genesys 10 UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). La concentración de carotenoides totales se determinó mediante una curva de calibración construida con β -caroteno disuelto en etanol (5 mg en 25 mL), y se expresó como microgramos de β -caroteno por 100 g de peso seco (μg β -caroteno/100 g PS). La cuantificación de carotenoides totales se determinó utilizando la Ecuación 4.

$$\text{Ecuación 4. } CT = \frac{Abs * V * 10000}{A \frac{1\%}{cm} * 100 * Pm}$$

Donde:

CT: concentración de carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$),

Abs: absorbancia de la muestra

V: volumen de aforo (mL)

A: coeficiente de absorción molar

Pm: peso de la muestra (g).

4.3.2 *Cuantificación de fenoles totales*

La cuantificación de compuestos fenólicos totales se realizó siguiendo la metodología de Coyago-Cruz, Alarcón, et al. (2024), mediante microextracción por triplicado. Para

ello, se mezclaron 40 mg de polvo liofilizado con 1 mL de metanol al 80 % acidificado con ácido clorhídrico al 0,1 %. La mezcla se homogeneizó utilizando un vórtex VM-300 (Interbiolab Inc., Orlando, FL, EE. UU.) y posteriormente se agitó durante 2 minutos en un baño ultrasónico Fisher Scientific FS60 (Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.).

El sobrenadante fue separado mediante centrifugación a 14 000 rpm durante 5 minutos a 4 °C en una microcentrífuga MiniSpin (Eppendorf, Bochum, Alemania). El proceso de extracción se repitió dos veces, utilizando 500 µL de la solución metanólica acidificada en cada repetición. Los sobrenadantes obtenidos se combinaron, se filtraron a través de un filtro de PVDF de 0,45 µm, y la solución resultante se almacenó congelada hasta el respectivo análisis.

Para la cuantificación de los compuestos fenólicos totales, se añadieron 20 µL del extracto filtrado en una placa de cultivo tisular VWR de 96 pocillos (Novachen, Pittsburgh, PA, EE. UU.), junto con 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 1:4. La mezcla se homogeneizó y, después de 4 minutos, se añadieron 75 µL de una solución de carbonato de sodio (100 g/L). Se agitó durante 1 minuto y se dejó reposar durante dos horas a temperatura ambiente. Posteriormente, la absorbancia se midió a 750 nm utilizando un lector de microplacas BioTek Synergy H1 (Agilent Scientific Instruments, Santa Clara, CA, EE. UU.).

La curva de calibración se construyó con un estándar de ácido gálico en un rango de concentración de 10 a 200 mg/L. La concentración de compuestos fenólicos totales se expresó como miligramos de equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso seco (mg GAE/100 g PS).

La concentración de compuestos fenólicos totales se determinó empleando la Ecuación 5 y 6.

$$\text{Ecuación 5. } FT = OA + (m * Abs)$$

Donde:

FT: Concentración de compuestos fenólicos totales (mg/mL)

OA: Ordenada al origen de la recta de calibrado

m: Pendiente de la recta de calibrado

Abs: Absorbancia medida en el espectrofotómetro a 750 nm

$$\text{Ecuación 6. } FT[mg \text{ EAG}/100 \text{ g PS}] = (C) * Vm * FdF$$

Donde:

C: Concentración obtenida de la curva de calibración (mg/mL)

V: Volumen del extracto (mL)

M: Muestra (g)

Fd: Factor de dilución

4.4 *Actividad antioxidante por DPPH*

La actividad antioxidante se evaluó con el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH•), siguiendo la metodología descrita por Coyago-Cruz, Barrigas, et al., (2024). Para la preparación de los extractos, se mezclaron 20 mg de polvo liofilizado con 2 mL de metanol grado HPLC. La mezcla se homogeneizó en un baño ultrasónico Fisher Scientific FS60 (Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, EE. UU.) durante 2 minutos. Posteriormente, se centrifugó y se recogió el sobrenadante para el análisis.

La reacción con DPPH• se llevó a cabo colocando una alícuota del extracto en una placa de 96 pocillos, seguida de la adición de una solución de radical DPPH•. La absorbancia de la mezcla se midió a 517 nm utilizando un lector de microplacas BioTek Synergy H1 (Agilent Scientific Instruments, Santa Clara, CA, EE. UU.).

La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó mediante una curva de calibración utilizando Trolox como estándar. Los resultados se expresaron como milimoles equivalentes de Trolox por 100 gramos de peso seco (mmol ET/100 g PS).

4.5 *Actividad antimicrobiana*

La actividad antimicrobiana de los extractos de tomate cherry se evaluó siguiendo la metodología descrita por Coyago-Cruz, Barrigas, et al. (2024). Para la obtención de los

extractos, se pesaron 0,2 g de muestra liofilizada y se añadieron 10 mL de etanol al 50 % (v/v). La mezcla se homogeneizó y se agitó en un baño ultrasónico FS60 (Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.) durante 6 minutos. Posteriormente, el sobrenadante fue separado mediante centrifugación a 14000rpm durante 3 minutos en una microcentrífuga MiniSpin (Eppendorf, Bochum, Alemania).

Las propiedades antibacterianas de los extractos de tomate se probaron contra las bacterias Gram positivas *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P y las bacterias Gram negativas *Escherichia coli* ATCC 8739. Las bacterias grampositivas y gramnegativas se precultivaron en infusión de cerebro y corazón durante la noche en un agitador rotatorio a 37 °C. Posteriormente, cada cepa se ajustó a una concentración de 0,5 del estándar MacFarland (10^{-1} células/mL).

Se utilizó el método de difusión en agar para evaluar las actividades antibacterianas. Las suspensiones de microorganismos activos se extendieron uniformemente sobre agar Mueller-Hinton solidificado para las cepas bacterianas, utilizando un hisopo estéril. A continuación, se realizaron pocillos de agar (5 mm de diámetro) en cada placa utilizando un sacabocados estéril. Se añadió a los pocillos un volumen fijo de aproximadamente 80 μ L con diferentes concentraciones de los extractos y las cajas Petri se incubaron a 37 °C/18 h. Las zonas de inhibición obtenidas se midieron en milímetros. Estos ensayos se realizaron al menos por triplicado.

4.6 *Análisis estadístico*

El análisis estadístico se realizó empleando el software INFOSTAT versión 2020, en el cual se realizó un ANOVA. Los gráficos se construyeron empleando el programa SIGMAPLOT versión 14.

5. Resultados y discusión

5.1. Análisis fisicoquímicos

En la Figura 4, se presenta los resultados promedio de peso expresado en gramos de las muestras en estudio.

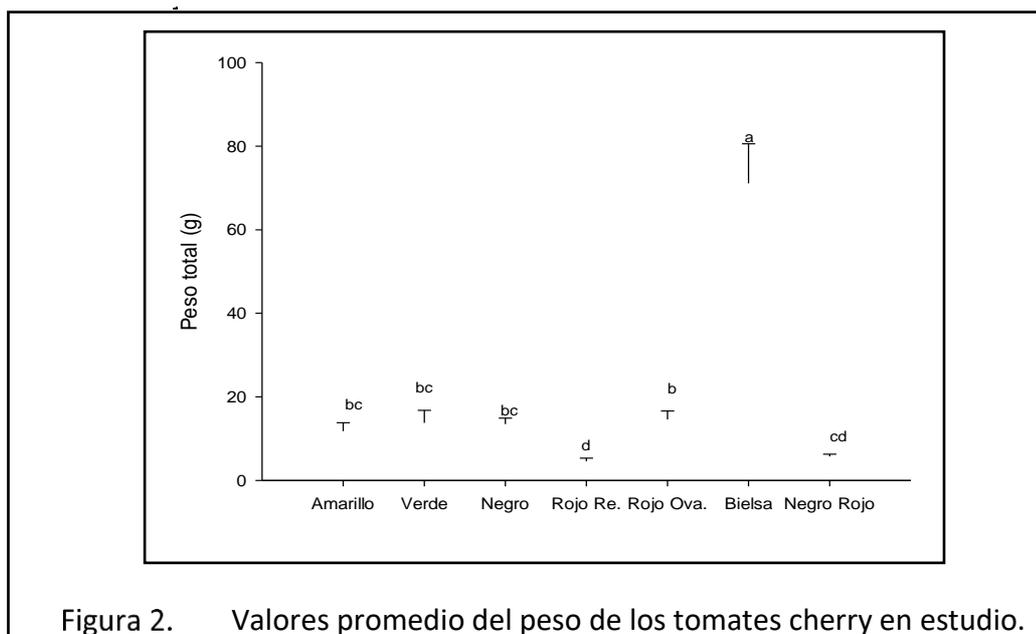


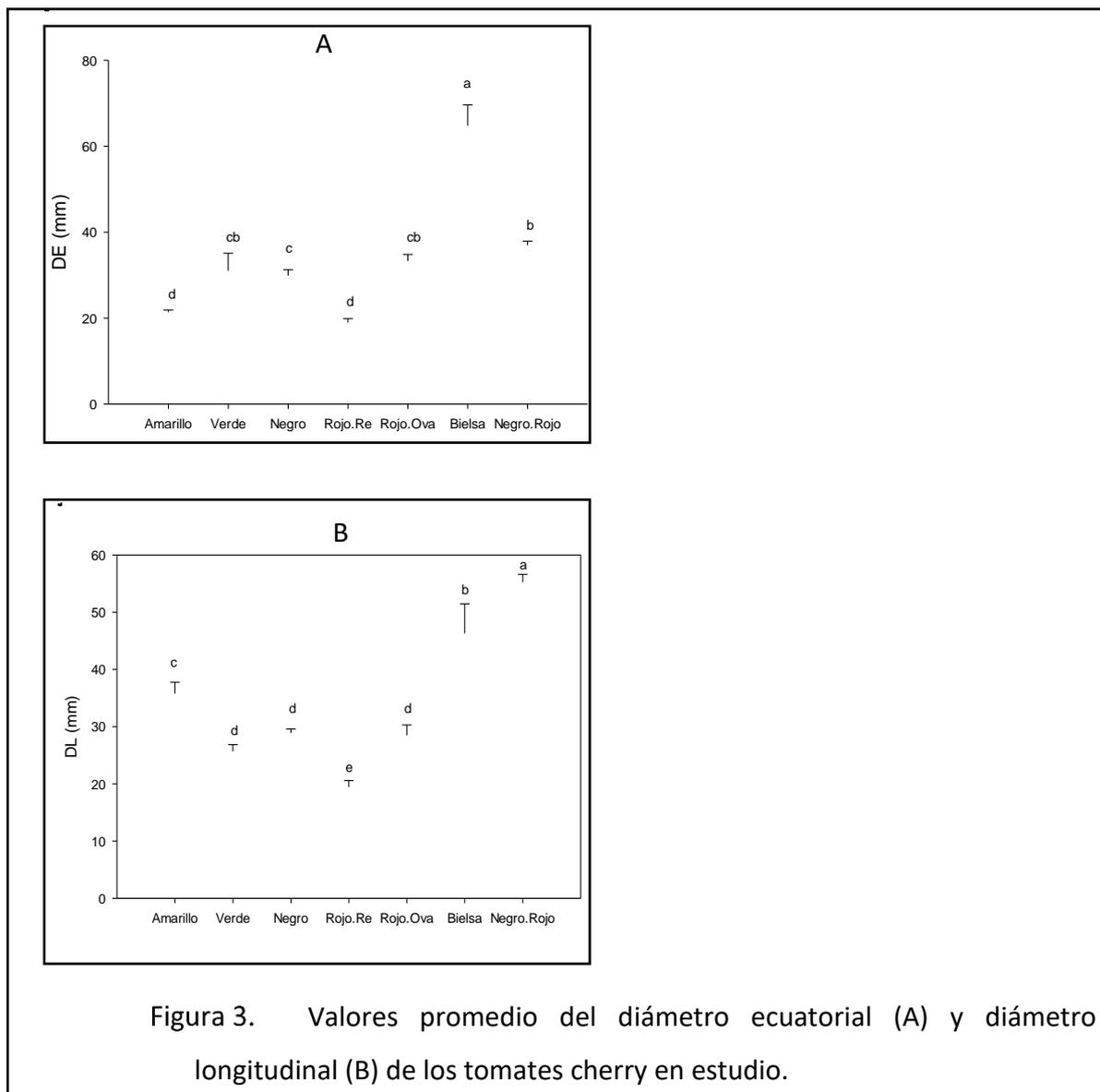
Figura 2. Valores promedio del peso de los tomates cherry en estudio.

Los resultados obtenidos mostraron que el peso de los frutos evaluados varió desde 4,58 g en la variedad Rojo Redondo hasta 71,11 g en la variedad Bielsa. El análisis de separación de medias reveló que la variedad Bielsa se diferenció estadísticamente del resto, registrando el mayor peso de fruto, mientras que la variedad Rojo Redondo presentó el menor peso.

Estos valores fueron consistentes con los reportados por Eladio & Loría (2019), quienes señalaron un rango de peso entre 64,8 g y 76,5 g, atribuyendo el mayor peso de los frutos a un ciclo de cosecha más tardío. Por otro lado, diferencias notables se observaron en comparación con lo reportado por Diaz et al., (2024), quienes registraron rangos de peso significativamente superiores (entre 696,63 g y 876,94 g). Estas diferencias fueron atribuidas a la aplicación de compost, práctica que, según los autores, incrementa de manera significativa en el número de frutos por planta, el peso individual de los frutos y el rendimiento total por hectárea.

5.1.1 *Tamaño*

En la Figura 5, se presenta los resultados promedio del tamaño de las variedades de tomate cherry en estudio. En la Figura 5-A se presenta los valores promedio del diámetro longitudinal y en la Figura 5-B se muestra los valores promedio del diámetro ecuatorial.



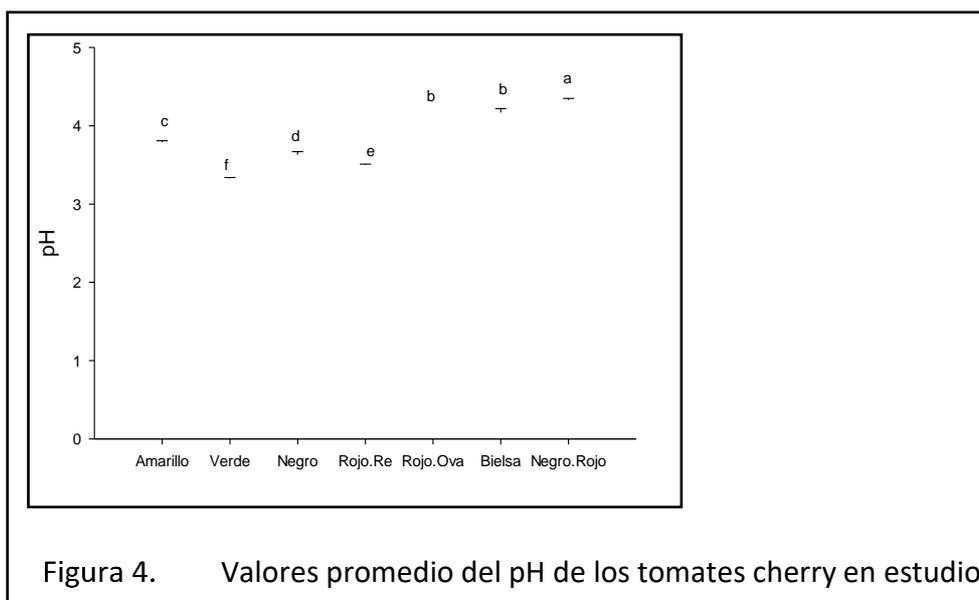
Los valores obtenidos para el diámetro ecuatorial (DE) de los frutos oscilaron entre aproximadamente 18,98 mm en la variedad Rojo Redondo y 64,77 mm en la variedad Bielsa. Por su parte, el diámetro longitudinal (DL) varió entre 19,44 mm (Rojo Redondo) y 55,28 mm (Negro Rojo). El análisis de separación de medias reveló diferencias

estadísticas significativas entre las variedades. En cuanto al diámetro ecuatorial, la variedad Bielsa registró el mayor valor mientras que Rojo Redondo presentó el menor valor. Para el diámetro longitudinal, la variedad Negro Rojo alcanzó el mayor valor, y nuevamente Rojo Redondo registró el más bajo.

Estos resultados son consistentes con los reportados por J. Luna et al. (2018), quienes observaron en la variedad de tomate cherry Sweet Treats los valores de 32,21 mm y 34,86 mm, y destacaron que las soluciones nutritivas impactan el tamaño del fruto, especialmente incrementando el diámetro ecuatorial en un 3 % y el peso medio en un 5 %, mientras que concentraciones más altas de nitrógeno y conductividad eléctrica favorecen el crecimiento vegetativo, pero reducen el tamaño del fruto. Asimismo, Córdoba et al., (2018) informaron diámetros promedio entre 11,1 mm y 23,0 mm en tomates cherry cultivados bajo condiciones controladas, resultados que coinciden con las dimensiones observadas en este estudio, en particular en las variedades de menor tamaño.

5.1.2 pH

En la Figura 6, se presenta los valores promedio de pH de los tomates cherry en estudio.

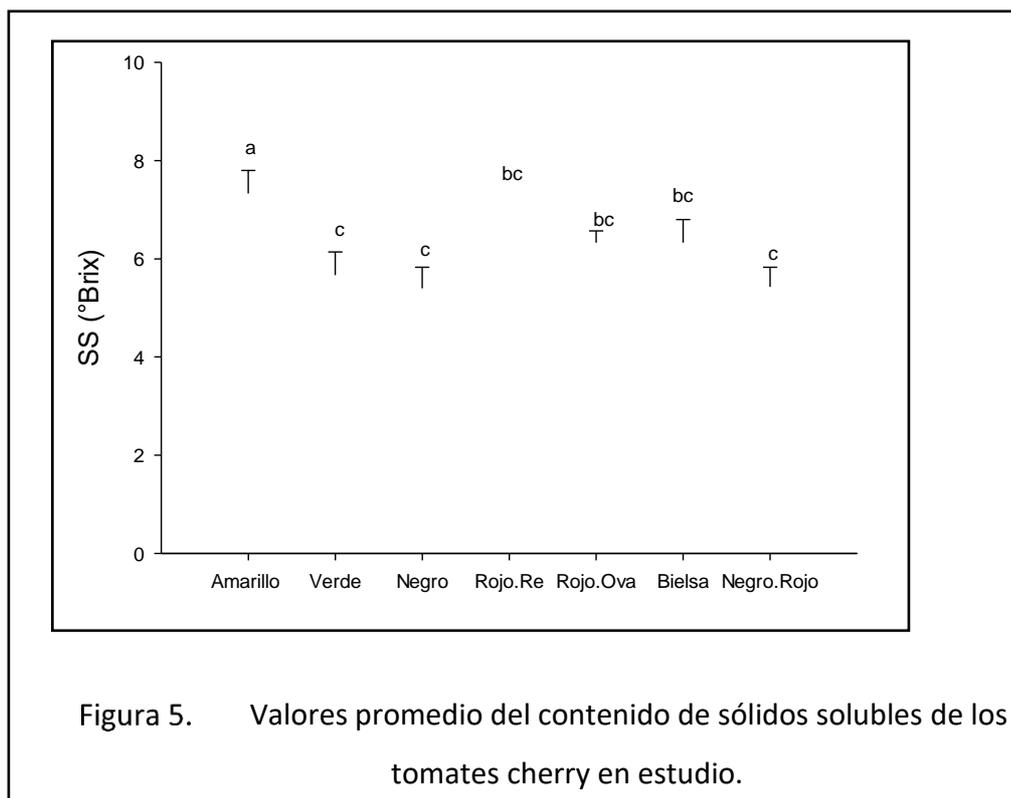


El pH promedio de los frutos evaluados varió entre 3,33 en la variedad Verde y 4,33 en la variedad Negro Rojo. El análisis de separación de medias evidenció diferencias estadísticas significativas entre las variedades. La variedad Negro Rojo presentó el valor de pH más elevado, mientras que la variedad Verde registró el valor más bajo.

Estos resultados fueron consistentes con los reportados por A. Navarro et al. (2024), quienes señalaron valores de pH entre 3,9 y 4,4, atribuyéndolos a la influencia de la variedad de tomate utilizada y al grado de madurez del fruto, factores relacionados con la conversión de ácidos orgánicos en azúcares a medida que avanza la maduración. De manera similar, Monge & Coto (2019), informaron valores de pH entre 3,73 y 4,02, indicando que el índice de sabor, que combina un alto contenido de sólidos solubles con una baja acidez (mayor pH), resulta determinante en la preferencia del consumidor. Aunque los tomates de sabor más dulce son generalmente preferidos debido al mayor contenido de azúcares, también existe un grupo de consumidores que valora sabores más ácidos. Durante la maduración del fruto, la disminución de la acidez contribuye al aumento progresivo del pH.

5.1.3 *SS (Brix)*

En la Figura 7, se presenta los resultados promedio de los sólidos solubles (SS) de las muestras en estudio.



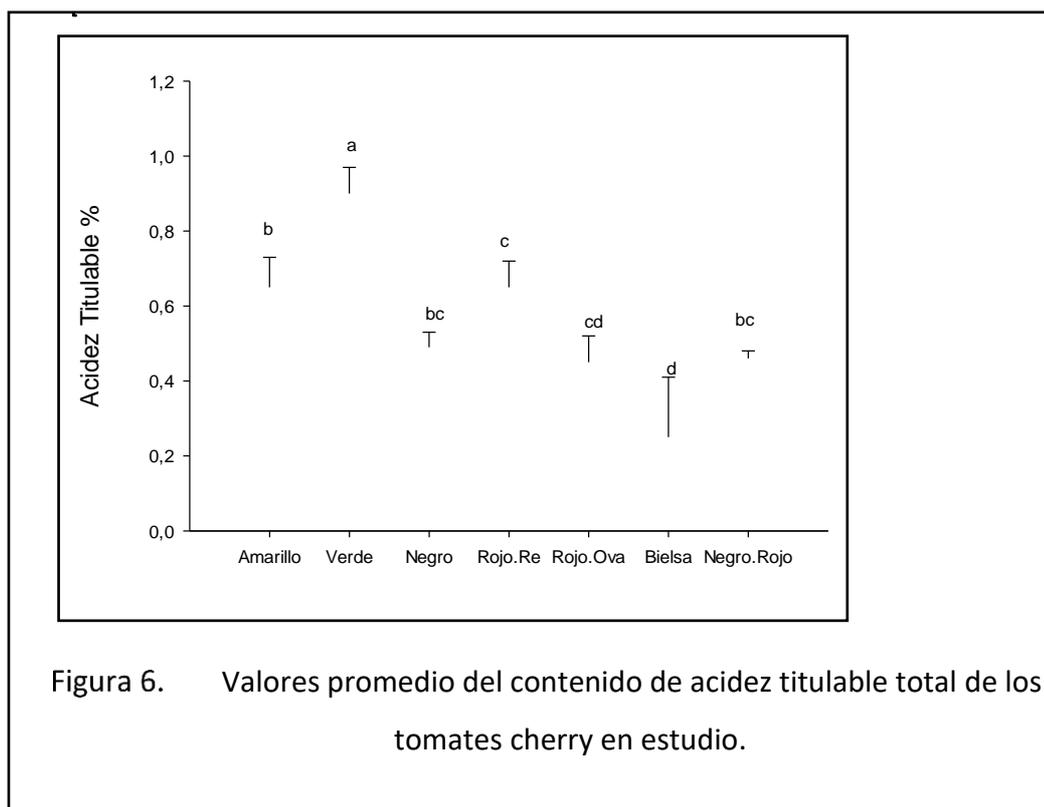
El contenido de sólidos solubles (°Brix) de los frutos evaluados varió entre aproximadamente 5,40 °Brix en las variedades Negro y Verde, y 7,33 °Brix en la variedad Amarillo. El análisis de separación de medias mostró diferencias estadísticas significativas. La variedad Amarillo presentó el mayor valor de sólidos solubles, diferenciándose significativamente de las variedades Verde, Negro y Negro Rojo, que mostraron los valores más bajos.

Estos resultados son consistentes con los reportados por Dong et al. (2024), quienes indicaron que la calidad del sabor en tomates cherry depende del equilibrio entre dulzor y acidez, siendo los niveles elevados de sólidos solubles totales (SST) y acidez indicativos de un perfil de sabor superior. Un menor contenido de azúcares junto con una mayor acidez se asocia con perfiles de sabor más ácidos, mientras que niveles relativamente altos de dulzor mejoran la palatabilidad del fruto. Las variaciones observadas en el contenido de azúcares y ácidos, particularmente ácido málico y cítrico, influyen significativamente en el perfil organoléptico de los tomates.

De manera similar, Monge & Coto (2019), reportaron valores de sólidos solubles entre 4,41° y 8,08°Brix en tomates cultivados bajo diferentes soluciones nutritivas, coincidiendo con los rangos registrados en este estudio.

5.1.4 Acidez titulable

En la Figura 8, se presenta los resultados promedio de % de acidez titulable total de las muestras en estudio.



Los valores de acidez titulable de los frutos evaluados oscilaron entre aproximadamente 0,25 % en la variedad Bielsa y 0,90 % en la variedad Verde. En este estudio, el análisis de separación de medias indicó diferencias estadísticas significativas entre las variedades. La variedad Verde presentó el mayor valor de acidez titulable, diferenciándose significativamente de todas las demás. En contraste, la variedad Bielsa registró el valor más bajo.

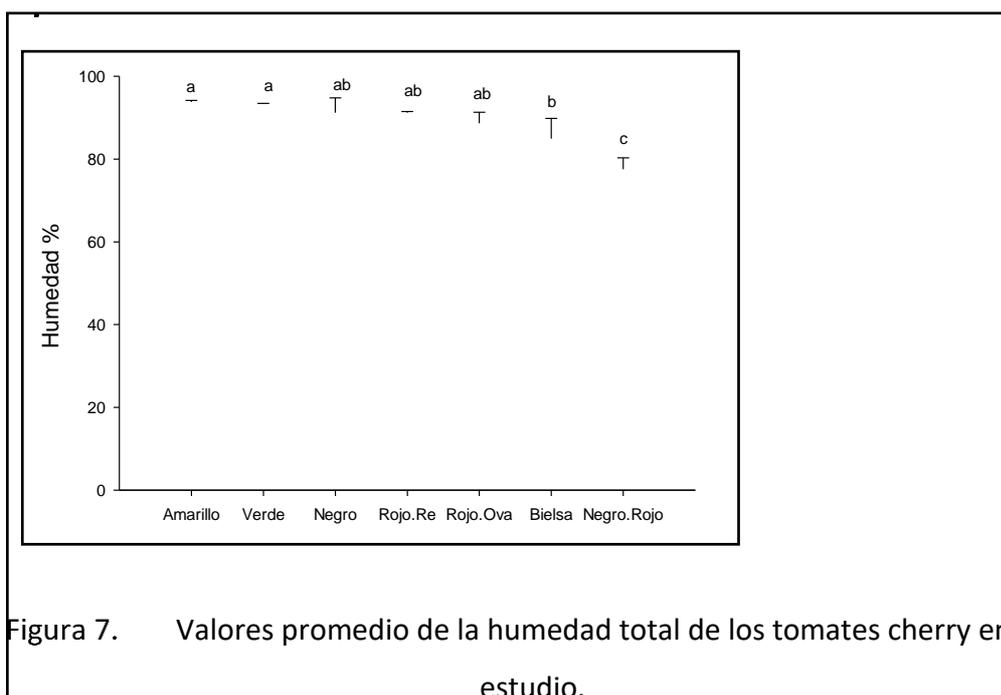
Estos resultados son consistentes con los reportados por Lorente et al. (2018), quienes observaron una tendencia similar dentro del racimo, registrando mayores valores de acidez en la mitad inferior, donde los frutos eran menos maduros. Dichos autores

informaron valores de acidez titulable entre 0,6 % y 0,7 % en los frutos menos maduros, y entre 0,4 % y 0,5 % en los más maduros.

Asimismo, Al-Dairi et al. (2021), reportaron que la acidez titulable (TA) del tomate se ve significativamente influenciada por factores poscosecha como la temperatura de almacenamiento, la distancia de transporte y el tiempo de conservación. En su estudio, los valores de TA oscilaron entre 0,25 % y 0,40 %, observándose una disminución de la acidez en tomates transportados a mayores distancias y almacenados a temperaturas elevadas (22 °C), en comparación con los conservados a 10 °C, donde se preservaron mayores niveles de acidez.

5.1.5 Humedad

En la Figura 9, se presenta los resultados promedio del % de humedad de las muestras en estudio.



Los valores de humedad de los frutos evaluados oscilaron entre aproximadamente 77,55 % en la variedad Negro Rojo y 93,80 % en la variedad Amarillo. Estos resultados son consistentes con los reportados por López (2022), quien informó valores de humedad

de 95,2 g de agua/100 g y 92,6 g de agua/100 g en tomates cherry, evidenciando la alta proporción de agua característica de este tipo de frutos.

5.1.6 Cenizas

En la Figura 10, se presenta los resultados promedio del % de cenizas

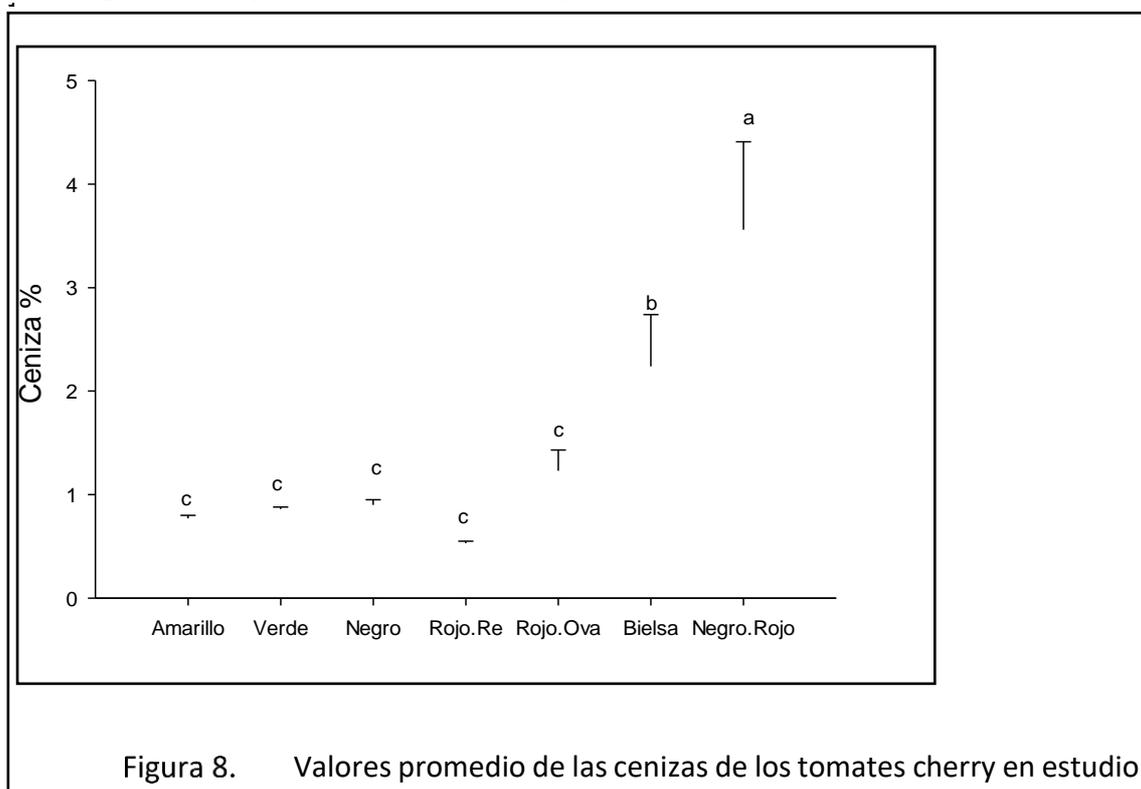
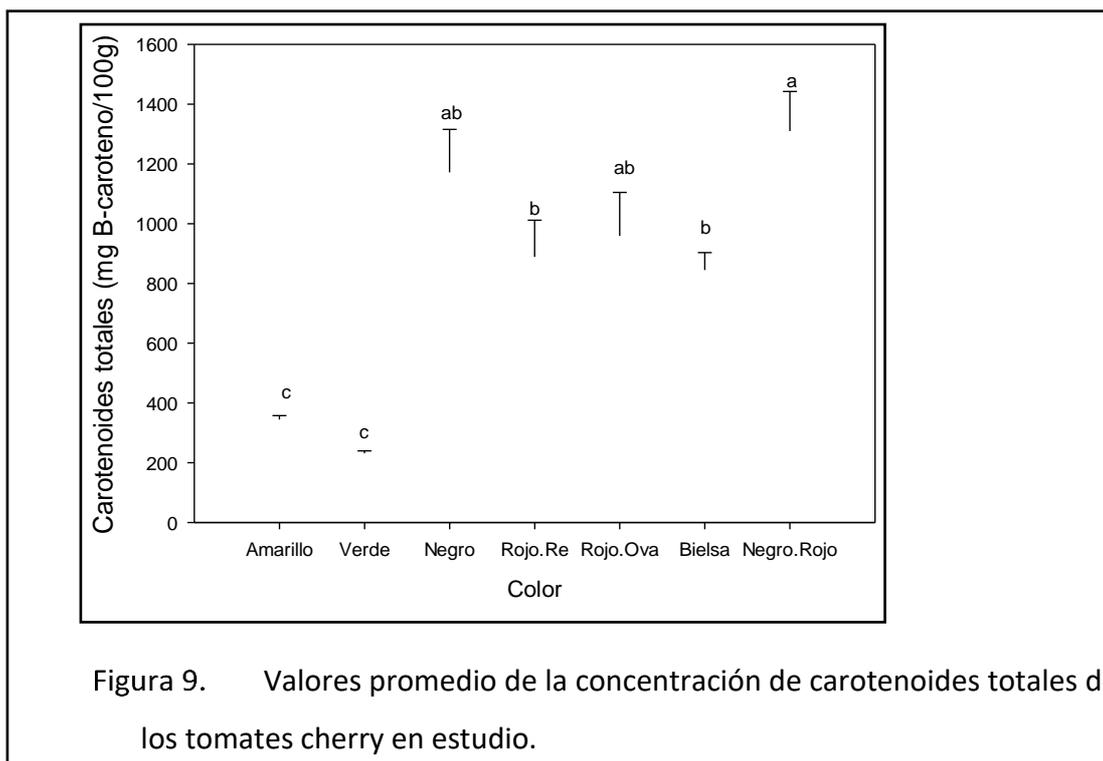


Figura 8. Valores promedio de las cenizas de los tomates cherry en estudio.

Los valores de contenido de cenizas en los frutos evaluados oscilaron entre aproximadamente 0,53 % en la variedad Rojo Redondo y 3,56 % en la variedad Negro Rojo. Las variedades Amarillo, Verde, Negro, Rojo Redondo y Rojo Ovalado no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellas.

5.2. Cuantificación de carotenoides totales

En la Figura 11, se presenta los resultados promedio de la concentración de carotenoides totales de las muestras en estudio.



Los valores de carotenoides totales en las muestras evaluadas oscilaron entre 231,34 $\mu\text{g/g}$ PS en la variedad Verde y 1310,15 $\mu\text{g/g}$ PS en la variedad Negro Rojo. Estos resultados son consistentes con los reportados por Coyago-Cruz et al. (2019), quienes señalaron que los niveles de carotenoides en tomates varían significativamente debido a factores genéticos, climáticos y metabólicos. Asimismo, Coyago-Cruz et al. (2018), reportaron que durante el desarrollo del tomate los mayores incrementos de carotenoides (68 %-94 %) se producen en condiciones de crecimiento óptimo, mientras que, en otoño, factores como las bajas temperaturas y los fotoperiodos cortos reducen los niveles de carotenoides totales.

5.3. *Cuantificación de fenoles totales*

En la Figura 12, se presenta los resultados promedio de la concentración de fenoles totales de las muestras en estudio.

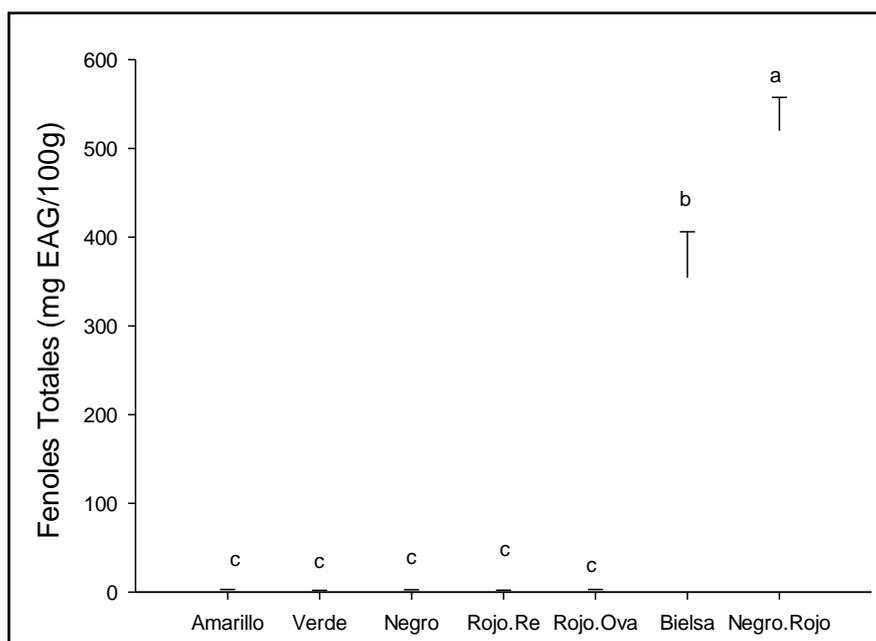


Figura 10. Valores promedio de la concentración de fenoles totales de los tomates cherry en estudio.

Los valores de fenoles totales en los frutos evaluados oscilaron entre 1,56 mg EAG/100 g PS en la variedad Verde y 520,04 mg EAG/100 g PS en la variedad Negro Rojo. Estos resultados estuvieron relacionados con los reportados por Coyago-Cruz et al. (2022), quienes observaron que el tratamiento de riego deficitario controlado (RDI) redujo los niveles de compuestos fenólicos individuales y totales (TPCC) en todas las etapas de madurez, con disminuciones de hasta 1,3 veces en comparación con el tratamiento control.

De manera complementaria, Coyago-Cruz et al. (2019), señalaron que el contenido fenólico total (CPT) varía significativamente en función del tamaño y la composición química del fruto, observándose que las variedades de menor tamaño, como los tomates cherry, presentan concentraciones iguales o superiores de compuestos fenólicos en comparación con tomates de mayor tamaño.

5.4. *Determinación de actividad antioxidante*

En la Figura 13, se presenta los resultados promedio de la actividad antioxidante evaluada por la inhibición del radical DPPH de las muestras en estudio.

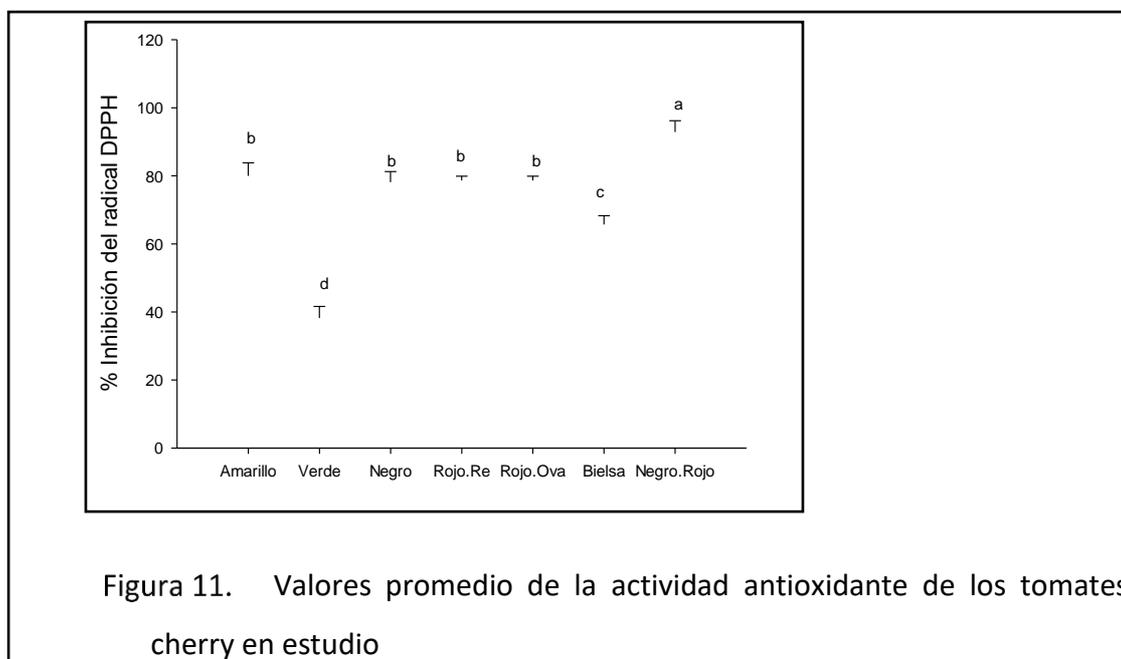


Figura 11. Valores promedio de la actividad antioxidante de los tomates cherry en estudio

Los valores de actividad antioxidante expresados como capacidad de captura del radical DPPH• oscilaron entre 38,20 en la variedad Verde y 92,90 en la variedad Negro Rojo. Estos resultados guardaron cierta relación con los reportados por Shahzad et al. (2014), quienes observaron valores de 44,63 en el ensayo DPPH, destacando que las soluciones acuosas mostraron mayor actividad antioxidante en comparación con las soluciones metanólicas.

De manera complementaria, Guzmán et al. (2021), informaron valores de actividad antioxidante entre 21,74 y 61,17 en tomates, atribuyendo dichas diferencias a factores genéticos, ambientales y de manejo agronómico que afectan la estructura química, la ubicación y la concentración de compuestos antioxidantes. Además, señalaron que la piel del tomate presenta mayor actividad antioxidante en comparación con la pulpa y las semillas.

Por otro lado, Rapa et al. (2021), reportaron valores promedio de actividad antioxidante de 90,75 en frutos de un cultivo convencional, 90,08 en un cultivo hidropónico y 92,45

en un cultivo orgánico, sin diferencias significativas entre métodos de cultivo cuando se utilizó el ensayo DPPH.

5.5. *Determinación de actividad antimicrobiana*

En la Tabla 2 se presenta la actividad antimicrobiana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* de las muestras en estudio.

Tabla 2. Presencia o ausencia de inhibición frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*

Muestra	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
Tomate cherry amarillo	ausencia	ausencia
Tomate cherry verde	presencia	presencia
Tomate cherry negro	ausencia	presencia
Tomate rojo redondo	ausencia	presencia
Tomate rojo ovalado	ausencia	presencia
Tomate Bielsa	ausencia	ausencia
Tomate negro-rojo	ausencia	ausencia

En el presente estudio, las muestras analizadas no presentaron actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli*, con excepción de la variedad de tomate cherry Verde, que mostró inhibición frente a *Staphylococcus aureus*. Estos resultados son comparables a los reportados por López, (2019), quien indicó que el extracto alcohólico obtenido de tomate verde mostró una actividad antimicrobiana moderada frente a *S. aureus*, atribuida a la presencia de compuestos bioactivos como ésteres polares o moléculas anfipáticas. Asimismo, Szabo et al. (2019), reportaron que extractos de tomate mostraron actividad significativa contra *S. aureus*, con concentraciones mínimas inhibitorias que variaron desde 0,625 mg/mL. Estos resultados sugieren que la eficacia antimicrobiana de los extractos de tomate podría estar influenciada por la concentración y el tipo de compuestos bioactivos presentes.

6. Conclusiones

El presente estudio permitió caracterizar el perfil metabólico de variedades de tomate cherry de diferentes colores cultivados en Ecuador, evidenciando variaciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos y actividad biológica.

El análisis fisicoquímico reportó alta variabilidad en peso, tamaño, pH, sólidos solubles, acidez titulable, humedad y contenido de cenizas entre las variedades analizadas. La variedad Bielsa presentó el mayor peso y diámetro ecuatorial, mientras que Rojo Redondo registró los valores más bajos en estas variables. En cuanto al pH, Negro Rojo mostró el valor más alto, en contraste con Verde, que presentó la mayor acidez titulable. En el caso de los compuestos bioactivos, la variedad Negro Rojo destacó significativamente, mostrando las mayores concentraciones de carotenoides totales (1310,15 $\mu\text{g/g}$ PS) y fenoles totales (520,04 mg EAG/100 g PS), así como la mayor actividad antioxidante (92,90%).

En cuanto a la actividad antimicrobiana, los extractos obtenidos mostraron una inhibición limitada frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, siendo el tomate cherry Verde el único que presentó inhibición frente a *E. coli*.

Los resultados de este estudio refuerzan el potencial del tomate cherry de colores, especialmente de las variedades de tonalidades más oscuras como Negro Rojo, como fuentes relevantes de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. Asimismo, evidencian la importancia de factores como el genotipo, el grado de madurez y las condiciones de cultivo en la determinación del perfil metabólico de estos frutos.

7. Referencias

- Abarca-Vargas, R., & Vera, P. (2018). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Inventio*, 14(34), 33–38.
<https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/4>
- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Yahyai, R. (2021). Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 401–408.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.001>
- Ayenan, M., Danquah, A., Hanson, P., Ampomah-Dwamena, C., Sodedji, F., Asante, I., & Danquah, E. (2019). Accelerating breeding for heat tolerance in tomato (*solanum lycopersicum* L.): an integrated approach. *Agronomy*, 9(11), 1–23.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9110720>
- Batiha, G., Beshbishy, A., Ikram, M., Mulla, Z., Hack, M., Taha, A., Algammal, A., & Elewa, Y. (2020). The pharmacological activity, biochemical properties, and pharmacokinetics of the major natural polyphenolic flavonoid: Quercetin. In *Foods* (Vol. 9, Issue 3). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
<https://doi.org/10.3390/foods9030374>
- Campos, S. (2022). *Cultivo de Tomate*.
- Cereceres, A., Rodrigo, J., Álvarez, E., & Rodríguez, A. (2019). Consumption of phenolic compounds in the elderly population. *Nutricion Hospitalaria*, 36(2), 470–478.
<https://doi.org/10.20960/nh.2171>
- Chanthini, K., Stanley, V., Thanigaivel, A., Karthi, S., Palanikani, R., Sundar, N., Sivanesh, H., Soranam, R., & Senthil, S. (2019). Sustainable agronomic strategies for enhancing the yield and nutritional quality of wild tomato, *solanum lycopersicum* var *cerasiforme* Mill. *Agronomy*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy9060311>
- Cizmarova, B., Hubkova, B., Bolerazska, B., Marekova, M., & Birkova, A. (2020). Caffeic acid: a brief overview of its presence, metabolism, and bioactivity. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 3(4), 74–81.
<https://doi.org/10.31989/bchd.v3i4.692>
- Córdoba, H., Gómez, S., & Núñez, C. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 113–125. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7348>
- Coyago-Cruz, E., Alarcón, A., Guachamin, A., Méndez, G., Osorio, E., Heredia-Moya, J., Zuñiga-Miranda, J., Beltrán-Sinchiguano, E., & Vera, E. (2024). Functional, Antioxidant, Antibacterial, and Antifungal Activity of Edible Flowers. *Antioxidants*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/antiox13111297>
- Coyago-Cruz, E., Barrigas, A., Guachamin, A., Heredia-Moya, J., Zuñiga-Miranda, J., & Vera, E. (2024). Bioactive Composition of Tropical Flowers and Their Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Foods*, 13(23), 3766.
<https://doi.org/10.3390/foods13233766>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Benítez-González, A. M., Stinco, C. M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2018). Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening

- and cluster. *Food Chemistry*, 240, 870–884.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.028>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C. M., Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J. (2022). Effect of regulated deficit irrigation on commercial quality parameters, carotenoids, phenolics and sugars of the black cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) 'Sunchocola'. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104220>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Mapelli-Brahm, P., Hernanz, D., Stinco, C. M., Beltrán-Sinchiguano, E., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Study of commercial quality parameters, sugars, phenolics, carotenoids and plastids in different tomato varieties. *Food Chemistry*, 277, 480–489.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.139>
- Coyago-Cruz, E., Méndez, G., & Acurio, D. (2023). Assessment of the microbiological quality and heavy metal risk in vegetable species marketed in outdoor fairs. *Bionatura*, 8(4), 1–10. <https://doi.org/10.21931/rb/2023.08.04.18>
- Daphnee, R., Tchonkouang, N., Dulce, M., Antunes, C., Margarida, M., & Vieira, C. (2022). *Potential of Carotenoids from Fresh Tomatoes and Their Availability in Processed Tomato-Based Products*. www.intechopen.com
- Délices, G., Leyva, O., Mota, C., Núñez, R., Andrés, P., & Herrera, J. (2021). Morphological characterization of wild populations of *solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the tomato domestication area. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(4), 303–313. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i4.2684>
- Díaz, F., Caballero, S., Carrasco, H., & Alarcon, J. (2024). *Rendimiento de tres variedades*.
- Dong, S., Zhang, J., Ling, J., Xie, Z., Song, L., Wang, Y., Zhao, L., & Zhao, T. (2024). Comparative analysis of physical traits, mineral compositions, antioxidant contents, and metabolite profiles in five cherry tomato cultivars. *Food Research International*, 194, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114897>
- Eladio, J., & Loría, M. (2019). *Producción de tomate (Solanum lycopersicum) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate Greenhouse tomato (Solanum lycopersicum) production: agronomic comparison between types of tomato*.
- Eliecer, J., Noreña, J., David, G., León, S., Rodríguez, V. P., Andrea, P., Aguilar, A., Ángel, M., Cuartas, Z., Arroyave, M. G., & Distribución, O. Y. (2018). *Generalidades del cultivo*.
- EL-Mansy, A., El-Moneim, D., Alshamrani, S., Safhi, F., Abdein, M., & Ibrahim, A. (2021). Genetic diversity analysis of tomato (*solanum lycopersicum* L.) with morphological, cytological, and molecular markers under heat stress. *Horticulturae*, 7(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040065>
- Engwa, G. (2018). Free radicals and the role of plant phytochemicals as antioxidants against oxidative stress-related diseases. In *Phytochemicals - Source of Antioxidants and Role in Disease Prevention*. InTech.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.76719>
- Fuentes, E., & Palomo, I. (2014). Mechanisms of endothelial cell protection by hydroxycinnamic acids. In *Vascular Pharmacology* (Vol. 63, Issue 3, pp. 155–161). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2014.10.006>

- Gramazio, P., Pereira, L., Vilanova, S., Prohens, J., Soler, S., Esteras, J., Garmendia, A., & Díez, M. (2020). Morphoagronomic characterization and whole-genome resequencing of eight highly diverse wild and weedy *S. pimpinellifolium* and *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* accessions used for the first interspecific tomato. *Horticulture Research*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00395-w>
- Guerra, J., Villarreal, J., Herrera, J., Aguilera, V., & Osorio, O. (2016). *Manual técnico manejo integrado del cultivo de tomate industrial manual técnico manejo integrado del cultivo de tomate industrial 2016*.
- Guija, H., & Guija, E. (2023). Radicales libres y sistema antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 23(2), e2158. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2023.v23n2.12>
- Guzmán, R., Vega, J., & Contreras, I. (2021). *Propiedades y ventajas del tomate cherry negro*.
- Herrera, M., Reveles, L., & Velasquez, R. (2016). *Cambios en el metabolismo de los fenilpropanoides en plantas de chile tipo mirasol infectadas por fitoplasma*.
- INEN. (2013a). *NTE INEN-ISO 750:2013*.
- INEN. (2013b). Productos vegetales y de frutas. Determinación de pH (IDT). In *NTE INEN-ISO 1842:2013*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Jaramillo, J., Rodriguez, V., Guzman Myryam, Zapata, M., & Rengifo, T. (2017). *Manual técnico buenas prácticas agrícolas*.
- Jáuregui, M., Carrillo, Ma. de L. C., & Romo, F. (2011). *Carotenoides y su función antioxidante* (Vol. 61).
- Katam, R., Lin, C., Grant, K., Katam, C., & Chen, S. (2022). Advances in plant metabolomics and its applications in stress and single-cell biology. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 23, Issue 13). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms23136985>
- Lafrance, R., Villicaña, C., Valdéz, J., García, R., Báez, M., Esparza, M., & León, J. (2024). Selection of tomato (*solanum lycopersicum*) hybrids resistant to fol, TYLCV, and TSWV with early maturity and good fruit quality. *Horticulturae*, 10(8), 1–11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080839>
- Li, Y., Zhou, Y., Wang, Z., Cai, R., Yue, T., & Cui, L. (2021). Preparation and characterization of chitosan–nano-zno composite films for preservation of cherry tomatoes. *Foods*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/foods10123135>
- Lopez, A. (2022). *Cultivo, caracterización de tres fenotipos de tomate cherry y evaluación de la retención de fenoles totales en los frutos deshidratados*.
- López, B. (2019). *Construcción de conocimiento multidisciplinario a partir de la educación y el emprendimiento*. <http://www.unpa.edu.mx>
- Lorente, I., Meca, D., Martinez, E., & Segura, M. (2018). *Ensayo de calidad en cultivares de tomate cherry en rama*.
- Luna, J., Can, Á., Cruz, E., Bugarín, R., & Goretí, M. (2018). Intensidad de raleo y soluciones nutritivas en la calidad de tomate cherry. In *Artículo científico Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 41, Issue 1).
- Manickam, S., Rajagopalan, V., Kambale, R., Rajasekaran, R., Kanagarajan, S., & Muthurajan, R. (2023). Plant metabolomics: current initiatives and future prospects. *Current Issues in Molecular Biology*, 45(11), 8894–8906. <https://doi.org/10.3390/cimb45110558>
- Marcelo, S., Barboza, D., Vílchez, P., Biondi, J., Fernandez, E., Chavez, C., & Guerra, C. (2021). *Catálogo de tomate y sus parientes silvestres del Perú* (E. Gutierrez, Ed.;

- Instituto). https://www.mendeley.com/catalogue/1d14ba86-1e48-3bf9-ab5a-1282d833989a/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.2&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B6bd21d80-04cc-31d1-b9cc-f312ada7878f%7D
- Mariano, I., Oviedo, P., & Fernando, B. (2019). *Ensayo de 4 variedades de tomate (2 variedades cherry y 2 variedades tomate redondo)*. www.codigotomate.com.ar
- Martín, D. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Martínez, E., Bovy, A., Plazas, M., Tikunov, Y., Prohens, J., & Pereira, L. (2023). Genetics and breeding of phenolic content in tomato, eggplant and pepper fruits. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1135237>
- Meléndez, A. (2017). *Carotenoides en agroalimentación y salud*. <http://carotenoides.us.es>
- Monge, J., & Coto, M. (2019). *Producción de tomate (Solanum lycopersicum) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate*.
- Navarro, A., Piñeros, Y., Lopez, A., & Martinez, G. (2024). Efectos de láminas activas de papel en la calidad de los tomates cherry durante el almacenamiento en frío. *Avances En Ciencias y Técnicas Del Frío - 12. Actas Del XII Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas Del Frío CYTEF 2024*. <https://doi.org/10.21134/qjpe3r24>
- Navarro, I., & Periago, M. (2016). Is tomato a healthy and/or functional food? *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 20(4), 323–335. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>
- Osamede, J., Sivapragasam, N., Redha, A., & Maqsood, S. (2024). Sustainable green extraction of anthocyanins and carotenoids using deep eutectic solvents: a review of recent developments. In *Food Chemistry* (Vol. 448). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139061>
- Rapa, M., Ciano, S., Ruggieri, R., & Vinci, G. (2021). Bioactive compounds in cherry tomatoes (*Solanum Lycopersicum* var. *Cerasiforme*): Cultivation techniques classification by multivariate analysis. *Food Chemistry*, 355. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129630>
- Rawat, A., Upadhyay, M., & Singh, O. (2024). Exploring the pharmacological potential and traditional use of *solanum lycopersicum* L. (tomato): a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 13(2), 768–771. <https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i2f.14920>
- Salim, M., Rashid, H., Hossain, M., & Zakaria, M. (2020). Morphological characterization of tomato (*solanum lycopersicum* l.) genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(3), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.11.001>
- Santana, J., Cisneros, L., & Jacobo, D. (2017). Chlorogenic acid: recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. In *Molecules* (Vol. 22, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules22030358>
- Shahzad, T., Ahmad, I., Choudhry, S., Shahzad, T., Saeed, M. K., & Khan, M. N. (2014). DPPH free radical scavenging activity of tomato, cherry tomato and watermelon: lycopene extraction, purification and quantification. In *Article in International*

- Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*.
<https://www.researchgate.net/publication/267032127>
- Sillagana, C. (2023). Plantas medicinales de la amazonía ecuatoriana con actividad antibacteriana: una revisión sistemática. *Revista Bases de La Ciencia*, 8(3), 15–39.
<https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i3.6708>
- Stecko, J., Sobieraj, J., Szymańska, N., & Kozłowska, J. (2022). Naringenin and Its Derivatives—Health-Promoting Phytobiotic against Resistant Bacteria and Fungi in Humans. In *Antibiotics* (Vol. 11, Issue 11). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics11111628>
- Swamy, K. (2023). Origin, distribution, taxonomy, botanical description, genetic diversity and breeding of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Development Research*, 13(04), 1–24.
<https://doi.org/10.37118/ijdr.26502.04.2023>
- Szabo, K., Dulf, F. V., Diaconeasa, Z., & Vodnar, D. C. (2019). Antimicrobial and antioxidant properties of tomato processing byproducts and their correlation with the biochemical composition. *LWT*, 116.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108558>
- Torres, A. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre*.
- Valentino, G., Graziani, V., D'Abrosca, B., Pacifico, S., Fiorentino, A., & Scognamiglio, M. (2020). Based plant metabolomics in nutraceutical research: an overview. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 6). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/molecules25061444>
- Wang, Q., Li, W., Hu, H., Lu, X., & Qin, S. (2023). Monomeric compounds from traditional Chinese medicine: New hopes for drug discovery in pulmonary fibrosis. In *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 159). Elsevier Masson s.r.l.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114226>
- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Sethi, S., & Singh, A. (2022). Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): an overview. *Journal of Food Science*, 87(6), 2256–2290. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16145>
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., & Schvab, S. (2017). Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 18, 175–193. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14503507>
- Zárate, W., González, S., Ramírez, F., Robledo, A., & Juárez, A. (2021). Effect of phenolic acids on the antioxidant system of tomato plants. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 854–868. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.45101>