

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

Evaluación de la capacidad antimicrobiana de dos variedades de
***Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) frente a *Escherichia coli* y**
***Staphylococcus aureus*.**

PRESENTADO POR:

Bach. Josue Ismael Cabrera Chero

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir "Josue Cabrera Chero".

ASESOR:

Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir "Melina Cruzado Bravo".

Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo
CIP 137514
Docente UNACH



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**

¡Un sueño hecho realidad!

Ingeniería Agroindustrial

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CO-N°01 -2026-FCA-UNACH- MLMCB

La que suscribe, Asesora del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado “Evaluación de la capacidad antimicrobiana de dos variedades de *Solanum betaceum Cav.* (tomate de árbol) frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*”, perteneciente al tesista Josue Ismael Cabrera Chero; presenta un GRADO DE SIMILITUD de 11 % y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 0 %, en base al análisis realizado por el Software Antiplagio Turnitin (13/01/2026) y este corresponde a una similitud menor al 20 %, por lo que se considera producción intelectual propia (Art. 27e del Reglamento de Grados y Títulos 2025 aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH)

La presente se emite al interesado para los trámites que estime conveniente.

Chota, 15 de enero de 2026.

Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo
Asesor de Informe de Tesis
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
Facultad de Ciencias Agrarias

Josue Cabrera Chero

JOSUE_-_TESIS_FINAL_Turnitin_.docx

 Evaluación de la capacidad antimicrobiana de dos variedades de Solanum betaceum Cav. (tomate de árbol) frente a Escherichia coli y Sta...

 IFT

 Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3456983270

Fecha de entrega

13 ene 2026, 2:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 ene 2026, 3:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

JOSUE_-_TESIS_FINAL_Turnitin_.docx

Tamaño del archivo

15.3 MB

84 páginas

17.773 palabras

101.306 caracteres




11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

| | | |
|----|--------------------------|-----|
| 1 | Internet | |
| | hdl.handle.net | 2% |
| 2 | Internet | |
| | repositorio.unach.edu.pe | 2% |
| 3 | Internet | |
| | alicia.concytec.gob.pe | <1% |
| 4 | Internet | |
| | es.scribd.com | <1% |
| 5 | Internet | |
| | 1library.co | <1% |
| 6 | Internet | |
| | repositoriousco.co | <1% |
| 7 | Internet | |
| | repositorio.unam.edu.pe | <1% |
| 8 | Internet | |
| | sired.udenar.edu.co | <1% |
| 9 | Internet | |
| | repositorio.ug.edu.ec | <1% |
| 10 | Internet | |
| | repositorio.unal.edu.co | <1% |
| 11 | Internet | |
| | www.researchgate.net | <1% |

| | | | |
|----|----------|-----------------------------|-----|
| 12 | Internet | ageconsearch.umn.edu | <1% |
| 13 | Internet | revistas.sqperu.org.pe | <1% |
| 14 | Internet | doczz.net | <1% |
| 15 | Internet | repositorio.uc.cl | <1% |
| 16 | Internet | dspace.ueb.edu.ec | <1% |
| 17 | Internet | noesis.uis.edu.co | <1% |
| 18 | Internet | repositorio.utn.edu.ec | <1% |
| 19 | Internet | www.biorxiv.org | <1% |
| 20 | Internet | dspace.esPOCH.edu.ec | <1% |
| 21 | Internet | repositorio.uaaan.mx | <1% |
| 22 | Internet | revistas.ucr.ac.cr | <1% |
| 23 | Internet | docplayer.es | <1% |
| 24 | Internet | www.repositorio.uc.cl | <1% |
| 25 | Internet | posgradoenalimentos.uson.mx | <1% |

| | | | |
|----|-------------|---|-----|
| 26 | Internet | core.ac.uk | <1% |
| 27 | Internet | repositorio.upct.es | <1% |
| 28 | Internet | bibdigital.epn.edu.ec | <1% |
| 29 | Internet | repositorio.untumbes.edu.pe | <1% |
| 30 | Internet | www.repositorio.unach.edu.pe | <1% |
| 31 | Publicación | César R. Balcázar-Zumaeta, Marleny A. Gupioc-Jimenez, Efraín M. Castro-Alayo, Fr... | <1% |
| 32 | Internet | repositorioubasibbi.uba.ar | <1% |



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 002-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 491-2025-FCA/UNACH:

| Nombres y apellidos | Cargo |
|--------------------------------------|------------|
| Dr. Ricardo Abel del Castillo Torres | Presidente |
| M.Sc. Rubén Iván Marchena Chanduvi | Secretario |
| M.Sc. Janneth Marilyn Edquen Nuñez | Vocal |

De la tesis titulada:

"Evaluación de la capacidad antimicrobiana de dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*"

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

| Nombres y apellidos | DNI |
|----------------------------|----------|
| Josue Ismael Cabrera Chero | 73433161 |
| | |

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría

Aprobar Desaprobar

Otorgando la calificación de: 15,67

Aprobado

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> | Excelente |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Bueno |
| <input type="checkbox"/> | Regular |

Desaprobado

Colpa Huacarís 06 de enero del 2026

(Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres)
Presidente

(M.Sc. Rubén Iván Marchena Chanduvi)
Secretario

(M.Sc. Janneth Marilyn Edquen Nuñez)
Vocal

(Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo)
Asesor

Dedicatoria

Con mucha gratitud y amor, dedico esta tesis a mi madre y mis hermanos, quienes me brindaron fortaleza y motivación en cada etapa de este pequeño tramo de mi vida. A mi madre por ser siempre el motor que me impulsa a esforzarme cada día y mis hermanos por ser la inspiración que mueven mi andar. Cada logro y meta es también de ustedes ya que juntos se ha logrado afrontar desafíos grandes, este trabajo es el reflejo de nuestra unión y esfuerzo.

Josue Ismael Cabrera Chero

Agradecimientos

Agradecido con Dios por ser el generador de pruebas que me permiten mejorar constantemente, como ésta en la que se ha llegado al término del proyecto gracias a su bendición.

A mi madre Diana Maritza Chero Rumiche, y mis hermanos Jonatan y Meylin Cabrera Chero, gracias a su amor y apoyo incondicional que me permitió llegar a la culminación de este trabajo.

A mi asesora la Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo, por su labor y apoyo desde la ejecución de los orígenes hasta la culminación de la investigación, gracias por su paciencia y liderazgo.

Así mismo, expreso mi agradecimiento al Dr. Nils Huaman Castilla que con su apoyo nos permitió realizar investigaciones de análisis de importancia en el laboratorio de Tecnologías Sustentables para la Extracción de Compuestos de Alto Valor (TESECAV) de la Universidad Nacional de Moquegua (UNAM).

Agradecido con la Universidad Nacional Autónoma de Chota por prestar sus instalaciones de laboratorios y el apoyo financiero otorgado, brindados en el “VI Concurso de Proyectos de Investigación Básica, Aplicada y Desarrollo Tecnológico – Nivel Tesis – Financiados con Recursos CANON”, ganador con resolución 039-2025-UNACH, esto nos permitió realizar las adquisiciones de diferentes recursos para llevar a cabo la presente investigación.

Índice de contenido

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 12 |
| 1.2 Formulación del problema | 14 |
| 1.1 Justificación | 14 |
| 1.3 Objetivos..... | 15 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 15 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 15 |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 2.1 Antecedentes | 17 |
| 2.2 Bases teórico – científicas..... | 19 |
| 2.2.1 Tomate de árbol | 19 |
| 2.2.2 Morfología del fruto del tomate de árbol..... | 20 |
| 2.2.3 Taxonomía | 21 |
| 2.2.4 Composición fisicoquímica | 22 |
| 2.2.5 Maduración | 22 |
| 2.2.6 Usos..... | 23 |
| 2.2.7 Beneficios | 23 |
| 2.2.8 Compuestos fenólicos presentes en el fruto del tomate de árbol..... | 23 |
| 2.2.9 Capacidad antioxidante..... | 24 |
| 2.2.10 Capacidad antimicrobiana..... | 24 |
| 2.2.11 Enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS)..... | 25 |

| | | |
|--------------------------------------|--|----|
| 2.2.12 | Bacterias patógenas en alimentos | 25 |
| 2.3 | Marco conceptual..... | 26 |
| 2.3.1 | Capacidad antimicrobiana de frutas..... | 26 |
| 2.3.2 | Capacidad antioxidante..... | 26 |
| 2.3.3 | Concentración Mínima Inhibitoria (MIC) | 26 |
| 2.3.4 | Diámetro de inhibición | 27 |
| 2.3.5 | Difusión en disco | 27 |
| 2.3.6 | Escala McFarland..... | 27 |
| 2.3.7 | Extracto de frutas | 27 |
| 2.3.8 | Epicarpio de tomate de árbol | 27 |
| 2.3.9 | Inhibir el desarrollo microbiológico | 27 |
| 2.3.10 | Mesocarpio de tomade de árbol | 28 |
| 2.3.11 | Patógeno alimentario | 28 |
| 2.3.12 | Semillas de tomate de árbol | 28 |
| 2.3.13 | Ultrasonido..... | 28 |
| 2.3.14 | Unidades formadoras de colonia (UFC) | 28 |
| 2.4 | Hipótesis | 28 |
| 2.5 | Operacionalización de variables | 29 |
| CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO | | 31 |
| 3.1 | Tipo y nivel de investigación..... | 31 |
| 3.2 | Diseño de investigación | 31 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3 | Métodos de investigación | 33 |
| 3.3.1 | Recolección del tomate de árbol..... | 33 |
| 3.3.2 | Análisis fisicoquímicos del tomate de árbol fresco | 33 |
| 3.3.3 | Secado de las áreas del tomate de árbol..... | 35 |
| 3.3.4 | Obtención de extractos asistida por ultrasonido | 35 |
| 3.3.5 | Obtención de extractos por el método convencional | 36 |
| 3.3.6 | Determinación de contenido de polifenoles..... | 36 |
| 3.3.7 | Determinación capacidad antioxidante con la metodología de eliminación de radicales DPPH | 37 |
| 3.3.8 | Determinación de perfil fenólico de los extractos de tomate de árbol..... | 38 |
| 3.3.9 | Determinación de capacidad antimicrobiana | 38 |
| 3.3.10 | Determinación de concentración mínima inhibitoria (MIC) y concentración mínima bactericida (MBC)..... | 39 |
| 3.4 | Población, muestra y muestreo | 39 |
| 3.4.1 | Población..... | 39 |
| 3.4.2 | Muestra | 40 |
| 3.4.3 | Muestreo | 40 |
| 3.5 | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 40 |
| 3.5.1 | Técnicas de recolección de datos | 40 |
| 3.5.2 | Instrumentos de recolección de datos | 41 |
| 3.6 | Técnicas de procesamiento y análisis de datos | 41 |
| 3.7 | Aspectos éticos..... | 41 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 42 |
| 4.1 Descripción de resultados | 42 |
| 4.1.1 Resultados de análisis fisicoquímico | 42 |
| 4.1.2 Resultados de la determinación de polifenoles totales | 43 |
| 4.1.3 Resultados de capacidad antioxidante (DPPH)..... | 44 |
| 4.1.4 Resultados de perfil fenólico | 45 |
| 4.1.5 Resultados de halo de inhibición | 48 |
| 4.1.6 Resultados de concentración mínima inhibitoria y mínima bactericida .. | 49 |
| 4.2 Discusión de resultados..... | 51 |
| 4.2.1 Análisis fisicoquímico | 51 |
| 4.2.2 Determinación de polifenoles totales..... | 52 |
| 4.2.3 Determinación de capacidad antioxidante (DPPH) | 53 |
| 4.2.4 Análisis de perfil fenólico..... | 54 |
| 4.2.5 Determinación de halo de inhibición | 55 |
| 4.2.6 Análisis de concentración mínima inhibitoria y mínima bactericida..... | 56 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 58 |
| 5.1 Conclusiones | 58 |
| 5.2 Recomendaciones | 59 |
| CAPÍTULO 6. REFERENCIAS | 60 |
| CAPÍTULO 7. ANEXOS | 73 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Taxonomía del <i>Solanum betaceum</i> Cav. (tomate de árbol)..... | 21 |
| Tabla 2 Composición fisicoquímica del <i>Solanum betaceum</i> Cav. (tomate de árbol)..... | 22 |
| Tabla 3 Operacionalización de variables | 29 |
| Tabla 4 Bacterias patógenas (<i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>) con las que se trabajó en la presente investigación de capacidad antimicrobiana. | 32 |
| Tabla 5 Resultados de análisis fisicoquímico del fruto del tomate de árbol..... | 42 |
| Tabla 6 Concentración mínima inhibitoria y bactericida frente a la bacteria <i>E. coli</i> de los extractos de tomate de árbol | 50 |
| Tabla 7 Concentración mínima inhibitoria y bactericida frente a la bacteria <i>S. aureus</i> de los extractos de tomate de árbol | 51 |
| Tabla 8 Análisis ANOVA de DPPH - IC ₅₀ | 79 |
| Tabla 9 Análisis tukey de DPPH - IC ₅₀ | 80 |
| Tabla 10 Resultados de análisis de DPPH - IC ₅₀ de los extractos de tomate de árbol..... | 80 |
| Tabla 11 Análisis ANOVA de polifenoles totales | 81 |
| Tabla 12 Análisis tukey de polifenoles totales..... | 81 |
| Tabla 13 Datos de polifenoles totales más menos desviación estándar | 82 |
| Tabla 14 Resultados de perfil fenólico mas menos desviación estándar | 83 |
| Tabla 15 Resultados de Halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol frente a <i>S. aureus</i> | 84 |
| Tabla 16 Resultados de halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol frente a <i>E. coli</i> | 85 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Ecotipos de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)..... | 20 |
| Figura 2 Diagrama experimental de la investigación | 32 |
| Figura 3 Punto de recolección de muestras de tomate de árbol..... | 40 |
| Figura 4 Polifenoles totales de extractos de tomate de árbol..... | 44 |
| Figura 5 Capacidad antioxidante IC ₅₀ DPPH de los extractos de tomate de árbol..... | 45 |
| Figura 6 Perfil fenólico del epicarpio del tomate de árbol | 46 |
| Figura 7 Perfil fenólico de mesocarpio de tomate de árbol | 47 |
| Figura 8 Perfil fenólico de semillas de tomate de árbol | 48 |
| Figura 9 Halo de inhibición (mm) de los extractos de tomate de árbol frente a bacterias de <i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i> | 49 |
| Figura 10 Área de plantaciones de dos variedades de frutos de tomate de árbol | 73 |
| Figura 11 Recolección y traslado de las frutas de tomate de árbol para análisis..... | 73 |
| Figura 12 Fraccionamiento de las tres partes de tomate de árbol (epicarpio, mesocarpio y semillas)..... | 74 |
| Figura 13 Análisis de caracterización fisicoquímica de frutas de tomate de árbol..... | 74 |
| Figura 14 Obtención de extractos con ultrasonido y método convencional | 75 |
| Figura 15 Secado, pulverizado y tamizado de las tres áreas del tomate de árbol..... | 75 |
| Figura 16 Análisis de capacidad antioxidante de los extractos de tomate de árbol..... | 76 |
| Figura 17 Análisis de polifenoles totales de los extractos de tomate de árbol | 76 |
| Figura 18 Análisis microbiológico de halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol | 77 |
| Figura 19 Adecuación de extractos para análisis HPLC de perfil fenólico | 77 |
| Figura 20 Análisis microbiológicos de MIC y MBC de los extractos de tomate de árbol | 78 |
| Figura 21 Curva de calibración para los análisis de polifenoles totales | 79 |

Resumen

En la actualidad la búsqueda de compuestos con actividad biológica y propiedades antimicrobianas de frutos nativos ha generado relevancia. Ante ello, se evaluó la capacidad antimicrobiana de dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol), frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. En un primer momento se realizó el análisis de caracterización fisicoquímica a frutos en fresco, el secado para obtener los polvos (0,6 mm) de las tres áreas del fruto (epicarpio, mesocarpio y semillas) y la aplicación de ultrasonido y método convencional para la obtención de los extractos. En un segundo momento se realizó análisis de capacidad antioxidante DPPH (IC₅₀), polifenoles totales, perfil fenólico (HPLC) y capacidad antimicrobiana (halo de inhibición y concentración mínima inhibitoria y bactericida) de los extractos con concentración de 48,78 mg mL⁻¹. Los resultados fisicoquímicos arrojaron valores de acidez pH 3,44±0,022 y pH 3,77±0,075 en la variedad anaranjada y roja respectivamente, así como °Brix de 11,4±0,5 en variedad roja y 9,5±0,536 en la variedad anaranjada, también se encontró humedad de 81,67± 0,047 % en la variedad anaranjada y de 76,28± 0,094 % en la variedad roja, mostrando una relación inversa entre humedad y solidos solubles encontrados; con respecto a polifenoles totales, se registraron valores de 23,17±0.994 mg GAE/g ss, así también se encontró que el epicarpio de la variedad roja presenta mayor capacidad antioxidante (0,07 ± 0.031 mg/mL IC₅₀), el perfil fenólico arrojó datos de presencia de oleuropeína, catequina y procianidinas para ambas variedades; los ensayos de capacidad antimicrobiana mostraron que los extractos de tomate de árbol generan inhibición frente a *S. aureus* y *E. coli* con MIC de 12,195 mg/mL y MBC e 24,39 mg/mL. Concluimos que los extractos de tomate de árbol presentan compuestos fenólicos que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas como *E. coli* y *S. aureus*, lo cual se ve reflejado en su capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos que contienen.

Palabras clave: DPPH (IC₅₀), HPLC, halo de inhibición, concentración mínima inhibitoria y concentración mínima bactericida, ultrasonido, convencional.

Abstract

Currently, the search for compounds with biological activity and antimicrobial properties in native fruits has gained relevance. Therefore, this research evaluated the antimicrobial capacity of two varieties of *Solanum betaceum* Cav. (tree tomato) against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Initially, physicochemical characterization analysis was performed on fresh fruit, followed by drying to obtain powders (0.6 mm) from the three fruit areas (epicarp, mesocarp, and seeds). Ultrasound and conventional methods were then used to obtain the extracts. Subsequently, antioxidant capacity (DPPH IC₅₀), total polyphenols, phenolic profile (HPLC), and antimicrobial capacity (inhibition zone, minimum inhibitory concentration, and bactericidal activity) of the extracts were analyzed at a concentration of 48.78 mg mL⁻¹. The physicochemical results yielded acidity values of pH 3.44±0.022 and pH 3.77±0.075 in the orange and red varieties respectively, as well as °Brix of 11.4±0.5 in the red variety and 9.5±0.536 in the orange variety. Moisture content of 81.67± 0.047% was also found in the orange variety and 76.28± 0.094% in the red variety, showing an inverse relationship between moisture and soluble solids found; Regarding total polyphenols, values of 23.17 ± 0.994 mg GAE/g ss dry weight were recorded. It was also found that the epicarp of the red variety exhibits a higher antioxidant capacity (0.07 ± 0.031 mg/mLss IC₅₀). The phenolic profile revealed the presence of oleuropein, catechin, and procyanidins in both varieties. Antimicrobial capacity assays determined that tree tomato extracts inhibit *S. aureus* and *E. coli*, with a MIC of 12.195 mg/mLss and a MBC of 24.39 mg/mLss. We conclude that tree tomato extracts contain phenolic compounds that inhibit the growth of pathogenic bacteria such as *E. coli* and *S. aureus*, as reflected in their high antioxidant capacity and the phenolic compounds they contain.

Keywords: DPPH (IC₅₀), HPLC, inhibition zone, MIC, minimum bactericidal concentration, ultrasound, conventional.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El Perú es un país megadiverso con una gran riqueza en flora y fauna (Leiva et al., 2019), contribuyendo con una serie de especies que son usados como medicamentos de forma ancestral (María y Ramírez, 2021), tal es el caso del tomate de árbol al cual se le atribuye diferentes propiedades medicinales como, por ejemplo, el ser usado para controlar los niveles de glucosa, triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad en sangre (Salazar et al., 2016). A su vez, las sustancias propias de frutas como el tomate de árbol permiten alargar la vida útil de otros productos por sus propiedades antioxidante y contribuir como antimicrobiano debido a sus compuestos bioactivos que este presenta (Torres, 2012). Estas sustancias podrían ser usadas como aditivos alimentarios, por lo cual resulta importante analizar su eficacia frente a bacterias patógenas.

Asimismo, la calidad y seguridad alimentaria se ve afectada por la contaminación bacteriana (Angulo, 2020), podemos mencionar algunas bacterias como: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* comúnmente asociadas a enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) las cuales pueden proliferar y generar problemas a la salud (Rodríguez-Morales et al., 2019).

En el caso de la bacteria *E. coli*, sus cepas patógenas son consideradas como principal causa de enfermedades en el mundo generando problemas como diarreas, colitis hemorrágica y otros síndromes; proveniente de la ingesta de alimentos de fuentes contaminadas así mismo de agua (Amézquita-López et al., 2014; Berges et al., 2016); las bacterias de *E. coli*, pueden contaminar productos frescos en diferentes etapas a lo largo del proceso de la cadena de suministro de productos (Machado-Moreira et al., 2019)

Así también la bacteria *S. aureus*, es uno de los patógenos principalmente preocupantes en el mundo, causante de enfermedades gastrointestinales (Cervantes-García et al., 2014)

debido a la amplia distribución del patógeno en varios tipos de alimentos, se ha registrado su presencia en derivados lácteos y es considerado como el patógeno más peligroso después de *Salmonella* y *V. parahaemolyticus* (Kümmel et al., 2016), generando toxinas de virulencia, la enterotoxina enfermedades alérgicas graves y autoinmunes (Hu et al., 2020)

En la actualidad, el uso de aditivos alimentarios artificiales permite la inhibición de microbiota patógena, así como también minimizar la descomposición de los alimentos (Cerqueira et al., 2025) conllevando a prolongar el tiempo de vida útil (De Paiva, 2020), pero generan preocupación en el consumidor, investigaciones realizadas indican que tendrían efectos secundarios perjudiciales (Dueñas-Ruiz et al., 2023), debido a que estas podrían provocar enfermedades crónicas no transmisibles (Cajaleón, 2021), una de las medidas necesarias es la reglamentación de los mismos para ser usados con tal fin que no cause malestar inmediato al consumidor (FAO [Food and Agriculture Organization], 2023).

Ante ello, surge la importancia de buscar fuentes de origen natural, usando diferentes especies vegetales que contribuyen a darle características únicas sin ser una fuente principal de preocupación a diferentes productos, el uso de aditivos de fuentes naturales ayuda a evitar su oxidación (Valenzuela y Pérez, 2016) y así también, podrían inhibir la alteración por microorganismos patógenos en diversos productos.

La importancia de este estudio radica en determinar la capacidad antimicrobiana que tienen los extractos de dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) considerando áreas importantes propias del fruto tales como el epicarpio, mesocarpio y semillas, estas propiedades aplicadas sobre microorganismos patógenos de alimentos como son *E. coli* y *S. aureus*.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál será la capacidad antimicrobiana de los extractos de tres áreas (epicarpio, mesocarpio y semillas) de dos variedades de *Solanum betaceum* Cav (tomate de árbol) frente a *E. coli* y *S. aureus*?

1.1 Justificación

El tomate de árbol es considerado un arbusto cuyos frutos presentan buen contenido de vitaminas, antioxidantes y compuestos fenólicos, existen evidencias científicas como las realizadas por Santos y de Aquino Santana (2019) en la que evidencian que la cáscara de tomate de árbol contiene compuestos que inhiben el desarrollo de *E. coli* y *S. enteriditis*, ciertos compuestos fitoquímicos bioactivos de los extractos que resultan atractivos por sus diferentes capacidades inhibitorias de bacterias patógenas; así mismo, Diep et al. (2021) identificaron potencial inhibición microbiana frente a *E. coli* y *S. aureus*, pero resulta importante evaluar la semilla del tomate de árbol y otras variedades, ya que esto podría influir en el desarrollo antimicrobiano y el de ser utilizado como recubrimiento para prolongar la vida de los alimentos.

El registro de potenciales antioxidantes y antimicrobianos en frutos silvestres, así como sus propiedades pueden resultar de gran ayuda a la industria alimentaria siendo estos usados para tal fin en partes esenciales o en particular los extractos de estos tales como los extractos del tomate de árbol, para ello es importante tener evidencias científicas de qué partes específicas del fruto del tomate de árbol podría generar mejores beneficios antimicrobianos.

En un contexto donde la resistencia bacteriana a ciertos antibióticos sintéticos genera una amenaza global en diferentes áreas como la salud, el desarrollo y la seguridad alimentaria, se vuelve fundamental explorar fuentes naturales de compuestos antimicrobianos y el tomate de árbol como fuente productiva local ofrece una oportunidad de desarrollar nuevos productos bioactivos (OMS, 2020).

En el mundo más de un millón de toneladas de alimento se desperdician como las frutas y hortalizas que son los principales generadores de desperdicios (Coelho et al., 2023); así mismo, el uso del tomate de árbol en la venta de jugos, refrescos, entre otros productos generan residuos como la cáscara que no es valorado, al determinar sus propiedades antimicrobianas generamos una valoración de biorresiduos lo cual se le puede utilizar en diferentes alimentos como en los productos cárnicos como recubrimientos por ejemplo con el método de encapsulación o biopelículas comestibles, los cuales permite alargar el tiempo de vida útil del alimento.

Al determinar la capacidad antimicrobiana que podría presentar el tomate de árbol se genera una influencia económica importante al permitir usarlo como insumo en diferentes productos, de una manera preventiva, de gastos en temas de salud generados por bacterias patógenas como *E. coli* y *S. aureus* causantes de diferentes enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, esta investigación aportaría información fundamental para la realización de otras investigaciones en concordancia con actividades de procesos alimentarios y metodologías en extracción y determinación antimicrobiana, ya que la metodología microbiológica contribuye a reafirmar procesos microbiológicos básicos que se pueden incorporar en una planta de procesamiento y/o laboratorios de la rama de la industria alimentaria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad antimicrobiana de dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) frente a *E. coli* y *S. aureus*.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las dos variedades (anaranjada y roja) de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) y obtener los extractos del epicarpio,

mesocarpio y semillas mediante extracción por ultrasonido y método convencional.

- Analizar polifenoles totales con el método de Folin-Ciocalteu de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav.
- Determinar capacidad antioxidante con el método de radical DPPH (IC₅₀) de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav.
- Determinar perfil polifenolico con el método de HPLC de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav.
- Determinar capacidad antimicrobiana con ensayos de difusión en disco de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav. frente a *E. coli* y *S. aureus*.
- Analizar la concentración mínima inhibitoria (MIC) y concentración mínima bactericida (MBC) de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav. frente a *E. coli* y *S. aureus*.

CAPÍTULO 2.MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Diep et al. (2021) realizaron comparaciones de los perfiles volátiles de tomate de árbol cultivado en Nueva Zelanda, fresco y liofilizado, de la cáscara y pulpa liofilizadas, evaluando su efecto antibacteriano de los extractos liofilizados, aplicando metodologías de discos de difusión para determinar halos de inhibición. En sus resultados reportaron que, en comparación con el agua como control, los extractos de metanol y agua mostraron una actividad antibacteriana significativa contra *E. coli*, *P. aeruginosa* y *S. aureus* con una zona de inhibición de al menos 13,5 mm. Estos resultados conllevan que el tomate de árbol liofilizado tiene potencial para ser usado como conservante natural para mejorar aromas y alargar el tiempo de vida útil de los alimentos.

Ralte et al. (2021) realizaron investigación en Mizoram, India en composición de nutrientes fitoquímicos y minerales, propiedades antimicrobianas, potencial antioxidante e identificación de grupos funcionales de especies comestibles de Solanaceae de Mizoram. Realizó estudios de campo y recolección de muestras, todas las muestras analizadas se extrajeron mediante aparatos Soxhlet para el análisis de compuestos bioactivos. La determinación de actividad antioxidante se determinó utilizando el método de eliminación de radicales libres (DPPH, APX, CAT y SOD). El potencial antibacteriano se determinó usando métodos de difusión en pozos de agar. Los resultados se analizaron con desviación estándar media. El contenido con actividad antioxidante se analizó utilizando Graph Pad Prism versión 5. Todas las muestras analizadas mostraron actividades antibacterianas eficaces contra *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Concluyendo que estas plantas analizadas podrían ser fuentes potenciales de nuevas preparaciones fitofarmacéuticas y nutracéuticas.

Santos y de Aquino Santana (2019) evaluaron en Brasil el potencial antibacteriano de los extractos de los residuos de frutas dekopon, kiwi, arándano, chicozapote, tomate de árbol (cáscara) y noni (cáscara, semilla y mezcla de cáscara y semilla) frente a bacterias Gram positivas (*Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis* y *Staphylococcus aureus*) y Gram negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enteritidis* y *Serratia marcescens*). Los extractos de cáscara de tomate de árbol inhibieron a *Enterococcus faecalis* (extractos en etanol al 60% y 70%), *Escherichia coli* (extractos en etanol al 50-80%) y *Salmonella enteritidis* (extracto en metanol al 80%). Se determinó la concentración mínima inhibidora para tomate de árbol al 80% etanol (0,39 mg/mL) y la concentración mínima bactericida (>200 mg/mL) para las bacterias más sensibles a los extractos de residuos de frutos. En conclusión, los residuos de estas frutas exóticas, que comúnmente se desechan, mostraron un gran potencial para su uso como terapias antibacterianas naturales.

Orqueda et al. (2020) evaluaron en Argentina la efectividad de la pulpa, semilla y piel del “Tomate de árbol rojo” como ingrediente alimentario funcional para agregar valor a un recurso nativo de los Yungas argentinos para promover un uso integral sustentable del mismo. Los polvos obtenidos presentaron un bajo contenido de carbohidratos y sodio, una fuente de vitamina C, ácidos fenólicos (ácido rosmarínico y ácido cafeoilquínico), antocianinas, taninos condensados, carotenoides, potasio y fibra. Los fenólicos del polvo de chilto (tomate de árbol) mostraron, antes y después de la digestión gastroduodenal simulada, actividad antioxidante (ABTS+; H₂O₂; O₂; HO) y fueron capaces de inhibir enzimas relacionadas con el síndrome metabólico, como α -glucosidasa, α -amilasa y lipasa. Estos resultados muestran el potencial de los frutos del chilto rojo argentino como ingredientes alimentarios funcionales o suplementos dietéticos para prevenir el síndrome metabólico, principalmente por sus efectos antioxidantes, hipoglucemiantes e hipolipemiantes.

García et al. (2020), determinaron la actividad antioxidante y antimicrobiana del extracto etanólico de las partes aéreas de la especie *Solanum radicans L. f.* (huallpachaqui). El extracto se llevó a sequedad, posteriormente identificaron presencia de metabolitos secundarios mediante precipitación y/o coloración. Para determinar la actividad antioxidante se usó el método DPPH y FRAP; para la actividad antimicrobiana se determinó con el método de difusión por excavación en agar y se usaron cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Proteus mirabilis*. Como resultados mostraron actividad contra *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, llegando a la conclusión que hay una relación entre la actividad antioxidante y antimicrobiana con la presencia de metabolitos secundarios.

Belattar et al. (2022) realizaron en Argelia investigación en actividad antibacteriana de extractos metanólicos de las hojas de *Ficus carica linn.* Las pruebas antibacterianas se realizaron mediante el método de difusión en disco midiendo el diámetro de inhibición en la placa de agar Müller-Hinton usando *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia* (Gram negativas), la determinación de compuestos activos se realizó con métodos de cribado fisicoquímico. Los resultados mostraron que los extractos inhibieron el efecto bactericida, así mismo el extracto crudo de metanol fue más activo contra las bacterias gram positivas en comparación con las gram negativas. Concluyendo que del extracto metanólico estudiado se podría desarrollar antibióticos alternativos.

2.2 Bases teórico – científicas

2.2.1 Tomate de árbol

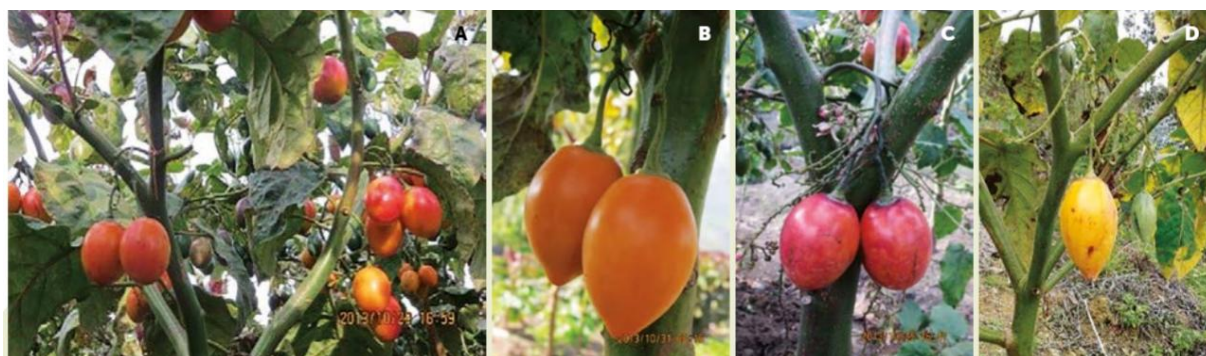
Este vegetal de producción perenne, es conocido también como tomate francés, tomate de monte, tamarillo (Meza y Manzano, 2009), o chilito (Orqueda et al., 2021). Es una especie herbaria con altura aproximada de tres a cuatro metros, contiene un tronco frágil, su corteza es delicada, es sensible a heladas porque permite que las hojas se desprendan, el fruto tiene una

forma ovoide entre cuatro y seis centímetros de longitud, el epicarpio de este fruto es lisa con colores que van desde rojo en tonalidad anaranjada y amarillo cuando está en proceso de madurez, la pulpa jugosa con su toque de acidez y numerosas semillas que le permiten propagarse aunque no solo se propaga por este medio (tallo y raíces), puede producir durante todo el año, con un periodo limite (8-10 años) (INIA, 2009).

En la fruta contiene una cáscara gruesa y con características amargas en tres tonos (amarillo, rojo y anaranjado) esto depende de la variedad y ecotipo, con un peso aproximado entre ochenta y noventa gramos (Moreno-Miranda et al., 2020). Se han registrado ecotipos como el anaranjado puntón, un rojo morado, el redondo rojo, amarillo y rojo gigante estos a altitudes que van desde los mil metros hasta los tres mil metros sobre el nivel del mar (Bohs, 1991; Bohs y Nelson, 1997; Lester y Hawkes JG, 2001). Estudios fenotípicos determinaron variedades de tomate de árbol como en Ecuador que se consideran más de 5 variedades las cuales se agruparon en amarilla, negra (primeras plantas de tomate de árbol), puntón y redonde (criollas) y una quinta la variedad roja (Ordoñez et al., 2009).

Figura 1

Ecotipos de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.)



Nota. Se presenta los ecotipos de *Solanum betaceum*, A: Forma redonda, B: Anaranjado Puntón, C: Rojo morado y D: tipo amarillo (Feicán-Mejía et al., 2016).

2.2.2 Morfología del fruto del tomate de árbol

Los frutos de tomate de árbol pertenecen a las frutas semiácidas, crecen de manera solitaria o en grupo que van desde los 3 a 12 frutos (Duarte y Paull, 2015). Se clasifica, en la

región andina, en tres tipos de tomate debido a la coloración de la piel como rojo, anaranjado, amarillo y morado (Prohens y Nuez, 2000). Según menciona Duarte y Paull (2015) algunos cultivares presentan franjas o rayas longitudinales oscuras.

Cuando la fruta está madura, esta puede llegar a medir de manera longitudinal entre 4 y 10 cm y de manera transversal entre 3 y 6 cm, asimismo puede llegar a pesar entre 30 y 160 g (Acosta-Quezada et al., 2016; Bohs, 1989; Espin et al., 2016; Vasco et al., 2009).

2.2.3 Taxonomía

En relación a investigaciones ya realizadas con respecto a esta fruta en el tema de la incorporación del género *Cyphomandra* al género *Solanum*, la clasificación taxonómica se presenta en la Tabla 1 (Bohs, 1995).

Tabla 1
Taxonomía del *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol)

| | |
|-------------|--|
| Reino | Vegetal |
| División | Fanerógamas |
| Subdivisión | Angiospermas |
| Clase | Dicotiledóneas |
| Subclase | Metaclamideas |
| Orden | Tubiflorales |
| Familia | Solanaceae |
| Género | <i>Solanum</i> (<i>Cyphomandra</i>)* |
| Especie | <i>Solanum betaceum</i> Cav. <i>(Cyphomandra betacea</i> Send)* |

Nota. Datos tomados de Bohs (1995) como se citó en León et al. (2004).

2.2.4 Composición fisicoquímica

Se presenta la composición fisicoquímica del tomate de árbol en la Tabla 2 realizada de un Pulp (mezcla) de tres ecotipos (Colombia, Brasil y China) n=23:

Tabla 2

Composición fisicoquímica del *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol)

| Parámetro | Cantidad (Pulpa sin piel ni pepas) |
|---|---------------------------------------|
| Humedad (% base fresca) | 86,1 – 87,7 |
| Proteínas crudas (% base fresca) | 4,4 – 9,61 |
| Lípidos crudos (% base fresca) | 0,1 – 0,76 |
| Ceniza (% base seca) | 0,7 – 0,96 |
| Fibras dietéticas totales (% de peso seco, hidrocoloides en puré) | 60,3 – 69,69 |
| Contenido de sólidos solubles (% base fresca) | 10,9 -12,11 |
| Acidez titulable (% base fresca) | 1,2 – 1,8 |

Nota. Datos tomados de Wang y Zhu (2020).

2.2.5 Maduración

Durante el crecimiento y maduración, los frutos presentan algunos cambios los cuales se manifiestan en la coloración, pasan de color verde a morado, rojo y ámbar, la madurez del fruto alcanza entre las 21 y 27 semanas desde la floración (Schotsmans et al., 2011).

El fruto del tomate de árbol también es considerado como un fruto no climatérico, por lo que durante la cosecha se observa que estén en un buen grado de madurez para obtener mejores características organolépticas evaluadas durante el consumo, esto relacionado con las bajas respiratorias y poca producción de etileno que presenta este fruto una vez cosechado (León et al., 2004).

2.2.6 Usos

El tomate de árbol debido a sus componentes tiene diferentes usos en la industria alimentaria y no alimentaria, se han obtenido diferentes productos tales como néctares, jaleas, mermeladas, jugos, almíbar, conservas, helados, ensaladas de frutas, dulces y en platos de carnes con sabores combinados (Feicán-Mejía et al., 2016; Meza y Manzano, 2009). Así también debido a sus propiedades del epicarpio del tomate de árbol es usado como protector contra la oxidación lipídica en carne de res cocida (Castro-Vargas et al., 2013),

2.2.7 Beneficios

La composición de las diferentes partes del tomate de árbol tales como la pulpa, semilla y piel, contiene alta proporción de antioxidantes naturales hablamos de compuestos fenólicos, ácido ascórbico y carotenoides, así también estudios demuestran que los compuestos fenólicos de los polvos o harinas de la semilla, piel y pulpa de chilito, después de la digestión contribuyen en actividad antioxidante y son capaces de inhibir enzimas relacionadas con el metabolismo (α -amilasa y lipasa), por ello se le considera como alimento funcional o suplemento dietético (Orqueda et al., 2020).

2.2.8 Compuestos fenólicos presentes en el fruto del tomate de árbol

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos provenientes de las vías secundarias de las plantas, en esto se comprende a diferentes grupos como los flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, lignanos y cumarinas (Luna-Guevara et al., 2018). Estos polifenoles contienen como mínimo un anillo aromático con grupos hidroxilo, entre sus propiedades destacan sus reacciones redox debido a sus propiedades antioxidantes (Cory et al., 2018).

Uno de los métodos más utilizados para la cuantificación de polifenoles es el método Folin-Ciocalteu, que para su cuantificación se usa reactivo colorimétrico que permite medir con espectrofotómetro según la intensidad de coloración presente; esto se basa en que los polifenoles reaccionan (pH básico) con el reactivo fenólico, dando lugar a una reactivo de color

amarillo en forma oxidante, este cuando reacciona da lugar a un color azul producto de iones fenolato provocado por la transferencia de electrones (Raposo et al., 2024).

En el tomate de árbol se han encontrado buena concentración de compuestos fenólicos totales, en 100g de muestra seca se encontró 2,4 a 6,2 g en la pulpa con el método de Folin Ciocalteu y en la piel se ha registrado 387 a 620 mg de ácido gálico equivalente por cada 100 g de peso fresco; registrando diferentes compuestos en los que destaca el ácido 3-O-cafeoilquínico, ácido deshidrodiferúlico (II), ácido rosmarínico; en el caso de antocianinas en la pulpa se ha registrado en 100 g de muestra seca 102,4 – 168,9 mg; carotenoides como el β -caroteno 2,5 mg (Wang y Zhu, 2020).

2.2.9 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es aquella inhibición de la oxidación de un sustrato debido a las cualidades de los compuestos adicionados, esto lográndolo en cantidades muy pequeñas (< 1%, esto 1-1000 mg/L), permitiendo determinar las cualidades de un alimento y evaluar su funcionalidad en diferentes proporciones (López-Alarcón y Denicola, 2013). Los oxidantes son aquellos que donan oxígeno a otros compuestos, a la liberación de estos oxígenos se le conoce como radicales libres que hace alusión a aquellos que tiene uno o más electrones no apareados (Benítez-Estrada et al., 2020), como los radicales del componente DPPH.

2.2.10 Capacidad antimicrobiana

La capacidad antimicrobiana está relacionada con la capacidad que tiene algunos compuestos como los metabolitos secundarios o fitoquímicos en conjunto con otros antimicrobianos para inhibir el crecimiento de bacterias multirresistentes (Duong et al., 2021), las frutas y plantas tropicales son de gran interés debido a la riqueza de compuestos metanólicos que contienen; por ejemplo, estudios revelan que extractos hidrometanólicos de la *Terminalia hadleyana* subsp. *Carpentariae* (C.T White) mostraron altos niveles de compuestos fenólicos

y que también actúan como antimicrobiano en bacterias como *Staphylococcus aureus* (Zhang et al., 2022), reforzando el potencial de los frutos nativos como antimicrobianos.

Algunas investigaciones confirman que los extractos de las plantas tienen fuertes propiedades antifúngicas, debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, isoflavonoides, terpenos, cetonas, alcoholes alifáticos, ácidos y aldehídos; la forma en que actúan es alterando la membrana citoplasmática, la liberación de componentes celulares y la destrucción de proteínas. Ante ello debido a que estos extractos son volátiles pueden de manera sencilla difundir y dispersarse en contacto con los microorganismos (dos Santos et al., 2023).

2.2.11 Enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS)

Las enfermedades transmitidas por los alimentos con sus siglas ETAS, son aquellos cuadros de salud perjudiciales para el ser humano ocasionado por el consumo de alimentos y también de agua contaminados con bacterias, virus o sustancias tóxicas (McLinden et al., 2014). La Organización Mundial de la Salud considera que las ETAS son la principal causa de mortalidad en el mundo y más aún en países en pleno desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2015). En el Perú existen brotes de ETAS que fueron ocasionados principalmente por *E. coli* y *Salmonella* (MINSA, 2019).

2.2.12 Bacterias patógenas en alimentos

Aquellas bacterias que tienen la capacidad de adquirir factores virulentos las cuales se convierten en peligrosas (Faleiro, 2010), una de ellas es la *E. coli* la cual puede llegar a producir toxinas perjudiciales para el ser humano como la toxina Shiga (Vélez et al., 2023).

2.2.12.1 *Escherichia coli*

Bacteria gramnegativa habita mayormente en el tracto digestivo del ser humano y también en animales de sangre caliente. Entre las variedades estudiadas son: *E. coli* enteropatógena, *E. coli* enterotoxigénica, *E. coli* enteroagregativa, *E. coli* enteroinvasiva, entre otras (Molina et al., 2023). En la actualidad se le considera a *E. coli* como un complejo,

esto debido a la amplia evidencia bioquímica y filogenética con respecto a la diversidad genómica, fenotípica y ecotípica (especificidad de hospedador o nicho). (Yu et al., 2021).

En la actualidad *E. coli* es una de las bacterias mayor estudiadas debido a su impacto en la salud y el grupo más resumido de clasificación son once patotipos, separados en dos grupos: *E. coli* patógena intestinal y *E. coli* patógena extraintestinal (Geurtsen et al., 2022).

2.2.12.2 *Staphylococcus aureus*

Es una bacteria gram positiva catalasa positiva responsable de muchas enfermedades en niños, infecciones urinarias, infecciones respiratorias, muchas de estas transmitidas por alimentos (Khamisi et al., 2022). Principalmente coloniza las fosas nasales anteriores y el tracto intestinal, son bacterias que pertenecen a la clase Bacilos la cual hace alusión a su forma de cada bacteria, así mismo su virulencia incluye neumonía, osteomielitis e infecciones en el tracto urinario. Se sabe que el *S. aureus* es resistente a diferentes fármacos incluso a la penicilina, generando gastos alarmantes en el tratamiento producto de esta bacteria (Piper et al., 2024).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 *Capacidad antimicrobiana de frutas*

Actividad inhibitoria de los extractos obtenidos de las frutas frente a bacterias patógenas.

2.3.2 *Capacidad antioxidante*

Capacidad de frutas en base a sus moléculas como los taninos que permiten neutralizar radicales conllevando a preservar la calidad de productos alimentarios.

2.3.3 *Concentración Mínima Inhibitoria (MIC)*

Para poder determinar concentraciones mínimas que pueden inhibir el crecimiento microbiano se utiliza el método de MIC la cual es la concentración más baja en ug/mL

2.3.4 *Diámetro de inhibición*

Parámetro medible en base a su diámetro de poder de extractos en forma de halo para inhibir el desarrollo normal de bacterias patógenas.

2.3.5 *Difusión en disco*

Este es un método muy utilizado en análisis de microbiología en donde mediante el uso de discos de papel filtro se determina la sensibilidad de los microorganismos a los antimicrobianos como los extractos mediante una determinada cantidad de estos añadidos al disco.

2.3.6 *Escala McFarland*

Estándar que permite medir la turbidez de una suspensión de bacterias, lo cual indica que se está trabajando con la concentración adecuada de microorganismos.

2.3.7 *Extracto de frutas*

Sustancia concentrada obtenida de la fruta con la ayuda de solventes o métodos de extracción, la cual contiene compuestos bioactivos.

2.3.8 *Epicarpio de tomate de árbol*

El epicarpio del tomate de árbol es la piel que envuelve el fruto también denominada cáscara, esta es la parte externa de la fruta la cual ofrece no solo resistencia si no también protección, en el tomate de árbol existen diferentes variedades manifestadas a simple vista por el epicarpio en coloraciones rojo y anaranjado.

2.3.9 *Inhibir el desarrollo microbiológico*

Capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias mediante el uso de compuestos obtenidos de los extractos de las frutas.

2.3.10 Mesocarpio de tomate de árbol

El mesocarpio del tomate de árbol es la capa comprendida entre el epicarpio o piel del fruto y el endocarpio que es la capa que envuelve a la semilla, también se le conoce como pulpa esta parte contiene los compuestos mayoritarios de la fruta.

2.3.11 Patógeno alimentario

Microorganismos que causan daño al consumidor en su salud provenientes de malas prácticas de manipulación de alimentos tales como *E. coli* y *S. aureus*.

2.3.12 Semillas de tomate de árbol

Son las estructuras internas más pequeñas de la fruta de tomate de árbol, estas son fundamentales en la reproducción de las plantas y contienen diferentes compuestos de importancia.

2.3.13 Ultrasonido

Tecnología que permite realizar la obtención de extractos de una manera sostenible, trabajando con determinadas longitudes de onda que interactúan de manera más específica con las partículas de la muestra estudiada.

2.3.14 Unidades formadoras de colonia (UFC)

Este término de microbiología nos permite ser un indicador de densidades microbianas, representando la cantidad de microorganismos vivos en un determinado cultivo, el cual está determinado por el número de colonias viables.

2.4 Hipótesis

H0: Los extractos de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) de las variedades anaranjada y roja, no inhiben el desarrollo microbiano frente a *E. coli* y *S. aureus*.

H1: Los extractos de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) de las variedades anaranjada y roja, presentan inhibición microbiana frente a *E. coli* y *S. aureus*.

2.5 Operacionalización de variables

A continuación, en la tabla 3 se presentan las variables, tanto independientes como dependientes.

Tabla 3
Operacionalización de variables

| Variables | | Definición conceptual | Dimensiones | Iniciadores | Instrumentos |
|-----------------------|---------------------------------|--|--|--|--|
| Independientes | 2 variedades de tomate de árbol | Dos cultivares de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), diferenciadas por la coloración de su cáscara. | - Variedad anaranjada - Variedad roja | Coloración de la cáscara: Roja o anaranjada | Visual y rotulado |
| | 3 áreas del tomate de árbol | Áreas diferenciadas de la fruta de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.). | - Epicarpio - Mesocarpio - Semillas | Separación de las áreas del tomate de árbol | Cuchillo manual |
| | 2 métodos de extracción | Procedimientos de obtención de extractos para el consiguiente análisis de componentes bioactivos de las áreas importantes del tomate de árbol. | - Método convencional por maceración - Método de extracción por ultrasonido | Codificación según el método empleado | Baño ultrasónico, agitador, centrífuga y solventes de etanol y metanol |
| | 2 especies bacterianas | Microorganismos utilizados para analizar la capacidad antimicrobiana. | - <i>E. coli</i> - <i>S. aureus</i> | Laboratorio clínico (<i>E. coli</i>) y aislado de leche (<i>S. aureus</i>) | Banco de cepas del Laboratorio de Microbiología |

| | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|--|---|--|---|
| Dependientes | Características fisicoquímicas | Propiedades y composición de la fruta de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.). | <ul style="list-style-type: none"> - pH - Sólidos solubles totales (°Brix) - Acidez titulable - Índice de madurez - Humedad - Cenizas | Valores obtenidos | <ul style="list-style-type: none"> - pH-metro - Refractómetro - Equipo de titulación - Secador de bandejas - Mufla |
| | Capacidad antioxidante | Capacidad de evitar la oxidación de ciertas partículas en un sustrato | % de inhibición IC 50 | Fórmula aplicada y espectrofotometría | Curva de DPPH |
| | Polifenoles totales | Componentes de la fruta de tomate de árbol | 760 nm en espectrofotómetro | Coloración después de 30 minutos de reacción. | Curva de calibración. |
| | Perfil fenólico | Identificación de principales componentes propios de la fruta de tomate de árbol | Partes por millón (ppm) | Compuestos importantes | Método estandarizado |
| | Capacidad antimicrobiana | Inhibición microbiana de <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Y concentración mínima inhibitoria (MIC)</i> | Diámetro de inhibición Y Concentración mínima inhibitoria (MIC) y mínima bactericida (MBC). | <ul style="list-style-type: none"> - <i>E. coli</i> - <i>S. aureus</i> | Análisis de inhibición de sensibilidad (mm) Análisis de MIC y MBC mg/mL |

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de investigación

El presente estudio de investigación es de tipo básica ya que está encaminado a la determinación de propiedades antimicrobianas que contiene el fruto de tomate de árbol, sin embargo, la proyección de los hallazgos fueron relevantes para futuras aplicaciones (Hernández et al., 2014).

De nivel descriptiva comparativo, ya que se pretende encaminar el alcance a las propiedades propias que contiene el fruto de tomate de árbol en sus dos variedades (roja y anaranjada) y tipos de extracción, ante la inhibición microbiana (Osada y Salvador-Carrillo, 2021).

3.2 Diseño de investigación

El presente estudio se centró en el siguiente diseño experimental según figura 2: en un primer momento composición fisicoquímica de la fruta del tomate de árbol, luego la obtención de los extractos utilizando tecnología de ultrasonido y método convencional, en un segundo momento se realizó la determinación de polifenoles totales y perfil fenólico con método de HPLC; así mismo, se analizó propiedades funcionales trabajando halo de inhibición, el efecto inhibitorio sobre bacterias patógenas, la concentración mínima inhibitoria (MIC), concentración mínima bactericida (MBC) frente a bacterias patógenas de *E. coli* y *S. aureus*.

Se considerará un diseño experimental factorial $2 \times 3 \times 2 = 12$ tratamientos; se cuenta con tres variables independientes (2 variedades, 3 partes de la fruta y 2 métodos de extracción) y cuatro variables dependientes (capacidad antioxidante, polifenoles totales, perfil fenólico y capacidad antimicrobiana (halo de inhibición, MIC y MBC) con dos bacterias como unidades de prueba (*E. coli* y *S. aureus*) y en la tabla 4 se indican las cepas utilizadas.

Figura 2

Diagrama experimental de la investigación

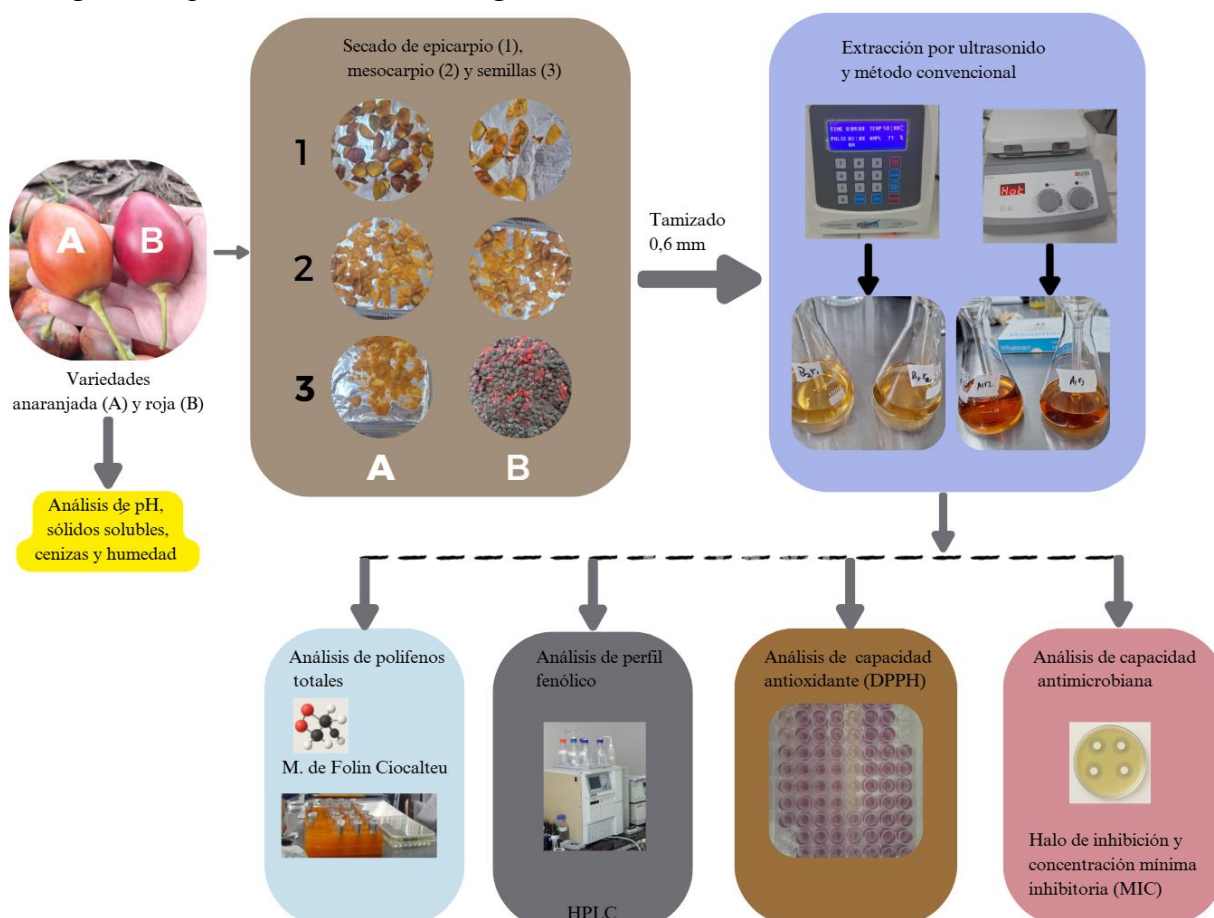


Tabla 4

Bacterias patógenas (*E. coli* y *S. aureus*) con las que se trabajó en la presente investigación de capacidad antimicrobiana.

| Cepa | Código de identificación |
|------------------------------|--------------------------|
| <i>Staphylococcus aureus</i> | LE1A |
| <i>Escherichia coli</i> | INCQS 00310 |

Nota: *S. aureus* (bacteria aislada salvaje), *E. coli* (cepa clínica)

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 *Recolección del tomate de árbol*

Las frutas de tomate de árbol de la variedad anaranjada y roja siguieron el tratamiento estipulado por Chen et al. (2024) con algunas modificaciones, se recolectaron las frutas de tomate de árbol de las dos variedades entre 20 y 23 semanas después de la antesis, las plantaciones tenían un periodo de vida de 2 años. Las frutas fueron colocadas en cajas dispuestas con gel de refrigeración permitiendo realizar el transporte (30 min) al laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas de la UNACH, para su análisis a una temperatura de 4 °C - 6 °C.

3.3.2 *Análisis fisicoquímicos del tomate de árbol fresco*

Para los análisis fisicoquímicos se siguieron las siguientes metodologías.

3.3.2.1 Determinación del pH

Se determinó medida directa con el equipo potenciómetro (APERA instruments PC60) AOAC 981.12 (2005), para ello se calibró previamente el equipo, luego se trituró y se obtuvo el zumo de tres frutas de las dos variedades (anaranjada y roja) con la ayuda de papel filtro, luego se tomó una muestra de 20 mL y se analizó el pH de cada variedad.

3.3.2.2 Sólidos solubles totales (°Brix)

Para ello se aplicó el método AOAC 932.12 (2005) utilizando el equipo refractómetro (HANNA H196801), para ello se trituró y se obtuvo el zumo de tres frutas de las dos variedades (anaranjada y roja) con la ayuda de papel filtro, luego se tomó una muestra con un cuenta gotas para incorporarlo al equipo y determinar los grados Brix.

3.3.2.3 Acidez titulable

Se determinó mediante titulación visual con Hidróxido de sodio (NaOH 0,1 N) y como referencia el método AOAC 942.15 (2005). Para ello se aplicó relación de 1 mL de zumo de fruta y 9 mL de agua destilada, se adicionó 0,5 mL de fenolftaleína al 0,5% y se añadió el

NaOH como solución titulante. Se observó la coloración levemente rosada (30 s) para finalizar la titulación. Así mismo, se tomó el gasto de NaOH, y la acidez se calculó en función al ácido cítrico, los cálculos se realizaron con la ecuación 1.

$$\% \text{ de acidez} = \frac{N * Meq * V}{P} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

N= Normalidad del NaOH.

Meq= Peso equivalente del ácido cítrico 0,064 g.

V = Cantidad en mL de hidróxido de sodio usado.

P= peso en gramos de la muestra.

3.3.2.4 Índice de madurez:

Para ello se determinó por medio de la división de los grados °Brix y cantidad de acidez según la Norma Técnica Colombiana, NTC-4580, los cálculos se realizaron con la Ecuación 2:

$$\text{Índice de madurez} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{Acidez titulable}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

3.3.2.5 Humedad:

Se determinó siguiendo el método de Fathordoobady et al. (2016) con algunas modificaciones, esto se realizó durante el proceso de secado (3.3.3) el cual consistió en secar en deshidratador a 40 °C a tiempos de 24 y 48 h hasta obtener pesos constantes para cada una de las partes de las dos variedades. Se realizaron pesadas cada 30 minutos las primeras 3 horas, luego cada hora las 3 horas siguientes y luego cada 30 minutos a las 12, 24 y 48 h, los cálculos se realizaron aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{ph-ps}{ph} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Para la verificación de peso y posteriores cálculos de capacidad antioxidante y polifenoles se analizó la humedad mediante infrarrojo con el equipo de humedad en infrarrojo

(AND MX-50 Moisture Analyzer) para ello se usó 1 g de muestra en polvo de cada parte en estudio y se dio lectura en el equipo, luego de 20 minutos se anotaron los datos de humedad.

3.3.2.6 Cenizas:

Para determinar las cenizas se siguió lo estipulado por Vargas y Vargas et al. (2019) y teniendo como referencia el método 923.03 de la AOAC. Primero se secaron previamente los crisoles a 105°C por 40 minutos, posteriormente retiramos y colocamos en el desecador hasta que llegue a temperatura ambiente; luego se calcina/incinera la muestra de 5 g de cada variedad a 550 °C por 2 horas en el horno mufla (Nabertherm GmbH) y se calcula el residuo de incineración por diferencia de peso según la Ecuación 4.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{\text{peso de cenizas (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

3.3.3 Secado de las áreas del tomate de árbol

Las frutas fueron lavadas y escurridas, luego se separaron las partes de estudio de la fruta (epicarpio, mesocarpio y semillas) con cuchillo manual y una cuchara, y luego fueron fraccionadas para facilitar el secado. Cada parte de la fruta fue secada por separado a una temperatura de 40±2°C para evitar la liberación de componentes con circulación de aire durante 24 h (epicarpio y semillas) y 48 h (mesocarpio). Finalmente, las partes de la fruta seca fueron pulverizadas y tamizadas (tamaño de partícula > 0,6 mm). Al finalizar se clasificaron y almacenaron a -18 °C en bolsas de abrefácil de poliestireno, aluminio y poliestireno para su posterior análisis (Fathordoobady et al., 2016).

3.3.4 Obtención de extractos asistida por ultrasonido

Los extractos asistidos por ultrasonido (EAU) se realizó mediante la metodología optimizada descrita por Rohilla et al. (2022) con algunas modificaciones, se utilizaron 4 g de muestra en polvo de cada variedad (y de cada área), se mezclaron con 100 mL de codisolvente (solución etanol y agua 1:1); los parámetros para el equipo de ultrasonido (OPTIC ivymen^R system CY-500) fueron: 20 min, 50 °C, 70% de amplitud de 20 kHz frecuencia y de

1 pulso/min. Las muestras se transfirieron a tubos falcon de 50 mL y se llevó a centrifugación a 4000 rpm por 10 minutos a 4°C, el sobrenadante se filtró y se enrazó a 82 mL y se guardó en envases ámbar a temperatura de congelación hasta su próximo análisis. Los análisis se realizaron por triplicado.

3.3.5 Obtención de extractos por el método convencional

Para preparar los extractos por el método convencional, se aplicó el estipulado por Diep et al. (2021), con algunas modificaciones. se utilizaron 4 g de muestra en polvo de cada variedad (y de cada área), se mezclaron con 100 mL de metanol (60%), cada uno de los tratamientos se colocaron en agitación en cocinas magnéticas a temperatura ambiente durante 30 minutos. Las muestras se transfirieron a tubos falcon de 50 mL y se llevó a centrifugación a 4000 rpm por 10 minutos a 4°C, el sobrenadante se filtró y se enrazó a 82 mL y se guardó en envases ámbar a temperatura de congelación hasta su próximo análisis. Los análisis se realizaron por triplicado.

La concentración inicial se calculó teóricamente a partir de la masa seca de la muestra dividida con el volumen final del disolvente, y es la misma para ambos métodos de extracción (maceración convencional y ultrasonido). Este valor se estableció como condición experimental fija y se utilizó únicamente para la preparación de las diluciones, la cual fue de 48,78 mg mL⁻¹. A partir de esta concentración se realizaron las demás concentraciones para los siguientes análisis.

3.3.6 Determinación de contenido de polifenoles

Se siguió la metodología estipulada por Magalhães et al. (2010) con algunas modificaciones, se realizó previamente la curva de calibración con la preparación de reactivos de ácido gálico 0,0020 g aforado en 50 mL de agua miliQ luego se realizaron las diluciones de 0,2 a 0,8 mg/mL; para la realización de las absorbancias de los extractos se preparó NaOH 0,30 M y Folin 2N, así mismo se tomó una muestra de extracto el cual fue diluido (1/30 para cáscara,

1/25 para pulpa y semilla) en agua MiliQ. Luego se agregó en microplaca, 70 uL de muestra diluida, se adicionó 70 uL de Folin, teniendo como blancos el solvente de extracción, se dejó incubar por 2 minutos a temperatura ambiente, luego se agregó 140 uL de NaOH 0,3 M y se dejó en incubación a temperatura ambiente por 10 minutos para su posterior lectura de absorbancias a 760 nm en el equipo BioTek Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader. Los resultados se expresaron como mg equivalente a ácido gálico por gramo de sólido seco (mgEAG/gss). Se realizó por triplicado y para ambos métodos de extracción.

3.3.7 Determinación capacidad antioxidante con la metodología de eliminación de radicales DPPH

Se siguió la metodología descrita por Fathordoobady et al. (2016) y un método adaptado por Ali Hassan y Abu Bakar (2013) con algunas modificaciones se utilizó una alícuota de 50 uL de cada extracto y 250 uL de solución metanólica de 50,7 uM de 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). Se utilizó etanol (50%) y metanol (60%) como blanco (según cada método de extracción) y la solución de DPPH sin muestra como prueba control negativo (250 uL de DPPH + 50 uL de soluciones etanólica y metanólica según el método de extracción). Se realizó diluciones a los extractos para encontrar tres puntos en la curva para determinar el porcentaje de inhibición (ecuación 5) y el posterior cálculo de IC₅₀ (ecuación 6). Posteriormente, se midió la absorbancia de las soluciones a 517 nm mediante el uso del equipo BioTek Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

$$\%I = \left(1 - \frac{\text{Absorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia del control negativo}}\right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$IC_{50} = \left(\frac{50-b}{a}\right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

a y b resultan de la ecuación de la recta ($y = ax + b$)

3.3.8 Determinación de perfil fenólico de los extractos de tomate de árbol

El perfil de polifenoles se determinó utilizando el método sugerido por Huaman-Castilla et al. (2019) con algunas modificaciones. Primero, se utilizó un cartucho C18 (Thermo Scientific, EE. UU.) para purificar 5 mL de extracto. Luego, se inyectaron 2 μ L de esta muestra en UPLC-MS (Dionex Ultimate 3000 con Detector MS Orbitrap Exactive plus, Thermofisher, Massachusetts, EE. UU.) equipado con una columna de fase reversa Acquity UPLC BEH C18 (1,7 μ m x 2,1 x 100 mm). Las condiciones del proceso se establecieron con un caudal de 0,3 mL/min a 30 °C. Luego, se prepararon dos fases móviles, A y B, con acetonitrilo y ácido fórmico (0,1 %, v/v) y agua y ácido fórmico (0,1 %, v/v), respectivamente. Para la elución, se utilizó 95 % (v/v) de A y 5 % (v/v) de B durante 15 min; posteriormente, se utilizó una nueva mezcla de 60 % (v/v) A y 40 % (v/v) B durante 18 min. Mientras tanto, se utilizó 95 % (v/v) A y 5 % (v/v) B durante 20 minutos para regenerar la columna. Previamente, se determinaron las curvas de calibración utilizando soluciones estándar en las mismas condiciones. Los resultados se expresaron en partes por millón (ppm).

3.3.9 Determinación de capacidad antimicrobiana

Para determinación de la actividad antimicrobiana se utilizó el método de difusión en disco, mediante la metodología descrito por Santos y Aquino Santana (2019) se prepararon suspensiones de bacterias a una concentración de $1,5 \times 10^8$ por ml utilizando el estándar 0,5 del tubo Mcfarland. Con la ayuda de un hisopo, las baterías se sembraron en agar Mueller-Hinton (20mL). Se colocaron discos de papel de filtro estériles (6mm) con 10 μ L de cada uno de los extractos sobre la superficie del agar utilizando pinzas estériles. Luego, las placas se incubaron a 35 °C durante 24 h, usando agua destilada como blanco. Luego de la incubación, se midió el diámetro (en mm) de la zona de inhibición (ZI), incluido el diámetro del disco, con un calibrador Vernier. La sensibilidad de las bacterias a los extractos se clasificó como se describe previamente en Ponce et al. (2003) donde: no sensible (diámetro <8 mm), sensible (diámetros

entre 9 y 14 mm), muy sensible (diámetros entre 15 y 19 mm) y extremadamente sensible (diámetros > 20 mm). Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como diámetro medio (mm)

3.3.10 Determinación de concentración mínima inhibitoria (MIC) y concentración mínima bactericida (MBC)

Para el análisis de MIC los extractos se prepararon en una serie de diluciones, comenzando con 48,78 mg/mL y terminando con 6,1 mg/mL. Los cultivos bacterianos obtenidos a partir de cultivos en caldo BHI de 24 h de incubación se ajustaron a una turbidez estándar de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL en la escala de McFarland y se diluyeron a $1,5 \times 10^6$ UFC/ml en caldo Mueller-Hinton. Cada Extracto (100 uL) se colocó en una microplaca de 96 pocillos y se añadieron 100 uL de cada cepa bacteriana. Luego, las microplacas fueron incubadas aeróbicamente durante 24 h a 37°C. La MIC se definió como la concentración más baja de extracto necesaria para evitar el crecimiento bacteriano visible. Se utilizaron solo caldo Muller-Hinton y solo suspensión bacteriana como controles negativos y positivos, respectivamente. Aquellos pocillos negativos, es decir que no presentaron características de crecimiento microbiano (turbidez) se sembraron en agar VRBD (*E. coli*) y Baird Parker (*S. aureus*) para evaluar la MBC.

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1 Población

Como muestra, se trabajó con 20 kg de frutos de *Solanum betaceum* Cav. (Tomate de árbol) de la variedades roja y anaranjada con estado de madurez de 22 semanas después de la antesis (floración de la planta), frutos que fueron obtenidos de la comunidad de Pingobamba Doñana, del distrito y provincia de Chota, región Cajamarca.

Figura 3

Punto de recolección de muestras de tomate de árbol



3.4.2 *Muestra*

El volumen de extracto necesario es 100 mL para cada uno de los análisis de capacidad antioxidante y antimicrobiana realizados por triplicado.

3.4.3 *Muestreo*

Se realizó un muestreo por conveniencia de selección al azar.

3.5 **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

3.5.1 *Técnicas de recolección de datos*

La recolección de los datos que se presentan en esta investigación se realizó a partir de datos cuantitativos tomados de los ensayos experimentales controlados que se realizaron para poder evaluar: capacidad antioxidante (DPPH), polifenoles totales, perfil fenólico y capacidad antimicrobiana (halo de inhibición, MIC, MBC) de los respectivos extractos de tomate de árbol.

| Aplicado a | Recolección de datos |
|--|--|
| Dos variedades de fruta de tomate de árbol (Roja y Anaranjada) | pH, acidez titulable, índice de madurez, cenizas, humedad. |

Extractos obtenidos por método convencional y por ultrasonido Capacidad antioxidante, polifenoles totales, perfil fenólico, capacidad antimicrobiana

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

La realización de los diferentes análisis se llevó a cabo en tres laboratorios: en el laboratorio de Biotecnología y Microbiología Agroindustrial, Laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas y el Laboratorio de Análisis y Control de Calidad de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial – campus Colpa Huacaris - UNACH. Así mismo, la obtención de los extractos, análisis de perfil polifenólico, capacidad antioxidante y polifenoles totales se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua (UNAM)

Los diferentes instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos fueron:

- Cuaderno de laboratorio.
- Laptop.
- Lapiceros.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La recolección de los datos se realizó en hojas de cálculo del software Microsoft Excel, para los análisis de los datos se utilizó el programa R en el cual se realizaron los análisis estadísticos y la presentación de tablas y gráficas en promedios \pm desviación estándar, todos los datos se consideró una varianza significativa ($p < 0,05$) en los análisis de ANOVA y Tukey (95% de confianza) previo análisis de supuestos estadísticos (normalidad y homocedasticidad).

3.7 Aspectos éticos

Todo el desarrollo de la investigación se realizó respetando el código de ética estipulados en la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

CAPÍTULO 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de resultados

4.1.1 Resultados de análisis fisicoquímico

Se muestran los resultados del análisis fisicoquímico en la Tabla 5 realizado a los frutos de tomate de árbol en fresco de las variedades anaranjada y roja; se observa un valor de pH de $3,44 \pm 0,022$ en la variedad anaranjada y de la variedad roja un valor de $3,77 \pm 0,075$. Con respecto a la acidez titulable, se observa que la variedad roja ($1,24 \pm 0,06$) tiene menor acidez en relación con la variedad anaranjada ($1,68 \pm 0,169$).

Mientras que los sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) se observa que la variedad roja ($11,4 \pm 0,5$) presenta un mayor valor en comparación con la variedad anaranjada ($9,5 \pm 0,536$); ambas variedades presentaron índice de madurez aceptable para el consumo en estado maduro la variedad anaranjada ($7,68 \pm 0,257$) y la variedad roja ($6,86 \pm 0,657$); en relación al contenido de cenizas la variedad roja ($3,32 \pm 0,894$ %) presentó mayor contenido en relación a la variedad anaranjada ($2,76 \pm 0,298$ %) y con respecto a la humedad la que presentó mayor contenido es la variedad anaranjada ($81,67 \pm 0,047$ %) y la que presentó menor contenido de humedad fue la variedad roja ($76,28 \pm 0,094$ %).

Tabla 5

Resultados de análisis fisicoquímico del fruto del tomate de árbol

| Componentes | Var. Anaranjada | Var. Roja |
|---|-------------------|-------------------|
| pH | $3,44 \pm 0,022$ | $3,77 \pm 0,075$ |
| Acidez titulable (%) | $1,68 \pm 0,169$ | $1,24 \pm 0,06$ |
| Sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) | $9,5 \pm 0,536$ | $11,4 \pm 0,5$ |
| Índice de madurez | $7,68 \pm 0,257$ | $6,86 \pm 0,657$ |
| Cenizas (%) | $2,76 \pm 0,298$ | $3,32 \pm 0,894$ |
| Humedad (%) | $81,67 \pm 0,047$ | $76,28 \pm 0,094$ |

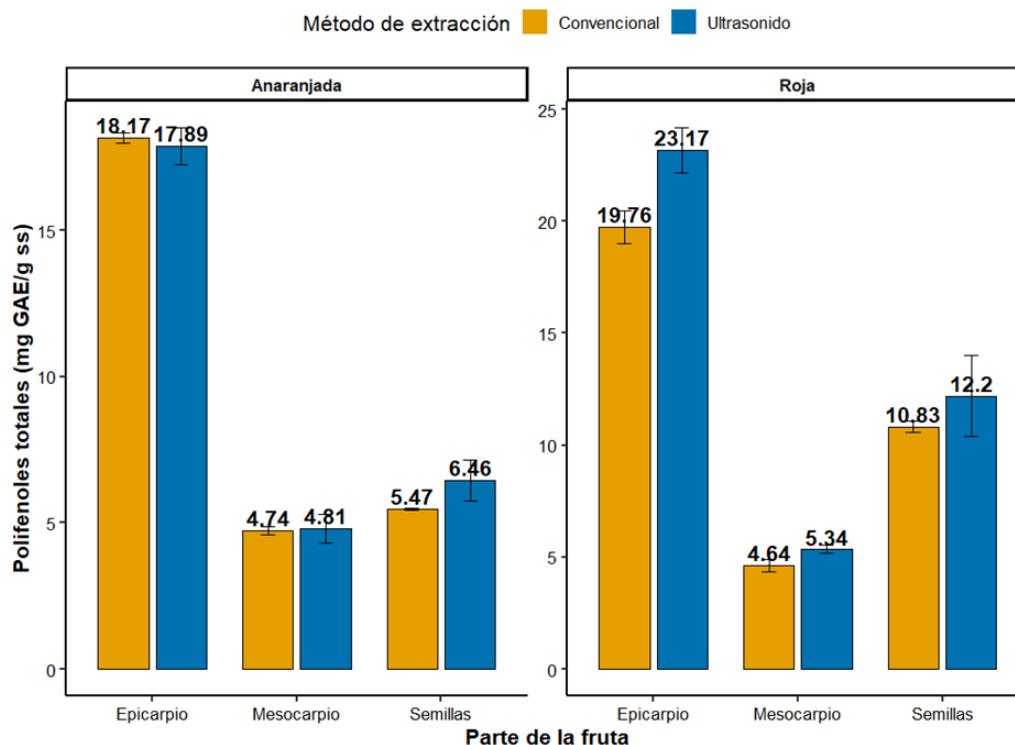
Nota. Se muestran en la tabla 5 los resultados de análisis fisicoquímico \pm desviación de estándar.

4.1.2 Resultados de la determinación de polifenoles totales

Se pueden apreciar los resultados obtenidos del contenido de polifenoles de la variedad anaranjada según la Figura 4, en el caso de los extractos obtenidos por el método convencional en el epicarpio se registró mayor concentración de polifenoles ($18,17 \pm 0,171$ mg GAE/g ss), asimismo, los obtenidos por el método de ultrasonido ($17,89 \pm 0,618$ mg GAE/g ss). Las semillas presentaron concentración de polifenoles para ambos métodos de obtención de extractos de $5,47 \pm 0,044$ mg GAE/g ss (convencional) y $6,46 \pm 0,698$ mg GAE/g ss (ultrasonido) respectivamente. Los que presentaron menor concentración fueron en el mesocarpio del tomate de árbol de la misma variedad, obtenidos por el método convencional ($4,74 \pm 0,140$ mg GAE/g ss) y ultrasonido ($4,81 \pm 0,491$ mg GAE/g ss).

Así mismo, para la variedad roja se observa que los extractos de epicarpio obtenidos por el método convencional presentaron menor concentración de polifenoles ($19,76 \pm 0,735$ mg GAE/g ss) en relación con los obtenidos con el método de ultrasonido que registró mayor concentración ($23,17 \pm 0,994$ mg GAE/g ss). Las semillas presentaron concentración de polifenoles tanto convencional como ultrasonido de $12,2 \pm 1,793$ mg GAE/g ss y $10,83 \pm 0,274$ mg GAE/g ss respectivamente. En contraste con los extractos de mesocarpio obtenidos por el método convencional ($4,64 \pm 0,284$ mg GAE/g ss) en relación con los obtenidos por el método de ultrasonido ($5,34 \pm 0,186$ mg GAE/g ss).

Figura 4
Polifenoles totales de extractos de tomate de árbol



4.1.3 Resultados de capacidad antioxidante (DPPH)

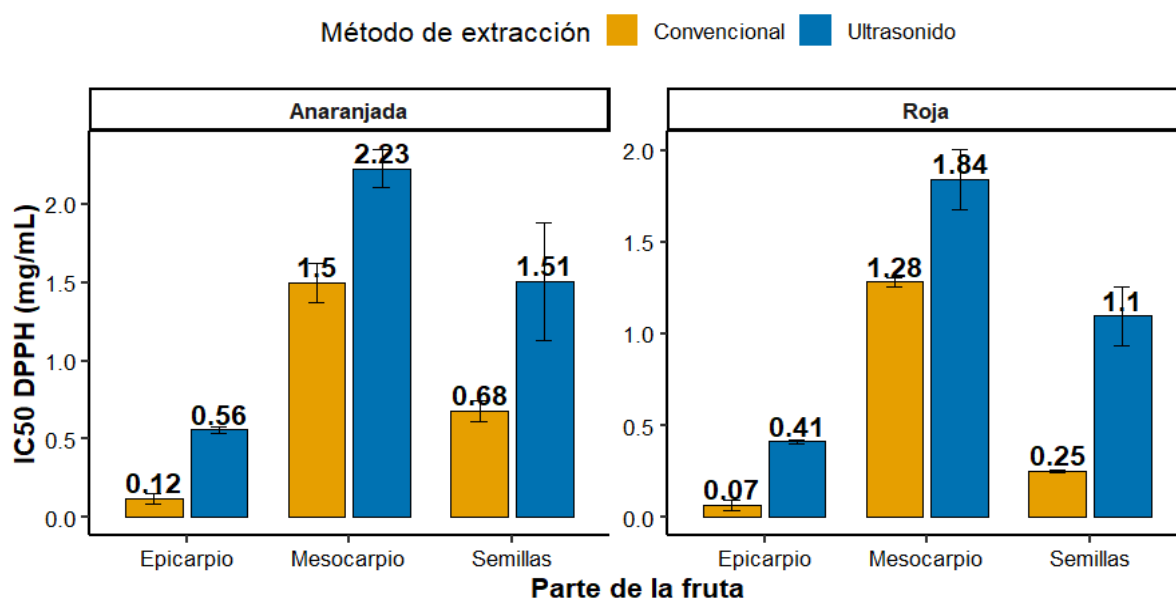
Se presenta los resultados en la Figura 5 de capacidad antioxidante analizados con el método de radical libre 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) presentados en IC_{50} , se observa que los extractos del epicarpio de la variedad anaranjada obtenidos con el método de extracción convencional presentaron mayor capacidad antioxidante al presentar un IC_{50} de $0,12 \pm 0,032$ mg/mL y se observa que el método de ultrasonido presenta un IC_{50} de $0,56 \pm 0,017$ mg/mL. El mesocarpio es el que presenta menos capacidad antioxidante que las demás partes, presentando para el método convencional en IC_{50} de $1,5 \pm 0,125$ mg/mL y del mismo modo el método ultrasonido un IC_{50} de $2,23 \pm 0,123$ mg/mL. Las semillas presentaron un IC_{50} para el método convencional de $0,68 \pm 0,070$ mg/mL y por el método de ultrasonido de $1,51 \pm 0,377$ mg/mL.

Asimismo, se presenta la capacidad antioxidante en IC_{50} de los extractos del tomate de árbol de la variedad roja, en la cual se observa que el epicarpio presenta mayor capacidad antioxidante que las otras partes, para el método convencional presenta un IC_{50} de $0,07 \pm 0,031$

mg/mL, y el método de ultrasonido, $0,41 \pm 0,012$ mg/mL. El mesocarpio presenta capacidad antioxidante de IC_{50} de $1,28 \pm 0,024$ mg/mL en el método convencional y de $1,84 \pm 0,163$ mg/mL los extractos obtenidos con el método de ultrasonido. Así mismo, se observa que las semillas presentan un IC_{50} del método convencional de 0,25 y del método de ultrasonido de $1,1 \pm 0,16$ mg/mL.

Figura 5

Capacidad antioxidante IC_{50} DPPH de los extractos de tomate de árbol



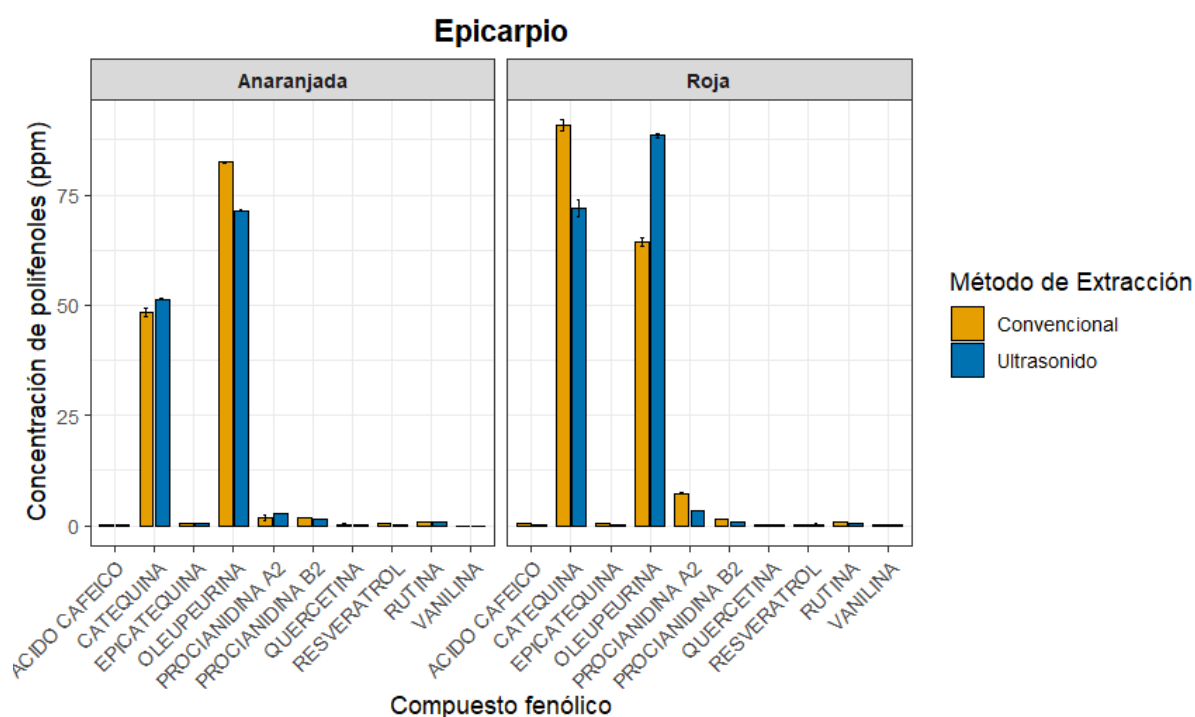
4.1.4 Resultados de perfil fenólico

A continuación, se expresan los resultados del perfil de polifenoles, se han encontrado 10 compuestos fenólicos, donde se observa que los componentes principales encontrados en mayor cantidad son la catequina y oleuropeína, estos registrados en la variedad anaranjada y roja. En la Figura 6 se observa el perfil de polifenoles para la parte del epicarpio del tomate de árbol. Para la variedad anaranjada de los extractos obtenidos por el método convencional se observa un contenido en catequina de 48,362 ppm; asimismo, y datos similares para los extractos obtenidos por el método de ultrasonido se presentaron 51,41 ppm.

Por otro lado, la variedad roja presentó contenido de catequina más alto para los extractos del método convencional de 90,738 ppm y para el método de ultrasonido de 72,075 ppm.

Por otra parte, en la Figura 6 se observa principalmente presencia de oleuropeína destacando en la variedad roja extraído por método de ultrasonido (88,463 ppm), y datos similares en relación a los extractos del método convencional (64,243 ppm), por otro lado, la variedad anaranjada también presento oleopurina en donde el método convencional presentó mayor concentración (82,513 ppm) en relación con el método de ultrasonido (71,478 ppm).

Figura 6
Perfil fenólico del epicarpio del tomate de árbol



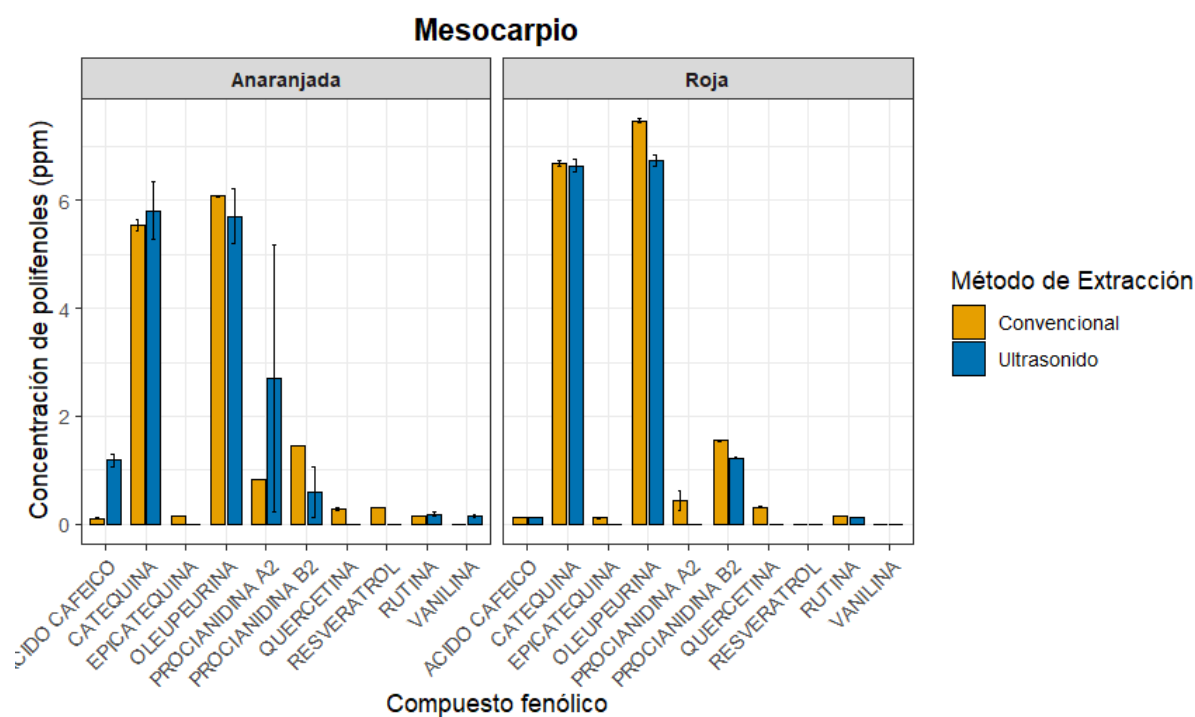
Además, se presentan los resultados en la Figura 7 de perfil de polifenoles de mesocarpio o pulpa que se ha registrado para la variedades anaranjada y roja de tomate de árbol, observamos que la variedad roja presentó mayor concentración de oleuropeína tanto método convencional (7,477 ppm) como los obtenidos por ultrasonido (6,737 ppm), así mismo

se encuentran muy buena concentración de catequina en un incremento relacionado tanto del método convencional (6,693 ppm) como el método de ultrasonido (6,643 ppm).

Conjuntamente, se observan los principales polifenoles registrados para la variedad anaranjada, destacando la presencia de oleuropeína extraída por el método convencional (6,078 ppm) y ultrasonido (5,709 ppm), así como la presencia de catequina de los extractos del método de ultrasonido (5,815 ppm) y convencional (5,537 ppm). También destacan la presencia de otros compuestos polifenólicos como procianidina y ácido cafeico.

Figura 7

Perfil fenólico de mesocarpio de tomate de árbol

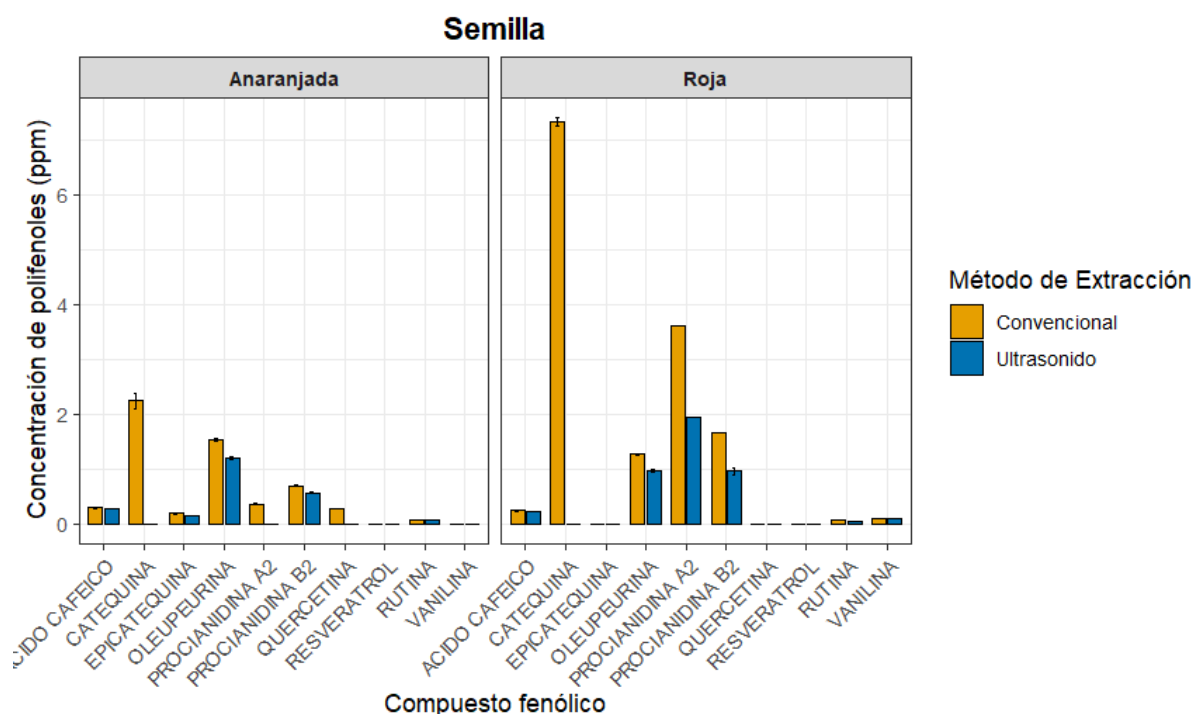


Se presentan en la Figura 8, el contenido de polifenoles que se han registrado en la parte de la semilla de las dos variedades de tomate de árbol, en donde la semilla de la variedad roja presentó mayor contenido de catequina obtenido por el método convencional (7,314 ppm), así mismo se observa presencia de procianidina A2 en donde destaca el contenido obtenido por el método convencional (3,599 ppm) que el método de ultrasonido (1,939 ppm). Así mismo destacan componentes como oleuropeína extraídos por el método convencional (1,261 ppm) y por el método de ultrasonido (0,965 ppm).

En la Figura 8 se presentan el contenido de polifenoles para la semilla de la variedad anaranjada, se registró contenido de catequina en los extractos obtenidos por método convencional (2,238 ppm), así también se ha registrado presencia de oleupeurina en el método convencional (1,537 ppm) y ultrasonido (1,195 ppm), y se ha encontrado concentración de procianidina B2 tanto en el método convencional (0,693 ppm) como del método de ultrasonido (0,556 ppm).

Figura 8

Perfil fenólico de semillas de tomate de árbol



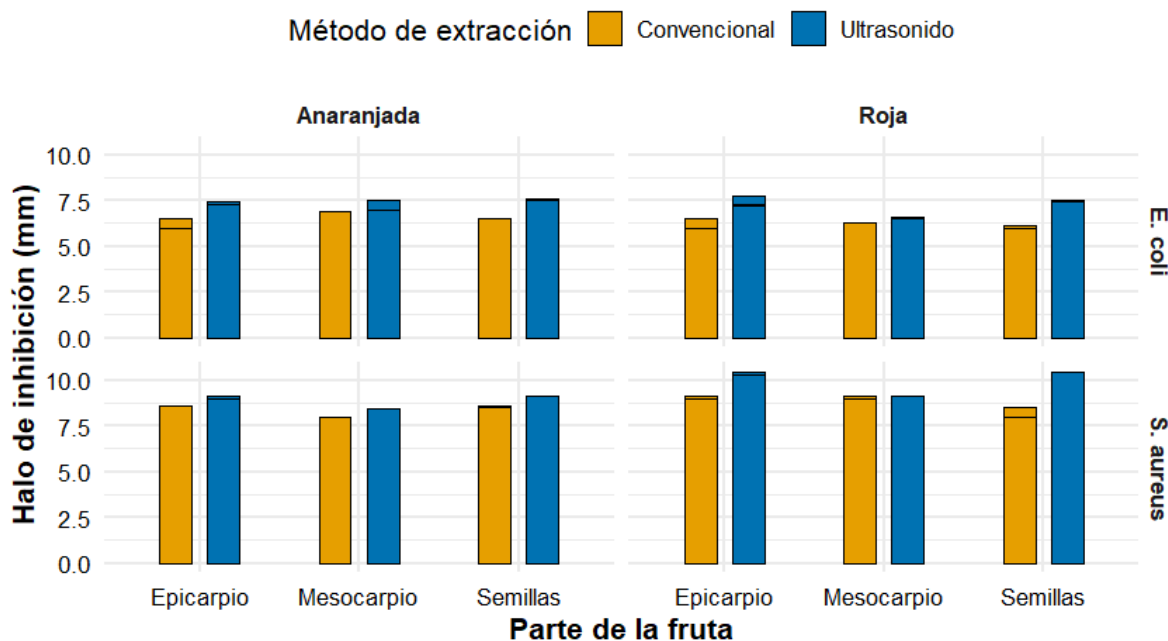
4.1.5 Resultados de halo de inhibición

Se realizaron los análisis de halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol aplicados a bacterias patógenas de *E. coli* y *S. aureus*, en la Figura 9 se muestran los resultados de halo de inhibición en milímetros (mm), se observa un halo de inhibición para la bacteria *E. coli* en los diferentes extractos obtenidos por el método convencional y ultrasonido de las dos variedades de tomate de árbol obteniendo < 8 mm presentando una característica de no sensible,

a diferencia de los halos de inhibición para la bacteria *S. aureus* registrados de los extractos obtenidos por el método de ultrasonido los cuales presentaron halo de inhibición de sensible (diámetros entre 9 y 14 mm), de la bacteria *S. aureus* frente a estos extractos.

Figura 9

Halo de inhibición (mm) de los extractos de tomate de árbol frente a bacterias de E. coli y S. aureus



4.1.6 Resultados de concentración mínima inhibitoria y mínima bactericida

En la Tabla 6 se presentan los resultados de promedios de la concentración mínima inhibitoria (MIC) y mínima bactericida (MBC) analizados frente a la bacteria *E. coli* de los extractos de las dos variedades de tomate de árbol. Tanto la variedad anaranjada como la roja sus extractos de epicarpio presentaron un MIC de 24,39 mg/mL para ambos métodos de extracción. Los extractos de mesocarpio de la variedad anaranjada presentaron un MIC de 12,195 mg/ mL, para ambos métodos de extracción, en relación con la variedad roja que presentó un MIC de 20,325 mg/mL para ambos métodos de extracción. En relación a la semilla ambas variedades presentaron un MIC de 24,39 mg/mL lo cual se ve que se aplica para ambos métodos de extracción.

Así mismo se expresan los resultados de la concentración mínima bactericida, los extractos de la semilla de la variedad roja presentaron menor MBC (24,39 mg/mL) para ambos métodos de extracción, a diferencia de los extractos de mesocarpio y semilla de la variedad anaranjada obtenidos por el método convencional que presentaron mayor MBC (48,78 mg/mL). Los extractos de epicarpio del método convencional para ambas variedades presentaron un MBC de 32,52 mg/mL.

Tabla 6

Concentración mínima inhibitoria y bactericida frente a la bacteria E. coli de los extractos de tomate de árbol

| Variedad | Parte | Método de extracción | <i>E. coli</i> | |
|------------|------------|----------------------|----------------|-------------|
| | | | MIC (mg/mL) | MBC (mg/mL) |
| Anaranjada | Epicarpio | Convencional | 24,39 | 32,52 |
| Anaranjada | Epicarpio | Ultrasonido | 24,39 | 24,39 |
| Anaranjada | Mesocarpio | Convencional | 12,195 | 48,78 |
| Anaranjada | Mesocarpio | Ultrasonido | 12,195 | 24,39 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | 24,39 | 48,78 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | 24,39 | 32,52 |
| Roja | Epicarpio | Convencional | 24,39 | 32,52 |
| Roja | Epicarpio | Ultrasonido | 24,39 | 32,52 |
| Roja | Mesocarpio | Convencional | 20,325 | 40,65 |
| Roja | Mesocarpio | Ultrasonido | 20,325 | 24,39 |
| Roja | Semilla | Convencional | 24,39 | 24,39 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | 24,39 | 24,39 |

Nota. Se presentan los resultados en media y unidades de miligramos por cada mL de extracto (mg/mL).

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los promedios de MIC y MBC de los extractos de tomate de árbol frente a la bacteria de *S. aureus*, se observa que el extracto de mesocarpio de la variedad roja presentó menor MIC (8,13 mg/mL) este obtenido por el método de ultrasonido, a diferencia que los extractos de epicarpio obtenidos por el método convencional de ambas variedades los cuales presentaron un MIC mayor (24,39 mg/mL).

Con respecto a la concentración mínima inhibitoria, se observa que los extractos de mesocarpio de ambas variedades presentan menor MBC (16,26 mg/mL) en ambos métodos de extracción. A diferencia de los extractos de Epicarpio, y semillas que presentaron mayor MBC (24,39

mg/mL) para los obtenidos por el método convencional de la variedad anaranjada. De datos similares presentaron los extractos de epicarpio y semilla la de la variedad roja obtenida por el método convencional.

Tabla 7

Concentración mínima inhibitoria y bactericida frente a la bacteria S. aureus de los extractos de tomate de árbol

| Variedad | Parte | Método de extracción | S. aureus | |
|------------|------------|----------------------|-------------|-------------|
| | | | MIC (mg/mL) | MBC (mg/mL) |
| Anaranjada | Epicarpio | Convencional | 24,39 | 24,39 |
| Anaranjada | Epicarpio | Ultrasonido | 20,325 | 20,325 |
| Anaranjada | Mesocarpio | Convencional | 12,195 | 16,26 |
| Anaranjada | Mesocarpio | Ultrasonido | 12,195 | 12,195 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | 12,195 | 24,39 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | 16,26 | 24,39 |
| Roja | Epicarpio | Convencional | 24,39 | 24,39 |
| Roja | Epicarpio | Ultrasonido | 24,39 | 24,39 |
| Roja | Mesocarpio | Convencional | 12,195 | 24,39 |
| Roja | Mesocarpio | Ultrasonido | 8,13 | 16,26 |
| Roja | Semilla | Convencional | 20,325 | 24,39 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | 24,39 | 24,39 |

Nota. se presentan los resultados en media y unidades de miligramos por mL de extracto (mg/mL).

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Análisis fisicoquímico

En relación con los análisis fisicoquímicos, los valores de °Brix de la variedad anaranjada ($9,5 \pm 0,536$) y roja ($11,4 \pm 0,5$) obtenidos, arrojaron resultados similares a lo registrado por Zambrano-Moreno et al. (2025) valores de $10,1^\circ\text{Brix}$, identificando un ligero aumento de °Brix en la variedad roja que en la variedad anaranjada. En relación al pH se determinó que son frutos ácidos, se registró un valor de $3,44 \pm 0,022$ en la variedad anaranjada y $3,77 \pm 0,075$ en la variedad roja, indicando que la variedad anaranjada es más ácida que la roja, un dato similar se encontró en pH $3,53 \pm 0,16$ según Chen et al. (2024).

También, Chent et al. registró datos de acidez titulable ($2,08 \pm 0,06$ %) y relación °Brix/acidez ($5,36 \pm 0,25$) en nuestro estudio se registraron datos más ácidos, se observa que

para la variedad roja ($1,68 \pm 0,169$) presenta menos acidez que la variedad anaranjada ($1,24 \pm 0,06$); así, el índice de madurez de la variedad anaranjada ($7,68 \pm 0,257$) y la variedad roja ($6,86 \pm 0,657$). Los datos de cenizas encontrados tanto de la variedad anaranjada ($2,76 \pm 0,298$ %) como de la roja ($3,32 \pm 0,894$ %) difieren de los encontrados por Zambrano-Moreno et al. (2025), quienes registraron cenizas para la variedad purpura ($6,55 \pm 0,14\%$ db) y roja ($5,85 \pm 0,16\%$ db). Con respecto a la humedad en la variedad anaranjada se registró $81,67 \pm 0,047$ % y en la variedad roja $76,28 \pm 0,094$ %, estos datos se relacionan con los datos encontrados por Diep et al. (2020), los cuales registraron 88,1-89,1 % de humedad en frutos de tomate de árbol.

4.2.2 Determinación de polifenoles totales

En nuestros resultados se registró contenido de polifenoles en las tres partes importantes (epicarpio, mesocarpio y semilla) de dos variedades de la fruta de tomate de árbol, los extractos se obtuvieron con dos métodos de extracción, el método convencional y el método de ultrasonido, y se registró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre variedad, parte y método. La mayor concentración de polifenoles se registró en el epicarpio o cáscara de la variedad anaranjada obtenidos por el método de ultrasonido ($17,89 \pm 0,618$ mg GAE/g ss) y la variedad roja presentó $23,17 \pm 0,994$ mg GAE/g ss, se observa que mayor contenido de polifenoles presenta la variedad roja lo cual concuerda con los hallazgos realizados por Rohilla y Mahanta (2021) y Chen et al. (2024).

Por otra parte, los estudios de Rohilla y Mahantan muestran que aplicar metodología como la de ultrasonido conlleva un aumento en la extracción de polifenoles. Con respecto a las partes del tomate de árbol, se ha registrado mayor concentración de polifenoles en el epicarpio que en las demás partes del fruto, estos datos concuerdan con lo encontrado por Loizzo et al. (2019) el cual en su extracción etanólico realizada a piel, pulpa y semillas registró 284,1 mg/g de extracto etanólico de polifenoles en la piel del fruto de tomate de árbol.

La metodología aplicada por ultrasonido muestra un ligero incremento en el contenido de polifenoles totales encontrados, estudios muestran que la cavitación ultrasónica genera rompimiento en las paredes celulares de la muestra en cuestión, generando mayor permeabilidad a los tejidos así como la introducción del solvente para la obtención de compuestos bioactivos (Obregón et al., 2025). En concordancia con esto en nuestros resultados se observa que en ambas variedades de tomate de árbol el contenido de polifenoles totales es mayor en los que se les aplicó el método de ultrasonido. En nuestros análisis se observa que el orden de contenido de polifenoles es epicarpio, semillas y mesocarpio en ambas variedades es predominante y la variedad roja en especial el epicarpio es la que resalta estos resultados, los cuales se ven afirmados por los hallazgos realizados por Orqueda et al. (2020) el cual registró en cáscara de tomate de árbol rojo 408,9 mg de GAE/100 g.

4.2.3 Determinación de capacidad antioxidante (DPPH)

Los análisis de capacidad antioxidante realizados a los extractos obtenidos por ultrasonido y método convencional de las tres partes de dos variedades de tomate de árbol registraron datos importantes, se analizó el IC50 el cual es un indicador de la concentración que contiene el extracto para poder neutralizar el 50% del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). Nuestros datos mostraron que ambas variedades presentan muy buena capacidad antioxidante, los extractos de la variedad roja obtenidos con método convencional son los que presentaron mayor capacidad antioxidante al presentar menor IC50, según Loizzo et al. (2019) reportó datos de IC50 para cáscara $0,0747 \pm 3,5$ mg/mL, pulpa $0,1413 \pm 5,5$ mg/mL y semillas $0,0579 \pm 1,5$ mg/mL, se observa en estos hallazgos que las semillas registraron mayor capacidad antioxidante (IC50) en comparación con cáscara, pulpa y semillas; nuestros resultados difieren con los reportados, ya que el epicarpio (variedad anaranjada) es la que presentó mayor capacidad antioxidante ($0,07 \pm 0,031$ mg/mL)(IC50) en comparación con la semilla ($0,25 \pm 0,006$ mg/mL)(IC50) .

Los resultados de capacidad antioxidante determinaron que los extractos obtenidos por el método convencional mostraron mejor capacidad antioxidante al presentar menor valor de IC50, la literatura menciona que las frecuencias ultrasónicas a partir de 20 kHz ayuda en la extracción de compuestos bioactivos debido al efecto de degradación interna de las paredes celulares del producto en cuestión, esto no generaría degradación en los componentes de la fruta teniendo en cuenta que la temperatura interna que se genera durante el ultrasonido no exceda los 70 °C (Lieu y Le, 2010), posiblemente estos resultados de menor capacidad antioxidante en los extractos de ultrasonido se deban a la degradación propia de los compuestos producto de las temperaturas internas que se generaron al realizar los extractos posiblemente superiores a 70 °C. Según los estudios de Lieu y Le (2010) se encontró que a mayores temperaturas de zonificación se deben realizar menos tiempos de ultrasonido.

4.2.4 Análisis de perfil fenólico

Los resultados de análisis de perfil fenólico evidenciaron que el tomate de árbol contiene componentes de importancia, los cuales se vieron reflejados en la capacidad antioxidante y polifenoles totales. Los resultados de perfil fenólico se expresaron en partes por millón (ppm) de los componentes principales encontrados de los extractos obtenidos con método de ultrasonido y convencional de epicarpio, mesocarpio y semilla de las dos variedades de tomate de árbol.

Se ha registrado muy buena concentración de oleuropeína (oleuropeína) el cual no se ha registrado en la literatura del tomate de árbol, pero si se ha registrado en frutos de aceituna (Gómez-Cruz et al., 2021), este sería de las primeras investigaciones que reporta este compuesto el cual presenta propiedades fuertes de actividad antioxidante, en particular como eliminador de radicales libres (Cicerale et al., 2012), la oleuropeína se ha encontrado en el epicarpio (mayor concentración), mesocarpio y semillas obtenido por ambos métodos de obtención de extractos; así mismo se ha registrado catequina (también en mayor proporción),

rutina y epicatequina en ambas variedades de tomate de árbol de los extractos obtenidos por el método convencional y ultrasonido, estos hallazgos se afirman más con estudios realizados por Diep et al. (2020), los cuales reportaron otros compuestos por primera vez tales como rutina, catequina, epicatequina.

Así mismo, se ha registrado procianidina A2 y B2 los cuales son taninos condensados, compuestos biofuncionales ya que contienen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y antivirales así como efectos positivos en trastornos gastrointestinales (da Silva et al., 2014); estos compuestos se han registrado en ambas variedades de tomate de árbol, con mayor proporción en la semilla de la variedad roja tanto por el método convencional (0,693 ppm) como el método por ultrasonido (0,556 ppm), estudios realizados por Orqueda et al. (2020) evidencian concentraciones importantes de taninos condensados en semillas de tomate de árbol $265,0 \pm 3,5$ (mg de procianidina B2). Estos hallazgos son de mucha importancia ya que constituyen uno de los primeros trabajos que evidencian la presencia importante de procianidina B2.

4.2.5 Determinación de halo de inhibición

Los análisis de halo inhibición se realizaron in vitro para determinar la actividad antibacteriana frente a bacterias de *E. coli* y *S. aureus*, las bacterias no mostraron elevada sensibilidad a los diferentes extractos de tomate de árbol, sin embargo la bacteria *S. aureus* presento sensibilidad frente a los extractos de epicarpio y semillas obtenidos por el método de ultrasonido (diámetro entre 9 y 14 mm), Santos y de Aquino Santana (2019) reportó que la cáscara de tomate de árbol registró efectividad mínima frente a bacterias de *E. coli* y *S. aureus*, dichos extractos se obtuvieron con etanol al 70 y 80 % obteniendo diámetros de 12 y 13,5 mm respectivamente, lo cual se relaciona con esta investigación donde en el método de ultrasonido se usó etanol como solvente al 50%.

Diep et al. (2021) realizaron evaluación de halo de inhibición con extractos usando solventes como agua y metanol reportando halos de inhibición de 24,13 mm y 20,13 mm respectivamente, así mismo reportaron mayor capacidad de inhibición de la cáscara de tomate de árbol frente a *S. aureus* lo cual concuerda con nuestra investigación en la que el epicarpio y semillas mostraron mayor halo de inhibición. Se observa que se tiene mayor efecto en las bacterias Gram positivas (*S. aureus*) que en las bacterias Gram negativas (*E. coli*), esto podría atribuirse a las diferentes estructuras que mantienen estas células, ya que *S. aureus* contiene una mayor capa de peptidoglucano que la *E. coli* (Pasachova et al., 2019; Rodríguez-Angeles, 2002).

A pesar de que la bacteria *E. coli* tiene una pared más débil esta ha mostrado no tener sensibilidad a los extractos analizados. Los compuestos de perfil fenólico analizados generan un efecto inhibitorio importante; estudios reportan que la oleuropeína (estructura orto-difenol) es un fuerte inhibidor de *E. coli* y *S. aureus*, generando destrucción de las membranas celulares y el peptidoglucano (Esfandiary et al., 2024). En esta investigación se registró una buena concentración de oleuropeína y se observó que tendría influencia en los resultados observados de halo de inhibición del tomate de árbol, ya que se ha registrado en ambas variedades estudiadas.

Por lo tanto, estudios demuestran que la catequina, la cual se ha registrado en esta investigación, presenta buenas propiedades de actividad bactericida contra bacterias de *E. coli* (Jubair et al., 2022).

4.2.6 Análisis de concentración mínima inhibitoria y mínima bactericida

Se realizó el análisis de concentración mínima inhibitoria (MIC) y concentración mínima bactericida (MBC) frente a bacterias de *E. coli* y *S. aureus* de los extractos obtenidos por el método de ultrasonido y convencional del epicarpio, mesocarpio y semillas de las dos variedades de tomate de árbol. Los resultados muestran que para la bacteria *E. coli* se observó

menor MIC en los extractos de mesocarpio 12,195 mg/mL, y también presentaron un MBC de 24,39 mg/mL en ambas variedades.

Asimismo, los extractos de la semilla presentaron MBC y MIC de 24,39 mg/mL. Estos datos resaltan el potencial antibacteriano que tiene el tomate de árbol, estudios realizados por Santos y de Aquino Santana (2019) encontraron buena actividad antimicrobiana reportando MIC de 0,39 mg/mL y MBC de >200 mg/mL frente a *E. coli* en cáscaras de tomate de árbol (etanol al 80%). En relación con nuestros hallazgos, hemos reportado menor MBC, lo que podría deberse a los componentes fenólicos extraídos, ya que se han aplicado metodologías de ultrasonido (con etanol 50%) y convencional (con metanol al 60%) que permiten la extracción de dichos compuestos. Los efectos antibacterianos encontrados son debido a los efectos polares que generan la intervención de solventes como etanol y metanol los cuales son los que mayormente se usa para la extracción de compuestos antibacterianos (Karaman et al., 2003). Estudios reportados en análisis de inhibición microbiana de extractos de moringa usando diferentes solventes como etanol, metanol y agua encontraron que usando como solvente el agua se obtiene menores halos de inhibición a diferencia de solventes polares como el etanol y metanol (Seleshe y Kang, 2019), estos resultados se deben al efecto inhibitorio propio de los extractos en estudio ya que justamente la interacción de estos compuestos con las partes de la fruta estudiada permiten mayor extracción de compuestos fenólicos conllevando a mejores resultados de capacidad antimicrobiana.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La evaluación de caracterización fisicoquímica determinó que el tomate de árbol son frutos ácidos en la que se registró que la variedad anaranjada (3,44) es ligeramente más ácida que la variedad roja (3,77) y la obtención de extractos por los métodos de ultrasonido y método convencional, permitió la evaluación de estos frente a bacterias patógenas de importancia alimentaria (patógenos) aplicando metodologías de interés actual como MIC, MBC y halo de inhibición.

Los análisis de polifenoles totales con el método de Folin-Ciocalteu de los extractos de las dos variedades de *Solanum Betaceum* Cav., demostraron que en el epicarpio de la variedad roja se registró mayor contenido de polifenoles (23,17 mg GAE/g) en relación con las otras partes del tomate de árbol, en donde la aplicación de metodología de ultrasonido genera efectos físicos en la ruptura de la pared celular y mayor extracción de los componentes bioactivos.

La determinación de la capacidad antioxidante con el método del radical DPPH (IC50) de los extractos de las dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. Se encontró que el fruto presenta buena capacidad antioxidante con respecto a la neutralización del 50% del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil, en donde el epicarpio de la variedad roja registró mayor capacidad antioxidante (0,07 mg/mL) que otras partes del fruto. Asimismo, la aplicación de metodología convencional para la obtención de extractos generó mejores resultados de capacidad antioxidante.

La determinación del perfil polifenólico con el método de HPLC de los extractos de las dos variedades de *Solanum betaceum* Cav. Permitted registrar compuestos no mencionados anteriormente en la literatura, como la oleuropeína, la cual es un compuesto mayoritario en frutos de aceite de oliva. Este compuesto presenta buenas propiedades antioxidantes y

antimicrobianas. Entre los otros compuestos de importancia, también destacan las catequinas, epicatequinas y procianidina A2 y B2.

La realización de análisis de capacidad antimicrobiana con ensayos de difusión en disco de los extractos de las dos variedades de *Solanum betaceum Cav.* frente a *E. coli* y *S. aureus* determinaron que los extractos del tomate presentan buena capacidad antimicrobiana frente a *S. aureus* con halos de inhibición de 9 y 14 mm.

Los análisis de concentración mínima inhibitoria (MIC) y concentración mínima bactericida (MBC) de los extractos de las dos variedades de *Solanum betaceum Cav.* frente a *E. coli* y *S. aureus*. Mostraron que el mesocarpio presentó menor CMI (12,195 mg/mL) y MBC (24,39 mg/mL); estos datos revelan el potencial antibacteriano que tiene el tomate de árbol.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar análisis de influencia de la temperatura en la obtención de compuestos bioactivos de extractos de tomate de árbol con metodología de ultrasonido, ya que esta podría influir en la mejor obtención o en la pérdida de algunos compuestos producto de las elevadas temperaturas (>60 °C) a las que puede llegar dicho método de extracción.

Se recomienda realizar estudios de rendimiento de obtención de compuestos fenólicos aplicando diferentes solventes, como el agua, etanol, metanol y acetona.

Se recomienda realizar los análisis de capacidad antimicrobiana con otras bacterias patógenas; en este grupo se consideraron dos grupos importantes: una Gram-positiva y otra Gram-negativa. Sería importante considerar otras bacterias para evaluar los extractos de tomate de árbol con diferentes bacterias.

CAPÍTULO 6.REFERENCIAS

- Acosta-Quezada, P. G., Riofrío-Cuenca, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., & Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. *Scientia Horticulturae*, *199*, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.045>
- Ali Hassan, S. H., & Abu Bakar, M. F. (2013). Antioxidative and Anticholinesterase Activity of *Cyphomandra betacea* Fruit. *The Scientific World Journal*, *2013*(1). <https://doi.org/10.1155/2013/278071>
- Amézquita-López, B. A., Quiñones, B., Lee, B. G., & Chaidez, C. (2014). Virulence profiling of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* recovered from domestic farm animals in Northwestern Mexico. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00007>
- Angulo, L. D. M. (2020). Principales bacterias transmitidas por alimentos, preservación y control. In *Agrobiología*. Mérida Publishers. <https://doi.org/10.4322/mp.2020.001.04>
- Belattar, H., Himour, S., & Yahia, A. (2022). Cribado fitoquímico y evaluación de la actividad antimicrobiana del extracto metanólico de *Ficus carica*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2435>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>

- Berges, M., Liseras, N., Casellas, Karina, & Pace Guerrero, I. (2016). Riesgos percibidos en el consumo de carne vacuna y disposición a pagar por carnicerías más saludables. *FCEyS-UNMDP*. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2582/>
- Bohs, L. (1989). Ethnobotany of the genus *Cyphomandra* (Solanaceae). *Economic Botany*, 43(2), 143–163. <https://doi.org/10.1007/BF02859855>
- Bohs, L. (1991). Crossing Studies in *Cyphomandra* (Solanaceae) and Their Systematic and Evolutionary Significance. *American Journal of Botany*, 78(12). <https://www.jstor.org/stable/2444847#:~:text=A%20crossing%20program%20involving%20eight,incompatibility%20is%20widespread%20in%20Cyphomandra>.
- Bohs, L. (1995). Transfer of *Cyphomandra* (Solanaceae) and its species to *Solanum*. *TAXON*, 44(4), 583–587. <https://doi.org/10.2307/1223500>
- Bohs, L., & Nelson, A. (1997). *Solanum maternum* (Solanaceae), a New Bolivian Relative of the Tree Tomato. *Myssouri Botanical Garden Press*, 7(4). <https://www.jstor.org/stable/3391759>
- Cajaleón, J. (2021). *Aditivos alimentarios y las enfermedades no transmisibles* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20911/CAJALEON_SOTO_JHONATAN_ADITIVOS_ALIMENTARIOS_ENFERMEDADES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro-Vargas, H. I., Benelli, P., Ferreira, S. R. S., & Parada-Alfonso, F. (2013). Supercritical fluid extracts from tamarillo (*Solanum betaceum* Sendtn) epicarp and its application as protectors against lipid oxidation of cooked beef meat. *The Journal of Supercritical Fluids*, 76, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.10.006>
- Cerqueira, L., Monteiro, A., de Freitas, C., Almeida, E., Andrade, F., Marques, E., & Kasnowski, M. (2025). Evaluation of the antimicrobial effect of oregano essential oil

- (*Origanum vulgare*) on cooked mussels (*Perna perna*) experimentally contaminated with *Escherichia coli* and *Salmonella Enteritidis*. *Food Control*, *167*, 110835. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110835>
- Cervantes-Garcia, E., García-González, R., & Salazar-Schettino, P. (2014). Características generales del *Staphylococcus aureus*. *Patología Clínica*, *61*(1), 28–40. <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2014/pt141e.pdf>
- Chen, S.-Y., Zhang, Q.-F., & Lin, S.-D. (2024). Nutritional and phytochemical composition of the red tamarillo grown in Taiwan. *Journal of Food Composition and Analysis*, *131*, 106258. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106258>
- Cicerale, S., Lucas, L., & Keast, R. (2012). Antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory phenolic activities in extra virgin olive oil. *Current Opinion in Biotechnology*, *23*(2), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.09.006>
- Coelho, M. C., Rodrigues, A. S., Teixeira, J. A., & Pintado, M. E. (2023). Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: Human health benefits. *Food Chemistry*, *410*, 135319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135319>
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
- da Silva, S. M., Koehnlein, E. A., Bracht, A., Castoldi, R., de Moraes, G. R., Baesso, M. L., Peralta, R. A., de Souza, C. G. M., de Sá-Nakanishi, A. B., & Peralta, R. M. (2014). Inhibition of salivary and pancreatic α -amylases by a pinhão coat (*Araucaria angustifolia*) extract rich in condensed tannin. *Food Research International*, *56*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.004>
- De Paiva, E. (2020). *Estrategias para prolongar la vida útil en cerezas del jerte*. https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/11695/1/TDUEX_2020_Santos_EP.pdf

- Diep, T. T., Pook, C., & Yoo, M. J. Y. (2020). Physicochemical properties and proximate composition of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from New Zealand. *Journal of Food Composition and Analysis*, *92*, 103563. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103563>
- Diep, T. T., Yoo, M. J. Y., Pook, C., Sadooghy-Saraby, S., Gite, A., & Rush, E. (2021). Volatile Components and Preliminary Antibacterial Activity of Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Foods*, *10*(9), 2212. <https://doi.org/10.3390/foods10092212>
- dos Santos, É. L., Santana, A. C., Micheletti, A. C., Freire, T. V., Guterres, Z. R., & Yoshida, N. C. (2023). Metabolomic profiling and assessment of antimicrobial, antioxidant and genotoxic potential of *Unonopsis guatterioides* R.E.Fr. (Annonaceae) fruits. *Arabian Journal of Chemistry*, *16*(10), 105133. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105133>
- Dueñas-Ruiz, A., Ruiz-Mambrilla, M., Coco-Martín, M., & Dueñas-Laita, A. (2023). Aditivos de los alimentos (food additives). *Nutrición Clínica En Medicina*, *17*(1), 89–101. <https://nutricionclinicaenmedicina.com/wp-content/uploads/2023/05/5120.pdf>
- Duong, L., Gross, S. P., & Siryaporn, A. (2021). Developing Antimicrobial Synergy With AMPs. *Frontiers in Medical Technology*, *3*. <https://doi.org/10.3389/fmedt.2021.640981>
- Esfandiary, M., Khosravi, A., Asadi, S., Nikaein, D., Hassan, J., & Sharifzadeh, A. (2024). Propiedades antimicrobianas y antibiofilm de la oleuropeína a *Escherichia coli* y aislados de *Candida albicans* y *Candida glabrata* resistentes a fluconazol. *Microbiología BMC*, *24*(154). <https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12866-024-03305-5>
- Espin, S., Gonzalez-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., Gonzalez-Paramas, A. M., & Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, *194*, 1073–1080. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.131>
- Faleiro, P. (2010). *Formación de biopelículas por “Escherichia coli” y su correlación con factores de virulencia: prevención y actividad de antimicrobiana frente a organismos*

- planctónicos y asociados a biopelículas* [Tesis Doctoral , Universidad Complutense de Madrid]. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/e74b65ae-8504-480e-aec5-49b0816d1750/content>
- Fathordoobady, F., Mirhosseini, H., Selamat, J., & Manap, M. Y. A. (2016). Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. *Food Chemistry*, *202*, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.121>
- Feicán-Mejía, C., Encalada-Alvarado, C., & Becerril-Román, A. (2016). Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Agroproductividad*, *9*(8), 78–86. <https://core.ac.uk/reader/249320590>
- [Food and Agriculture Organization]. (2023). *Reglamento Técnico sobre los requisitos que deben cumplir los aditivos alimentarios* . <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col92913.pdf>
- García, J. A., Laos, D., Vega, N., Bendezú, M., Yarasca, P., Guillermo, J., & Surco-Laos, F. (2020). Actividad antioxidante y antimicrobiana del extracto etanólico de las partes aéreas de *Solanum radicans* L.F. “huallpachaqui.” *Rev Soc Quím Perú*, *8*(1), 5–11. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v86n1/2309-8740-rsqp-86-01-5.pdf>
- Geurtsen, J., de Been, M., Weerdenburg, E., Zomer, A., McNally, A., & Poolman, J. (2022). Genomics and pathotypes of the many faces of *Escherichia coli*. *FEMS Microbiology Reviews*, *46*(6). <https://doi.org/10.1093/femsre/fuac031>
- Gómez-Cruz, I., Contreras, M. del M., Romero, I., & Castro, E. (2021). Sequential Extraction of Hydroxytyrosol, Mannitol and Triterpenic Acids Using a Green Optimized Procedure Based on Ultrasound. *Antioxidants*, *10*(11), 1781. <https://doi.org/10.3390/antiox10111781>
- Hu, J., Wang, Y., Ding, H., Jiang, C., Geng, Y., Sun, X., Jing, J., Gao, H., Wang, Z., & Dong, C. (2020). Recombinase polymerase amplification with polymer flocculation

- sedimentation for rapid detection of *Staphylococcus aureus* in food samples. *International Journal of Food Microbiology*, *331*, 108691. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108691>
- Huaman-Castilla, N. L., Martínez-Cifuentes, M., Camilo, C., Pedreschi, F., Mariotti-Celis, M., & Pérez-Correa, J. R. (2019). The Impact of Temperature and Ethanol Concentration on the Global Recovery of Specific Polyphenols in an Integrated HPLC/RP Process on Carménère Pomace Extracts. *Molecules*, *24*(17), 3145. <https://doi.org/10.3390/molecules24173145>
- INIA. (2009). *Tomate de árbol*. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/243/1/HD-5-2009-Tomate_de_arbol.pdf
- Jubair, N., R., M., Fatima, A., Mahdi, Y. K., & Abdullah, N. H. (2022). Evaluation of Catechin Synergistic and Antibacterial Efficacy on Biofilm Formation and *acrA* Gene Expression of Uropathogenic *E. coli* Clinical Isolates. *Antibiotics*, *11*(9), 1223. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11091223>
- Karaman, İ., Şahin, F., Güllüce, M., Ögütçü, H., Şengül, M., & Adıgüzel, A. (2003). Antimicrobial activity of aqueous and methanol extracts of *Juniperus oxycedrus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, *85*(2–3), 231–235. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00006-0)
- Khamisi, N., Fathi, A., & Yari, A. (2022). Antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* Isolated from dental plaques. *Academic Journal of Health Science*, *1*, 136–140. https://ibdigital.uib.es/greenstone/sites/localsite/collect/medicinaBalear/index/assoc/AJHS_Medicina_Balear_2022v37n1p136.dir/AJHS_Medicina_Balear_2022v37n1p136.pdf

- Kümmel, J., Stessl, B., Gonano, M., Walcher, G., Bereuter, O., Fricker, M., Grunert, T., Wagner, M., & Ehling-Schulz, M. (2016). Staphylococcus aureus Entrance into the Dairy Chain: Tracking S. aureus from Dairy Cow to Cheese. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01603>
- Leiva, S., Rodríguez, E., Pollack, L., Briceño, J., Gayoso, G., Chang, L., & Guerrero, A. (2019). Diversidad de flora, fauna y disponibilidad hídrica en el centro poblado Caray, distrito, provincia Virú, Perú. *Arnaldoa*, 26(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000100010
- León, J., Viteri, P., & Cevallos, G. (2004). *Manual del cultivo del tomate de árbol*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/827/4/iniapscm61.pdf>
- Lester, R., & Hawkes JG. (2001). *Solanacea*. In: *Hanelt P, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Eds.). Mansfield's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (Exept ornamentals). Springer, Berlin, Germany. (4th ed., Vol. 1).*
- Lieu, L. N., & Le, V. V. M. (2010). Application of ultrasound in grape mash treatment in juice processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(1), 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.05.002>
- Loizzo, M. R., Lucci, P., Núñez, O., Tundis, R., Balzano, M., Frega, N. G., Conte, L., Moret, S., Filatova, D., Moyano, E., & Pacetti, D. (2019). Native Colombian Fruits and Their by-Products: Phenolic Profile, Antioxidant Activity and Hypoglycaemic Potential. *Foods*, 8(3), 89. <https://doi.org/10.3390/foods8030089>
- López-Alarcón, C., & Denicola, A. (2013). Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays. *Analytica Chimica Acta*, 763, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.11.051>

- Luna-Guevara, Ma. L., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., Ruíz-Espinosa, H., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). *Phenolic Compounds: A Good Choice Against Chronic Degenerative Diseases* (pp. 79–108). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64179-3.00003-7>
- Machado-Moreira, B., Richards, K., Brennan, F., Abram, F., & Burgess, C. M. (2019). Microbial Contamination of Fresh Produce: What, Where, and How? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1727–1750. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12487>
- Magalhães, L. M., Santos, F., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2010). Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. *Talanta*, 83(2), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.042>
- María, T., & Ramírez, A. (2021). *Uso de plantas medicinales y fármacos, adherencia y toxicidad en adultos mayores*. https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17100/SALUD_USO_DE_PLANTAS_MEDICINALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- McLinden, T., Sargeant, J. M., Thomas, M. K., Papadopoulos, A., & Fazil, A. (2014). Component costs of foodborne illness: a scoping review. *BMC Public Health*, 14(1), 509. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-509>
- Meza, N., & Manzano, J. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Udo Agrícola*, 9(2), 289–294. <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/45466>
- MINSA. (2019). *Boletín Epidemiológico del Perú*. www.dge.gob.pe
- Molina, N. B., Oderiz, S., López, M. A., Basualdo, J. Á., & Sparo, M. D. (2023). Caracterización molecular de *Escherichia coli* diarreogénica proveniente de población

pediátrica ambulatoria con diarrea, atendida en dos hospitales de Buenos Aires, Argentina.

Revista Argentina de Microbiología. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.002>

Moreno-Miranda, C., Molina, J. I., Ortiz, J., Peñafiel, C., & Moreno, R. (2020). Cadena de valor en la red de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 13–29. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36887>

Obregón, A. F., Chavez, A., Martínez, E. E., & Obregón, P. A. (2025). Extracción ultrasónica de polifenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante de Chamana (*Dodonaea viscosa*). *Información Tecnológica*, 36(2), 1–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642025000200001>

OMS. (2020). *Resistencia a los antibióticos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance>

Ordoñez A., S. R., Torres P., M. de L., & Arahana B., V. S. (2009). Diferenciación molecular en variedades cultivadas de tomate de árbol (Solanum betaceum), mediante la técnica molecular de AFLP. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 1(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v1i1.12>

Organización Mundial de la Salud. (2015). *WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007–2015*. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/199350/9789241565165_eng.pdf?sequence=1%26isAllowed=y

Orqueda, M. E., Torres, S., Verón, H., Pérez, J., Rodríguez, F., Zampini, C., & Isla, M. I. (2021). Physicochemical, microbiological, functional and sensory properties of frozen pulp of orange and orange-red chilito (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 276, 109736. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109736>

Orqueda, M. E., Torres, S., Zampini, I. C., Cattaneo, F., Di Pardo, A. F., Valle, E. M., Jiménez-Aspee, F., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M. I. (2020). Integral use of Argentinean

- Solanum betaceum red fruits as functional food ingredient to prevent metabolic syndrome: effect of in vitro simulated gastroduodenal digestion. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03387>
- Pasachova, J., Ramirez, M., & Muñoz, M. (2019). Staphylococcus aureus: generalidades, mecanismos de patógenicidad y colonización celular. *NOVA*, 17(32).
- Piper, K. R., Ikhimiukor, O. O., Souza, S. S. R., Garcia-Aroca, T., & Andam, C. P. (2024). Evolutionary dynamics of the accessory genomes of *Staphylococcus aureus*. *MSphere*, 9(4). <https://doi.org/10.1128/msphere.00751-23>
- Ponce, A. G., Fritz, R., del Valle, C., & Roura, S. I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *LWT - Food Science and Technology*, 36(7), 679–684. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00088-4)
- Prohens, J., & Nuez, F. (2000). The Tamarillo (*Cyphomandra betacea*): a review of a promising small fruit crop. *Small Fruits Rev.*, 1(2), 43–68. https://doi.org/10.1300/J301v01n02_06
- Ralte, L., Bhardwaj, U., & Singh, Y. T. (2021). Traditionally used edible Solanaceae plants of Mizoram, India have high antioxidant and antimicrobial potential for effective phytopharmaceutical and nutraceutical formulations. *Heliyon*, 7(9), e07907. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07907>
- Raposo, F., Borja, R., & Gutiérrez-González, J. A. (2024). A comprehensive and critical review of the unstandardized Folin-Ciocalteu assay to determine the total content of polyphenols: The conundrum of the experimental factors and method validation. *Talanta*, 272, 125771. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125771>
- Rodríguez-Angeles, G. (2002). Principales características y diagnósticos de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud Publica Mex*, 44(5). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342002000500011

- Rodríguez-Morales, A. J., Failoc-Rojas, V. E., & Díaz-Vélez, C. (2019). Gastrointestinal, respiratory and/or arboviral infections? What is the cause of the Guillain-Barré syndrome epidemics in Perú? Current status – 2019. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 30, 114–116. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2019.06.015>
- Rohilla, S., Chutia, H., Marboh, V., & Mahanta, C. L. (2022). Ultrasound and supercritical fluid extraction of phytochemicals from purple tamarillo: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamics studies. *Applied Food Research*, 2(2), 100210. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100210>
- Rohilla, S., & Mahanta, C. L. (2021). Optimization of extraction conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from tamarillo fruit (*Solanum betaceum*) using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1763–1773. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00751-3>
- Salazar, R., Barahona, A., Ortiz, K., Chávez, C., Freire, P., Méndez, J., Bermeo, B., Santamaría, M., Salas, H., & Oleas, M. (2016). Efecto del Consumo de jugo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, Ecuador). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(2). <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/2/art-4/>
- Santos, T. R. J., & de Aquino Santana, L. C. L. (2019). Antimicrobial potential of exotic fruits residues. *South African Journal of Botany*, 124, 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.031>
- Schotsmans, W. C., East, A., & Woolf, A. (2011). Tamarillo (*Solanum betaceum* (Cav.)). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 427–442e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.427>

- Seleshe, S., & Kang, S. N. (2019). In Vitro Antimicrobial Activity of Different Solvent Extracts from *Moringa stenopetala* Leaves. *Preventive Nutrition and Food Science*, 24(1), 70–74. <https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.1.70>
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (cav.) Sendtn.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* , 62(4). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000400010#:~:text=Al%20comparar%20los%20resultados%20con,0%2C46%20mg%20de%20%C3%A1cido
- Valenzuela, C., & Pérez, P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de fruta y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena de Nutrición* , 43(2). <https://www.redalyc.org/pdf/469/46946547012.pdf>
- Vargas y Vargas, M. de L., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J. A., Toledo López, V. M., & Moo Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo Sum*, 26(2), 1–11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup7), 278–288. <https://doi.org/10.1080/09637480903099618>
- Vélez, M. V., Colello, R., Etcheverría, A. I., & Padola, N. L. (2023). *Escherichia coli* productora de toxina Shiga: el desafío de adherirse para sobrevivir. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(1), 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2022.04.001>
- Wang, S., & Zhu, F. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.004>

- Yu, D., Banting, G., & Neumann, N. F. (2021). A review of the taxonomy, genetics, and biology of the genus *Escherichia* and the type species *Escherichia coli*. *Canadian Journal of Microbiology*, 67(8), 553–571. <https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0508>
- Zambrano-Moreno, E., Vaillant, F., Medina-Vargas, O., & Vélez-Pasos, C. (2025). Fracciones de tomate de árbol (*Solanum Betaceum*) con potencial funcional obtenida por ultrafiltración. *Rivar*.
- Zhang, J., Phan, A. D. T., Srivarathan, S., Akter, S., Sultanbawa, Y., & Cozzolino, D. (2022). Proximate composition, functional and antimicrobial properties of wild harvest *Terminalia carpentariae* fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1), 582–589. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01182-4>

CAPÍTULO 7. ANEXOS

ANEXO 1. Registro fotográfico de la investigación

Figura 10

Área de plantaciones de dos variedades de frutos de tomate de árbol



Figura 11

Recolección y traslado de las frutas de tomate de árbol para análisis



Figura 12

Fraccionamiento de las tres partes de tomate de árbol (epicarpio, mesocarpio y semillas)

**Figura 13**

Análisis de caracterización fisicoquímica de frutas de tomate de árbol



Figura 15

Secado, pulverizado y tamizado de las tres áreas del tomate de árbol

**Figura 14**

Obtención de extractos con ultrasonido y método convencional



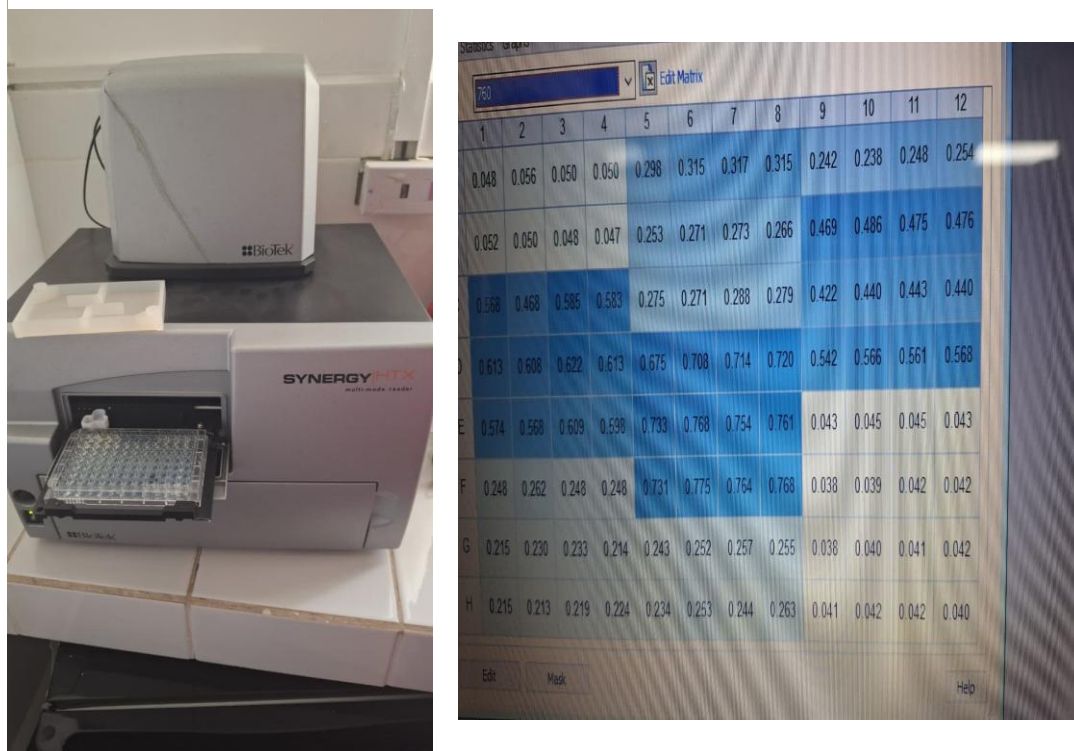
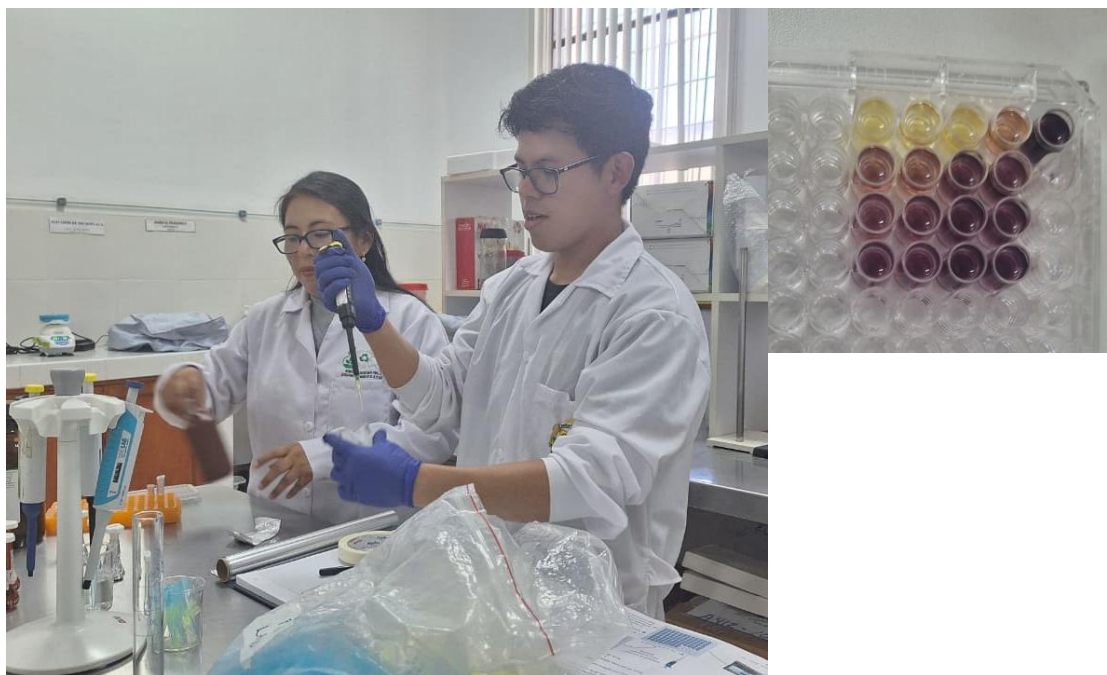
Figura 16*Análisis de capacidad antioxidante de los extractos de tomate de árbol***Figura 17***Análisis de polifenoles totales de los extractos de tomate de árbol*

Figura 19

Adecuación de extractos para análisis HPLC de perfil fenólico

**Figura 18**

Análisis microbiológico de halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol

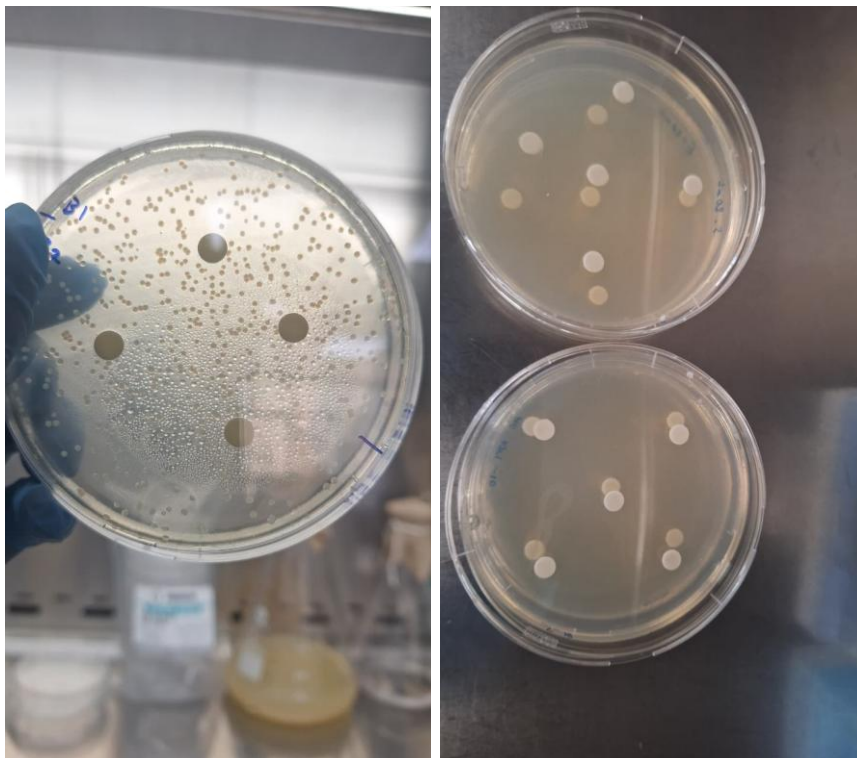
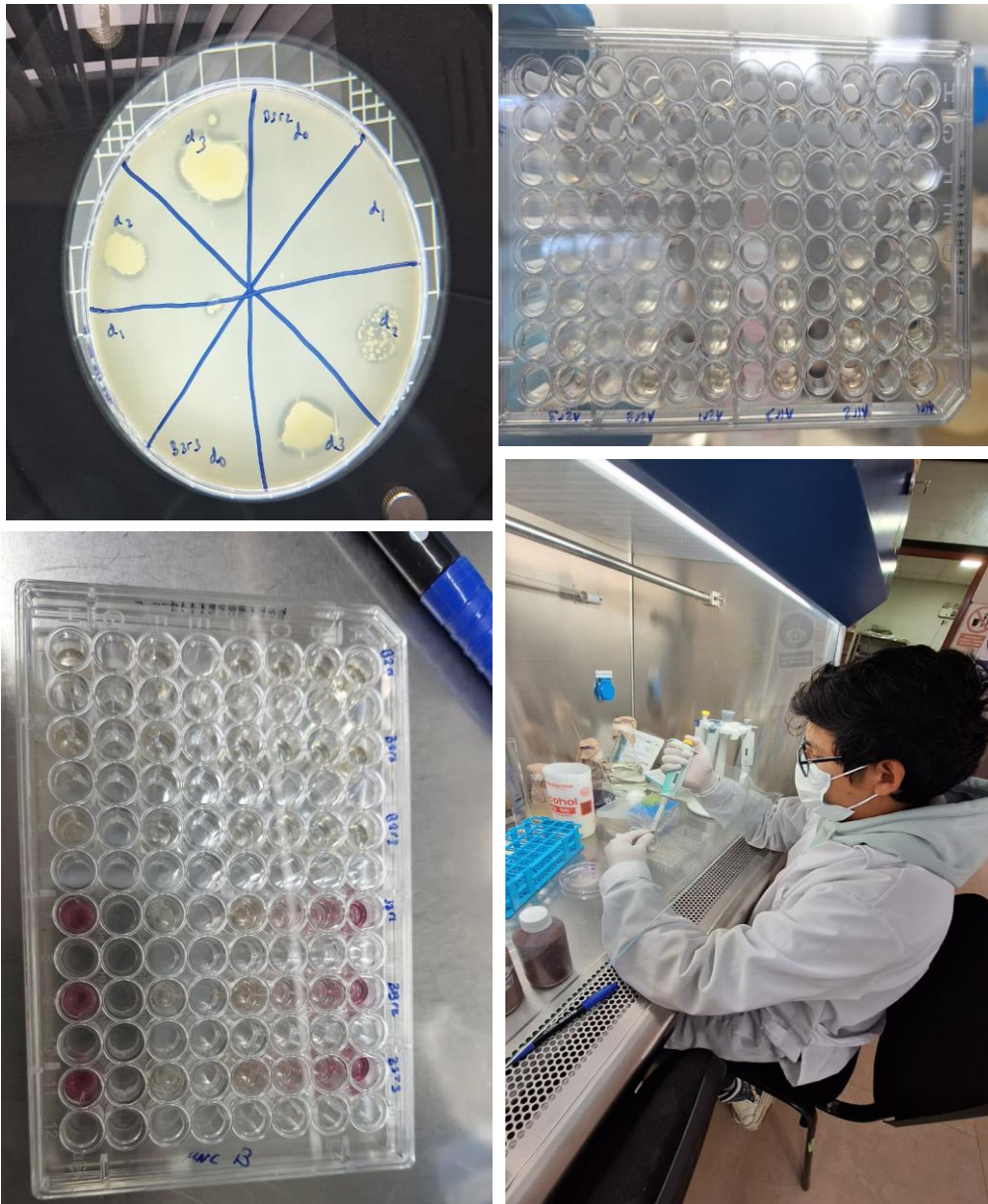
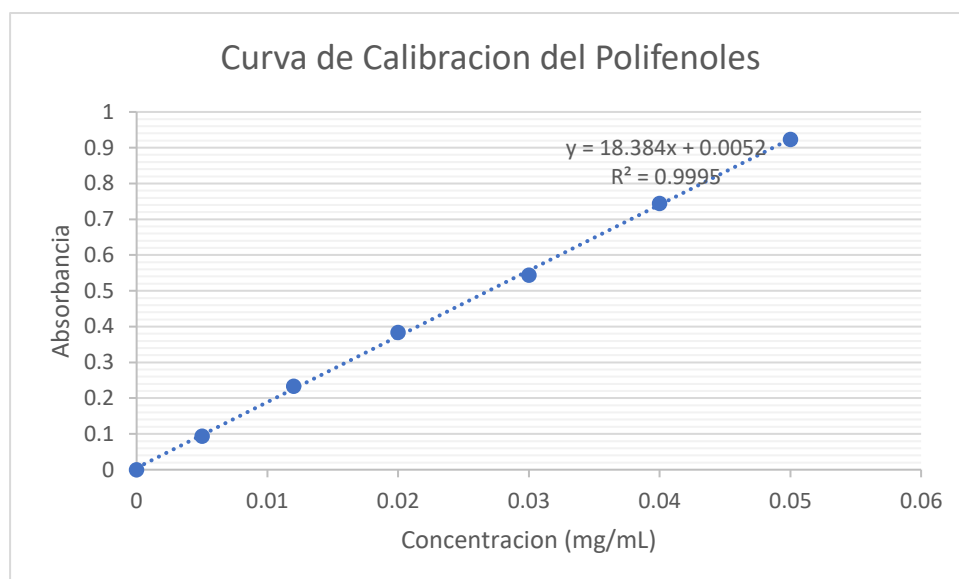


Figura 20

Análisis microbiológicos de MIC y MBC de los extractos de tomate de árbol



ANEXO 2. Curva estándar de ácido gálico

Figura 21*Curva de calibración para los análisis de polifenoles totales*

| CONCENTRACION (mg/mL) | ABSORBANCIA |
|-----------------------|-------------|
| 0 | 0 |
| 0.005 | 0.094 |
| 0.012 | 0.234 |
| 0.02 | 0.384 |
| 0.03 | 0.544 |
| 0.04 | 0.744 |
| 0.05 | 0.923 |

ANEXO 2. Resultado de análisis de datos

Tabla 8*Análisis ANOVA de DPPH - IC 50*

| Fuente de variación | Df | Suma de cuadrados (Sum Sq) | Cuadrado medio (Mean Sq) | F value | Pr(>F) | Signif. |
|---------------------------------|----|----------------------------|--------------------------|---------|----------|---------|
| Variedad | 1 | 0.674 | 0.674 | 34.672 | 4.49E-06 | *** |
| Parte | 2 | 12.248 | 6.124 | 315 | < 2e-16 | *** |
| Método de extracción | 1 | 3.511 | 3.511 | 180.623 | 1.16E-12 | *** |
| Variedad × Parte | 2 | 0.155 | 0.078 | 3.989 | 0.03193 | * |
| Variedad × Método de extracción | 1 | 0.015 | 0.015 | 0.766 | 0.39015 | |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|----|-------|-------|-------|---------|----|
| Parte × Método de extracción | 2 | 0.299 | 0.149 | 7.677 | 0.00265 | ** |
| Variedad × Parte × Método extracción | 2 | 0.014 | 0.007 | 0.356 | 0.7043 | |
| Residuals | 24 | 0.467 | 0.019 | | | |

Tabla 9*Análisis tukey de DPPH - IC₅₀*

| Variedad | Media ± DE | Letras |
|----------------------|-------------|--------|
| Anaranjada | 1.10 ± 0.74 | a |
| Roja | 0.83 ± 0.66 | b |
| Parte | Media ± DE | Letras |
| Cáscara | 0.29 ± 0.21 | a |
| Pulpa | 1.71 ± 0.39 | b |
| Semilla | 0.88 ± 0.52 | c |
| Método de Extracción | Media ± DE | Letras |
| Convencional | 0.65 ± 0.58 | a |
| Ultrasonido | 1.27 ± 0.69 | b |

Tabla 10*Resultados de análisis de DPPH - IC₅₀ de los extractos de tomate de árbol*

| Variedad | Parte | Método de extracción | Media ± DE (IC ₅₀) |
|------------|---------|----------------------|--------------------------------|
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | 0.122 ± 0.032 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | 0.559 ± 0.017 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | 1.496 ± 0.125 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | 2.228 ± 0.123 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | 0.679 ± 0.070 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | 1.506 ± 0.377 |
| Roja | Cáscara | Convencional | 0.066 ± 0.031 |

| | | | |
|------|---------|--------------|---------------|
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | 0.412 ± 0.012 |
| Roja | Pulpa | Convencional | 1.281 ± 0.024 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | 1.842 ± 0.163 |
| Roja | Semilla | Convencional | 0.251 ± 0.006 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | 1.096 ± 0.162 |

Tabla 11
Análisis ANOVA de polifenoles totales

| Factor | Df | Suma de Cuadrados | Media de Cuadrados | F-value | p-valor | Significancia |
|-------------------------------------|----|-------------------|--------------------|----------|----------|---------------|
| Variedad | 1 | 84.8 | 84.8 | 166.845 | 2.68E-12 | *** |
| Parte | 2 | 1427.6 | 713.8 | 1404.778 | < 2e-16 | *** |
| Método de extracción | 1 | 9.8 | 9.8 | 19.274 | 0.000196 | *** |
| Variedad:Parte | 2 | 43.4 | 21.7 | 42.671 | 1.25E-08 | *** |
| Variedad:Método de extracción | 1 | 5.6 | 5.6 | 10.99 | 0.002903 | ** |
| Parte:Método de extracción | 2 | 2.2 | 1.1 | 2.146 | 0.138894 | |
| Variedad:Parte:Método de extracción | 2 | 5.1 | 2.5 | 4.996 | 0.015352 | * |
| Residuals | 24 | 12.2 | 0.5 | | | |

Tabla 12
Análisis tukey de polifenoles totales

| Variable | Comparación | Diferencia (diff) | Límite inferior (lwr) | Límite superior (upr) | p-ajustada |
|----------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| Variedad | Roja - Anaranjada | 3.069106 | 2.578714 | 3.559499 | 0 |
| Parte | Pulpa - Cáscara | -14.862472 | -15.589197 | -14.135748 | 0 |
| | Semilla - Cáscara | -11.00531 | -11.732034 | -10.278586 | 0 |
| | Semilla - Pulpa | 3.857162 | 3.130438 | 4.583887 | 0 |
| Método de Extracción | Ultrasonido - Convencional | 1.043135 | 0.5527422 | 1.533527 | 0.0001958 |

Tabla 13
Datos de polifenoles totales más menos desviación estándar

| Variedad | Parte | Método de extracción | Media \pm DE Polifenoles totales |
|-----------------|--------------|-----------------------------|--|
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | 18.167 \pm 0.171 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | 17.886 \pm 0.618 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | 4.744 \pm 0.140 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | 4.808 \pm 0.491 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | 5.472 \pm 0.044 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | 6.455 \pm 0.698 |
| Roja | Cáscara | Convencional | 19.758 \pm 0.735 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | 23.172 \pm 0.994 |
| Roja | Pulpa | Convencional | 4.639 \pm 0.284 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | 5.343 \pm 0.186 |
| Roja | Semilla | Convencional | 10.831 \pm 0.274 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | 12.204 \pm 1.793 |

Tabla 14*Resultados de perfil fenólico mas menos desviación estándar*

| Variedad | Parte | Método de Extracción | CATEQUI NA | ACIDO CAFEICO | PROCIANIDI NA B2 | EPICATEQ UINA | VANILIN A | RUTINA | PROCIANIDI NA A2 | OLEUPEU RINA | RESVERA TROL | QUERCE TINA |
|------------|---------|----------------------|----------------|------------------|---------------------|------------------|---------------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | 48.362 ± 0.891 | 0.194 ± 0.03 | 1.681 ± 0.07 | 0.533 ± 0.036 | 0 ± 0 | 0.887 ± 0.003 | 1.772 ± 0.524 | 82.513 ± 0.146 | 0.388 ± 0.002 | 0.351 ± 0.031 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | 51.41 ± 0.209 | 0.249 ± 0.04 | 1.356 ± 0.03 | 0.527 ± 0.028 | 0 ± 0 | 0.779 ± 0.002 | 2.834 ± 0.004 | 71.478 ± 0.255 | 0.328 ± 0.002 | 0.283 ± 0.002 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | 5.537 ± 0.103 | 0.102 ± 0.01 | 1.443 ± 0.04 | 0.154 ± 0.003 | 0 ± 0 | 0.153 ± 0.001 | 0.828 ± 0.007 | 6.078 ± 0.009 | 0.307 ± 0.001 | 0.273 ± 0.029 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | 5.815 ± 0.525 | 1.183 ± 0.19 | 0.585 ± 0.03 | 0 ± 0 | 0.151 ± 0.018 | 0.184 ± 0.05 | 2.701 ± 2.468 | 5.709 ± 0.515 | 0 ± 0 | 0 ± 0 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | 2.238 ± 0.147 | 0.286 ± 0.03 | 0.693 ± 0.06 | 0.185 ± 0.017 | 0 ± 0 | 0.077 ± 0.001 | 0.36 ± 0.003 | 1.537 ± 0.025 | 0 ± 0 | 0.27 ± 0.003 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | 0 ± 0 | 0.265 ± 0.04 | 0.556 ± 0.02 | 0.139 ± 0.006 | 0 ± 0 | 0.059 ± 0.005 | 0 ± 0 | 1.195 ± 0.038 | 0 ± 0 | 0 ± 0 |
| Roja | Cáscara | Convencional | 90.738 ± 1.308 | 0.641 ± 0.07 | 1.442 ± 0.03 | 0.42 ± 0.05 | 0.141 ± 0 | 0.718 ± 0.001 | 7.305 ± 0.16 | 64.243 ± 0.976 | 0.331 ± 0.031 | 0.266 ± 0.008 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | 72.075 ± 1.987 | 0.252 ± 0.02 | 0.861 ± 0.01 | 0.32 ± 0.19 | 0.13 ± 0.005 | 0.411 ± 0.01 | 3.476 ± 0.01 | 88.463 ± 0.578 | 0.339 ± 0.041 | 0.259 ± 0.001 |
| Roja | Pulpa | Convencional | 6.693 ± 0.059 | 0.117 ± 0.04 | 1.545 ± 0.09 | 0.119 ± 0.013 | 0 ± 0 | 0.142 ± 0.012 | 0.431 ± 0.17 | 7.477 ± 0.041 | 0 ± 0 | 0.311 ± 0.006 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | 6.643 ± 0.113 | 0.12 ± 0.03 | 1.218 ± 0.03 | 0 ± 0 | 0 ± 0 | 0.125 ± 0.001 | 0 ± 0 | 6.737 ± 0.109 | 0 ± 0 | 0 ± 0 |
| Roja | Semilla | Convencional | 7.314 ± 0.079 | 0.235 ± 0.04 | 1.667 ± 0.02 | 0 ± 0 | 0.103 ± 0.001 | 0.069 ± 0.001 | 3.599 ± 0.004 | 1.261 ± 0.004 | 0 ± 0 | 0 ± 0 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | 0 ± 0 | 0.217 ± 0.04 | 0.954 ± 0.09 | 0 ± 0 | 0.094 ± 0.001 | 0.047 ± 0.001 | 1.939 ± 0.024 | 0.965 ± 0.024 | 0 ± 0 | 0 ± 0 |

Tabla 15*Resultados de Halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol frente a S. aureus*

| Variedad | Parte | Método de extracción | Repetición | Bacteria | Halo de inhibición (mm) |
|-----------------|--------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R1 | S. aureus | 9 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R2 | S. aureus | 9.1 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R3 | S. aureus | 9 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R1 | S. aureus | 8.4 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R2 | S. aureus | 8.3 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R3 | S. aureus | 8.4 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R1 | S. aureus | 9 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R2 | S. aureus | 9.1 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R3 | S. aureus | 9.15 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R1 | S. aureus | 8 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R2 | S. aureus | 8.4 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R3 | S. aureus | 8.6 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R1 | S. aureus | 8.1 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R2 | S. aureus | 8.15 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R3 | S. aureus | 8.2 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R1 | S. aureus | 8.5 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R2 | S. aureus | 8.55 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R3 | S. aureus | 8.5 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R1 | S. aureus | 10 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R2 | S. aureus | 10.4 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R3 | S. aureus | 10.3 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R1 | S. aureus | 9 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R2 | S. aureus | 9.1 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R3 | S. aureus | 9.15 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R1 | S. aureus | 10.4 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R2 | S. aureus | 10.45 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R3 | S. aureus | 10.4 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R1 | S. aureus | 9 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R2 | S. aureus | 9.1 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R3 | S. aureus | 9.1 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R1 | S. aureus | 9.1 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R2 | S. aureus | 9 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R3 | S. aureus | 9 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R1 | S. aureus | 8 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R2 | S. aureus | 8.5 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R3 | S. aureus | 8 |

Tabla 16*Resultados de halo de inhibición de los extractos de tomate de árbol frente a E. coli*

| Variedad | Parte | Método de extracción | Repetición | Bacteria | Halo de inhibición |
|-----------------|--------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R1 | E. coli | 7.2 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R2 | E. coli | 7.4 |
| Anaranjada | Cáscara | Ultrasonido | A1R3 | E. coli | 7.3 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R1 | E. coli | 7 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R2 | E. coli | 7.5 |
| Anaranjada | Pulpa | Ultrasonido | A2R3 | E. coli | 7 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R1 | E. coli | 7.6 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R2 | E. coli | 7.6 |
| Anaranjada | Semilla | Ultrasonido | A3R3 | E. coli | 7.5 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R1 | E. coli | 6 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R2 | E. coli | 6.5 |
| Anaranjada | Cáscara | Convencional | A1R3 | E. coli | 6 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R1 | E. coli | 6.7 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R2 | E. coli | 6.8 |
| Anaranjada | Pulpa | Convencional | A2R3 | E. coli | 6.9 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R1 | E. coli | 6 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R2 | E. coli | 6.5 |
| Anaranjada | Semilla | Convencional | A3R3 | E. coli | 6.5 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R1 | E. coli | 7.75 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R2 | E. coli | 7.3 |
| Roja | Cáscara | Ultrasonido | B1R3 | E. coli | 7.2 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R1 | E. coli | 6.55 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R2 | E. coli | 6.45 |
| Roja | Pulpa | Ultrasonido | B2R3 | E. coli | 6.5 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R1 | E. coli | 7.4 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R2 | E. coli | 7.5 |
| Roja | Semilla | Ultrasonido | B3R3 | E. coli | 7.45 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R1 | E. coli | 6 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R2 | E. coli | 6.5 |
| Roja | Cáscara | Convencional | B1R3 | E. coli | 6 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R1 | E. coli | 6.3 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R2 | E. coli | 6.2 |
| Roja | Pulpa | Convencional | B2R3 | E. coli | 6.25 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R1 | E. coli | 6.1 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R2 | E. coli | 6.15 |
| Roja | Semilla | Convencional | B3R3 | E. coli | 6 |