

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL
SACHATOMATE (*Cyphomandra betacea*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

DANIELA ALEXANDRA MAYHUA ESTEBAN

LIMA – PERÚ

2022

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente
investigación (Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	DOCUMENTO TESIS FINAL- Daniela Mayhua...pdf (D144978269)
Submitted	9/27/2022 10:19:00 PM
Submitted by	Luis
Submitter email	lcondezo@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	lcondezo.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS "TITULO: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL SACHATOMATE (Cyphomandra betacea)" TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS DANIELA ALEXANDRA MAYHUA ESTEBAN LIMA – PERÚ 2022

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS "CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL SACHATOMATE (Cyphomandra betacea)" Presentado por: DANIELA ALEXANDRA MAYHUA ESTEBAN TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado: Dr. Marcial I. Silva Jaimes PRESIDENTE Dra. Ana C. Aguilar Galvez Dra. Patricia Glorio Paulet MIEMBRO MIEMBRO Dr. Luis A. Condezo Hoyos Dra. Paola Cortés Avendaño ASESOR CO-ASESOR Lima – Perú 2022

COPIA DEL ACTA DE SUSTENTACIÓN (no se coloca el texto, es solo para indicar la posición del Acta)

DEDICATORIA A mis papás, Octavio y Silvia, las dos personas más importantes en mi vida, por su apoyo y motivación desde siempre. A mis

hermanos, Giuliana, Gabriela y Octavio, quienes siempre confían en mí; mis logros son los suyos también.

AGRADECIMIENTO • A mis asesores Dr. Luis Alberto Condezo Hoyos y la Dra. Paola Cortés Avendaño, por la confianza depositada y su indiscutible guía y apoyo en la ejecución de la presente investigación. • Al MSc. Víctor Delgado Soriano por la orientación y apoyo en las metodologías. • A

la Dra. Clara Espinoza Silva de la Universidad del Centro del Perú por su apoyo en el trabajo de investigación. •

A Jacqueline Valqui Cama por su apoyo en las diversas fases de la parte experimental. • Al Vicerrectorado de Investigación por el financiamiento económico para la realización de la presente tesis, ganado bajo el marco del 10^a Concurso para subvención de tesis de pregrado UNALM 2020.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL
SACHATOMATE (*Cyphomandra betacea*)”**

Presentado por:

DANIELA ALEXANDRA MAYHUA ESTEBAN

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Marcial I. Silva Jaimes
PRESIDENTE

Dra. Patricia Glorio Paulet
MIEMBRO

Dra. Ana C. Aguilar Galvez
MIEMBRO

Dr. Luis A. Condezo Hoyos
ASESOR

PhD. Paola M. Cortés Avendaño
CO-ASESORA

Lima-Perú

2022

DEDICATORIA

A mis papás, Octavio y Silvia,
las dos personas más importantes en mi vida,
por su apoyo y motivación desde siempre.

A mis hermanos, Giuliana, Gabriela y Octavio,
quienes siempre confían en mí; mis logros
son los suyos también.

AGRADECIMIENTO

- A mis asesores Dr. Luis Alberto Condezo Hoyos y la Dra. Paola Cortés Avendaño, por la confianza depositada y su indiscutible guía y apoyo en la ejecución de la presente investigación.
- Al MSc. Víctor Delgado Soriano por la orientación y apoyo en las metodologías.
- A la Dra. Clara Espinoza Silva de la Universidad del Centro del Perú por su apoyo en el trabajo de investigación.
- A Jacqueline Valqui Cama por su apoyo en las diversas fases de la parte experimental.
- Al Vicerrectorado de Investigación por el financiamiento económico para la realización de la presente tesis, ganado bajo el marco del 10^a Concurso para subvención de tesis de pregrado UNALM 2020.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. SACHATOMATE.....	3
2.1.1. GENERALIDADES	3
2.1.2. TAXONOMÍA	4
2.1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y COMPUESTOS BIOACTIVOS	4
2.2. COMPUESTOS FENÓLICOS EN FRUTAS.....	5
2.2.1. ÁCIDOS FENÓLICOS	6
2.2.2. FLAVONOIDES	7
2.3. CAROTENOIDES EN FRUTAS	8
2.4. ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ALIMENTOS	9
2.4.1. ESTADO FÍSICO Y QUÍMICO DE LOS ANTIOXIDANTES.....	9
2.4.2. EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN FRUTAS	11
2.4.3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN	12
2.5. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA Y PREBIÓTICA DE COMPUESTOS FENÓLICOS	19
III. METODOLOGÍA	23
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	23
3.2. MATERIA PRIMA.....	23
3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	23
3.3.1. MATERIALES	23
3.3.2. EQUIPOS	24
3.3.3. REACTIVOS	25

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	26
3.4.1. ANÁLISIS PROXIMAL	26
3.4.2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	27
3.4.3. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS	29
3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	31
3.4.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA.....	33
3.4.6. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA.....	34
3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	36
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	37
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL FRUTO SACHATOMATE	41
4.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS PARTES DEL FRUTO SACHATOMATE (SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA)	43
4.2.1. CONTENIDO TOTAL DE CAROTENOIDES.....	43
4.2.2. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES. Y TOTALES	46
4.2.3. CONTENIDO TOTAL DE FLAVONOIDES.....	51
4.2.4. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE Y TOTAL.....	52
4.2.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA.....	61
4.2.6. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA.....	67
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES	74
VII. BIBLIOGRAFÍA	75
VIII. ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica del sachatomate.....	4
Tabla 2: Análisis nutricional y compuestos bioactivos del fruto de sachatomate (mg/100 g)	5
Tabla 3: Métodos para determinar la capacidad antioxidante	13
Tabla 4: Microorganismos considerados como bacterias probióticas	22
Tabla 5: Diseño experimental.....	40
Tabla 6: Análisis proximal del sachatomate (g/100 g de fruta).....	42
Tabla 7: Características fisicoquímicas del sachatomate	43
Tabla 8: Parámetros de inhibición y los valores del IC ₅₀ contra <i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i> por el extracto de las partes del sachatomate procedentes de Cajamarca y Huánuco ..	65
Tabla 9: Parámetros de crecimiento contra <i>L. rhamnosus</i> GG y <i>L. plantarum</i> 299v por el extracto de las partes del sachatomate procedentes de Cajamarca y Huánuco	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Frutos de sachatomate.....	3
Figura 2: Sección transversal de las partes del sachatomate.....	4
Figura 3: Estructura básica de un compuesto fenólico.....	6
Figura 4: Estructura básica de los flavonoides.....	7
Figura 5: Estructura básica del β -caroteno.....	8
Figura 6: Formas y ubicaciones de los compuestos antioxidantes en una matriz alimentaria.....	10
Figura 7: Variación de color en el método DPPH (a); Esquema de reacción del radical DPPH (b)	16
Figura 8: Variación de color en el método ABTS (a); Esquema de reacción del radical ABTS (b)	17
Figura 9: Esquema básico de reacción del alimento sólido	18
Figura 10: Mecanismo antimicrobiano de los compuestos fenólicos	20
Figura 11: Flujo de obtención de harina de sachatomate.....	36
Figura 12: Contenido total de carotenoides de semilla (S), pulpa (P), cáscara (C) de Huánuco y Cajamarca.	44
Figura 13: Espectro de absorción de los extractos acetónicos de la semilla (S), pulpa (P) y cáscara (C) procedentes de Huánuco (A) y Cajamarca (B).....	46
Figura 14: Compuestos fenólicos extractables de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C)..	48
Figura 15: Compuestos fenólicos extractables y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C)..	50
Figura 16: Contenido total de flavonoides de semilla (S), pulpa (P), cáscara (C) de Huánuco y Cajamarca.....	51
Figura 17: Capacidad antioxidante de la fracción extractable de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C)..	53
Figura 18: Capacidad antioxidante de la fracción extractable y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C)..	56

Figura 19: Capacidad antioxidante de la fracción extractable de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C).	58
Figura 20: Capacidad antioxidante de la fracción extractable y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C).	60
Figura 21: Porcentaje de inhibición de crecimiento de <i>E. coli</i> a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). 62	
Figura 22: Porcentaje de inhibición del crecimiento de <i>S. aureus</i> a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B).	63
Figura 23: Porcentaje de crecimiento de <i>L. rhamnosus GG</i> a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). 68	
Figura 24: Porcentaje de crecimiento de <i>L. plantarum 299v</i> a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). 69	

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.02-0.1 mg/ml) A 760 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES.....	87
ANEXO 2: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (1.4-11 µg) A 760 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES	88
ANEXO 3: RECTA DE CALIBRACIÓN DE CATEQUINA (0.025-0.25 mg/l) A 510 nm PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FLAVONOIDES	89
ANEXO 4: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.002-0.024 mg/ml) A 520 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE RADICAL LIBRE DPPH	90
ANEXO 5: RECTA DE CALIBRACIÓN DE TROLOX (0.01-0.1 mg/ml) A 734 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE RADICAL LIBRE ABTS	91
ANEXO 6: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.31-1.83 µg) A 520 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR EL MÉTODO QUENCHER-DPPH.....	92
ANEXO 7: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.14-0.83 µg) A 734nm PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR EL MÉTODO QUENCHER-ABTS.....	93
ANEXO 8: MÉTODO DE MICRODILUCIÓN	94
ANEXO 9: ANÁLISIS DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL SACHATOMATE	95
ANEXO 10: COMPARACIÓN DE LAS FRACCIONES EXTRACTABLES, NO EXTRACTABLES Y TOTAL DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL SACHATOMATE.....	96
ANEXO 11: ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES	97
ANEXO 12: INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>S. aureus</i> A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE	121
ANEXO 13: INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>E. coli</i> A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE	122

ANEXO 14: CRECIMIENTO DE <i>L. plantarum</i> A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE.....	123
ANEXO 15: CRECIMIENTO DE <i>L. rhamnosus</i> A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE.....	124

RESUMEN

En este trabajo de investigación se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional del sachatomate (*Cyphomandra betacea*) para el desarrollo de productos en el mercado de alimentos funcionales a partir de las partes del fruto como la cáscara, semillas y pulpa procedentes de los departamentos de Huánuco y Cajamarca. Se evaluó para cada parte del fruto: el contenido de carotenoides totales, compuestos fenólicos extractables y total (QUENCHER), flavonoides totales, capacidad antioxidante extractable y total (QUENCHER), la actividad antimicrobiana frente a *E. coli* ATCC® 25922TM y *S. aureus* ATCC® 25923TM, y la actividad prebiótica usando *Lactobacillus plantarum* 299v y *Lactobacillus rhamnosus* GG. Los resultados revelaron que la cáscara poseía un mayor contenido de carotenoides que las semillas y pulpa, un mayor contenido de compuestos fenólicos extractables, capacidad antioxidante extractable y total (QUENCHER) que las semillas seguido que la pulpa, y un mayor contenido de compuestos fenólicos total (QUENCHER), flavonoides que las semillas y pulpa. Además, la cáscara demostró una mayor actividad antimicrobiana frente *E. coli* y *S. aureus*, seguido por las semillas y luego la pulpa procedente de Cajamarca. Todos los extractos mostraron actividad prebiótica frente a *L. rhamnosus* y *L. plantarum*. A partir de los resultados del estudio actual, se puede concluir que, entre las diversas partes de la fruta del sachatomate, la cáscara tiene la actividad antioxidante y antimicrobiana más alta, mientras que la pulpa tiene la menor. Las cáscaras y las semillas no sólo son potentes en sus efectos antioxidantes y antimicrobianos con niveles apreciables de compuestos fenólicos en relación con las otras partes, sino que también poseen actividad prebiótica sobre el crecimiento de dos bacterias probióticas acidolácticas. En general, las muestras estudiadas resultan ser una buena fuente de antioxidantes sobre todo de compuestos fenólicos, cuyo uso podría ser adecuado en la formulación de alimentos funcionales.

Palabras clave: *Cyphomandra betaceae*, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, actividad antimicrobiana, actividad prebiótica

ABSTRACT

In this research work, the physicochemical and functional characterization of sachatomate (*Cyphomandra betacea*) was carried out for the development of products in the functional food market from parts of the fruit such as peel, seeds and pulp from the departments of Huánuco and Cajamarca. The following were evaluated for each part of the fruit: the content of total carotenoids, extractable and total phenolic compounds (QUENCHER), total flavonoids, extractable and total antioxidant capacity (QUENCHER), antimicrobial activity against *E. coli* ATCC® 25922TM and *S. aureus* ATCC® 25923TM, and prebiotic activity using *Lactobacillus plantarum* 299v and *Lactobacillus rhamnosus* GG. The results revealed that the peel had a higher carotenoid content than seeds and pulp, a higher content of extractable phenolic compounds, extractable and total antioxidant capacity (QUENCHER) than seeds followed by pulp, and a higher content of total phenolic compounds (QUENCHER), flavonoids than seeds and pulp. In addition, the peel showed higher antimicrobial activity against *E. coli* and *S. aureus*, followed by the seeds and then the pulp from Cajamarca. All extracts showed prebiotic activity against *L. rhamnosus* and *L. plantarum*. From the results of the current study, it can be concluded that, among the various parts of the sachatomate fruit, the peel has the highest antioxidant and antimicrobial activity, while the pulp has the lowest. Not only are the peels and seeds potent in their antioxidant and antimicrobial effects with appreciable levels of phenolic compounds relative to the other parts, but they also possess prebiotic activity on the growth of two probiotic acid lactic acid bacteria. In general, the samples studied prove to be a good source of antioxidants, especially phenolic compounds, whose use could be appropriate in the formulation of functional foods.

Keywords: *Cyphomandra betacea*, phenolic compounds, antioxidant capacity, antimicrobial activity, prebiotic activity

I. INTRODUCCIÓN

El Perú presenta una gran variedad de frutos silvestres nativos que se identifican como cultivos subutilizados, debido a su baja producción que hace que estén ausentes tanto en el supermercado nacional como en el mercado de exportación. Sin embargo, los frutos silvestres nativos pueden ser de interés debido a su valor nutricional y funcional (Pastor *et al.*, 2008). De allí, que estos frutos han cobrado interés para la academia y potencialmente para la industria y los consumidores interesados en seguir una dieta saludable. Por lo tanto, la revalorización de estos frutos poco conocidos, a través de su caracterización funcional para el mercado de alimentos y/o ingredientes funcionales (Coelho *et al.*, 2019) sería una alternativa comercial para el poblador rural del Perú.

Dentro de la variedad de especies originarias del Perú, se encuentra el sachatomate (*Cyphomandra betacea*), también conocido como tomate de árbol o tamarillo, que crece de forma natural en los Andes del Perú (Calvo, 2009). El sachatomate posee una alta capacidad antioxidante debido, entre otros compuestos, a la presencia de compuestos fenólicos (Vasco *et al.*, 2008; Vasco *et al.*, 2009; Hurtado *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2009) que incluyen ácidos hidroxicinámicos (ácidos cafeicos, ferúlicos, p-cumáricos y rosmarínicos); ácidos hidroxibenzoicos (ácidos gálicos y vanílicos); flavonol (kaempferol) y flavanona (naringina) (Espin *et al.*, 2016; Mutalib *et al.*, 2016). Así mismo, el sachatomate es rico en otros antioxidantes como la vitamina C (Acosta *et al.*, 2015), carotenoides como criptoxantina y β -caroteno (Portela, 1999) y algunas variedades también contienen antocianinas como cianidina-3-glucósido (Diep *et al.*, 2020c). Por lo expuesto, el sachatomate es una fruta silvestre nativa que podría ser usado en la formulación y desarrollo de alimentos funcionales con alto valor agregado (Guevara, 2015; Figueroa, 2016; León, 2019).

Actualmente no se dispone de información sobre el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de las diferentes partes del sachatomate (pulpa, cáscara y semilla) procedentes de dos regiones productoras del Perú y de manera complementaria, la

información científica sobre la actividad antimicrobiana y prebiótica de la pulpa, cáscara y semilla es escasa. Las dos últimas fracciones del fruto, habitualmente un residuo de procesamiento, pueden ser un potencial ingrediente funcional.

En este contexto y con la visión de que las diferentes partes del fruto de sachatomate podrían ser utilizadas en el mercado de alimentos funcionales, el objetivo general de la presente investigación fue caracterizar fisicoquímica y funcionalmente el sachatomate (*Cyphomandra betacea*). Para ello, se plantearon como objetivos específicos caracterizar fisicoquímica y proximalmente el fruto de sachatomate procedente de dos departamentos del Perú, Huánuco y Cajamarca; así mismo, evaluar el contenido de carotenoides totales, compuestos fenólicos extractables y total (QUENCHER), flavonoides totales, capacidad antioxidante extractable y total (QUENCHER) de la cáscara, semilla y pulpa del sachatomate de dos lugares de procedencia. Por último, evaluar la actividad antimicrobiana frente a *E. coli* ATCC® 25922TM y *S. aureus* ATCC® 25923TM, y la actividad prebiótica de las partes del fruto usando *Lactobacillus plantarum* 299v y *Lactobacillus rhamnosus* GG.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SACHATOMATE

2.1.1. GENERALIDADES

El frutal del sachatomate es originario de la región andina y abarca varios países (Peñañiel, *et al.*, 2009) como Perú, Chile, Argentina, Ecuador y Bolivia. En el Perú principalmente se producen en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Junín, Pasco y San Martín a una altitud sobre los 1000- 2500 msnm (Fernández, 2014).

El fruto de sachatomate es una baya carnosa de forma ovoidal o elipsoidal de 8 cm de largo y 5 cm de diámetro (Repo & Encina, 2008) (**Figura 1**). Según la variedad, cambia de color verde a morado, rojo, ámbar o dorado durante su maduración (Ramírez & Kallarackal, 2019). El fruto está conformado por tres partes diferenciadas: la cáscara o epicarpio que protege al fruto; la pulpa que representa la parte comestible y puede ser de color amarillo, anaranjado, tonos rojos o crema y, las semillas, que se encuentran en la parte interna rodeadas por un mucílago son delgadas de color morado, rojo o amarillo y cuyo número es alrededor de 250 unidades (**Figura 2**) (Meza & Manzano, 2009; Suárez, 2021).



Figura 1: Frutos de sachatomate

FUENTE: Amaya & Julca (2006).

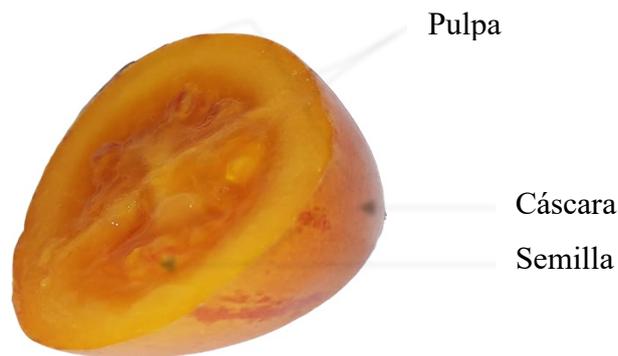


Figura 2: Sección transversal de las partes del sachatome

FUENTE: Elaboración propia.

2.1.2. TAXONOMÍA

El sachatome, también conocido como tomate de árbol, es un fruto perteneciente a la familia Solanáceas y género *Cyphomandra*. En la **Tabla 1** se muestra la clasificación taxonómica.

Tabla 1: Clasificación taxonómica del sachatome

División	Angiosperma
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanácea
Género	<i>Cyphomandra</i>
Especie	<i>Betacea</i>

FUENTE: Acevedo & Cedeño (2009).

2.1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y COMPUESTOS BIOACTIVOS

El sachatome posee varios compuestos nutricionales y bioactivos, incluyendo vitaminas A, C, B y E y minerales como hierro, potasio, fósforo y magnesio. También se contiene antioxidantes como compuestos fenólicos, antocianinas, carotenoides (β -caroteno) y flavonoides (**Tabla 2**), que le confiere importantes efectos fisiológicos beneficiosos para la salud (Vasco *et al.*, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Ghosal *et al.*, 2013). Estudios realizados sobre los compuestos antioxidantes del sachatome en Nueva Zelanda, Brasil y Ecuador informan

de la presencia de compuestos fenólicos tales como el ácido clorogénico y cafeico; antocianinas como 3-rutinósidos y 3-glucósidos de pelargonidina, cianidina, delphinidina (Osorio *et al.*, 2012) y carotenoides donde destaca principalmente el β -caroteno (Muñoz *et al.*, 2009).

Tabla 2: Análisis nutricional y compuestos bioactivos del fruto de sachatomate (mg/100 g)

Componente	Cantidad
Vitamina C	16.09
Minerales	
Fe	0.9
K	441.03
Ca	25.56
P	44.7
Zn	0.45
Compuestos fenólicos (equivalentes de ácido gálico)	88.92
Flavonoides (equivalentes de quercetina)	20
Antocianinas	167
Carotenoides (β -caroteno)	4

FUENTE: Repo & Encina (2008); Muñoz *et al.* (2009); Orqueda *et al.* (2017); Schotsmans (2011).

2.2. COMPUESTOS FENÓLICOS EN FRUTAS

Los compuestos fenólicos son producidos naturalmente en todas las plantas superiores como metabolitos secundarios a través de la vía shikimato-fenilpropanoide, que se originan directamente de los fenilpropanoides. Su estructura comprende un anillo aromático, que contiene uno o más sustituyentes hidroxilos (**Figura 3**). Pueden variar desde simples moléculas fenólicas hasta compuestos altamente polimerizados. La mayoría de los compuestos fenólicos ocurren naturalmente como conjugados con monosacáridos y polisacáridos, asociados con uno o más grupos fenólicos. Además, también se pueden vincular a ésteres y ésteres metílicos. Pese a que no participan directamente en el metabolismo fotosintético o respiratorio de las plantas, contribuyen en la protección contra agentes oxidantes y la radiación ultravioleta (Vuolo *et al.*, 2019).

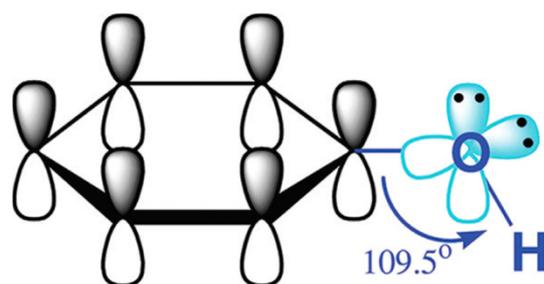


Figura 3: Estructura básica de un compuesto fenólico

FUENTE: Adaptado de Alara *et al.* (2021).

Se han identificado más de 800 tipos de compuestos fenólicos en frutas, verduras y plantas (Wong *et al.*, 2017). Principalmente en cultivares amarillos y rojo-púrpura de sachatome se han encontrado ocho ácidos hidroxicinámicos, dos ácidos hidroxibenzoicos, tres glucósidos fenólicos, un flavonol y una flavanona, en diferentes concentraciones según la variedad (Diep *et al.*, 2020d).

Se ha informado que los compuestos fenólicos poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, anticancerígenas y antiinflamatorias (Khatri *et al.*, 2019). Recientemente se ha sugerido su papel potencial como agente antiglicación, un proceso que se ha implicado en la mayoría de las complicaciones secundarias de la diabetes (Khatri *et al.*, 2019).

2.2.1. ÁCIDOS FENÓLICOS

Los ácidos fenólicos, pertenecientes a los compuestos fenólicos, se dividen en derivados del ácido benzoico y derivados del ácido cinámico, que contienen siete y nueve átomos de carbono. Los principales compuestos representativos son el ácido cafeico, el ácido clorogénico, el ácido ferúlico, el ácido gálico, el ácido gentásico y el ácido p-cumárico (Diep *et al.*, 2020d).

Los ácidos fenólicos poseen actividades antiinflamatorias, antibacterianas, antiproliferativas, anticancerígenas y antioxidantes (Chandrasekara, 2018). Por ejemplo, el ácido clorogénico, intermediario importante en la biosíntesis de lignina, muestra efectos

beneficios para la salud en términos de actividad antidiabética, inhibición del estrés oxidativo, reducción de los niveles de glucosa colesterol sérico, triglicéridos en sangre y normalización de las lipoproteínas (Diep *et al.*, 2020d).

Los ácidos fenólicos más comunes en los tejidos vegetales son los ácidos hidroxicinámicos (Khatri *et al.*, 2019). El principal ácido hidroxicinámico en el sachatomate de Ecuador y Nueva Zelanda es el ácido 3-O-cafeoliquínico o ácido clorogénico, seguido del ácido rosmarínico. El ácido clorogénico, el principal compuesto fenólico soluble de esta especie (Diep *et al.*, 2020d).

2.2.2. FLAVONOIDES

Los flavonoides poseen un esqueleto de 15 carbonos de la forma C6-C3-C6, con dos anillos aromáticos, A y B, unidos a través de un anillo heterocíclico C (**Figura 4**). En base al anillo C, al estado de oxidación y grupo funcional, se clasifican en seis grupos o familias como flavonas, catequinas, flavanonas, antocianidinas, isoflavonoides (Blasa *et al.*, 2010) y flavonoles (kaempferol, quercetina y miricetina) (De la rosa *et al.*, 2019).

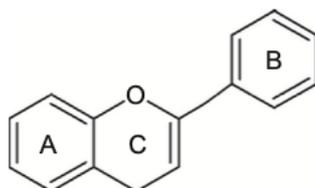


Figura 4: Estructura básica de los flavonoides

FUENTE: Vuolo *et al.* (2019).

Comprenden alrededor de 6000 compuestos de un total de 8000 compuestos fenólicos en alimentos vegetales. Se distribuyen en la mayoría de los tejidos vegetales, así como en las partes comestibles como frutas, semillas, etc., aportando color, sabor y astringencia (Swanson, 2003; De la rosa *et al.*, 2019). En las frutas y verduras, los flavonoides son los más abundantes, representan aproximadamente dos tercios de los compuestos fenólicos de la dieta; como grupo son los más bioactivos (De la rosa *et al.*, 2019).

La actividad antioxidante de los flavonoides resulta de la combinación de sus propiedades quelantes de hierro y secuestradoras de radicales libres, así como de la inhibición de oxidasas. No sólo pueden interferir en las reacciones de propagación de radicales libres, sino también en su formación (Pérez & Martínez, 2001).

2.3. CAROTENOIDES EN FRUTAS

Los carotenoides se clasifican en dos grupos en función a sus grupos funcionales: xantófilas, que contienen oxígeno como grupo funcional, incluyendo luteína y zeaxantina, y carotenos, que contienen sólo la cadena hidrocarbonada, como α -caroteno, β -caroteno y licopeno (Saini *et al.*, 2015). De forma general, consisten en ocho unidades de isoprenoides unidas de una manera específica en la que la organización de las unidades isoprenoides se invierte en el centro de la molécula, de modo que los grupos metilo no terminales están en una posición 1,5 y los dos grupos metilo centrales restantes están en una posición 1,6 (Figura 5).

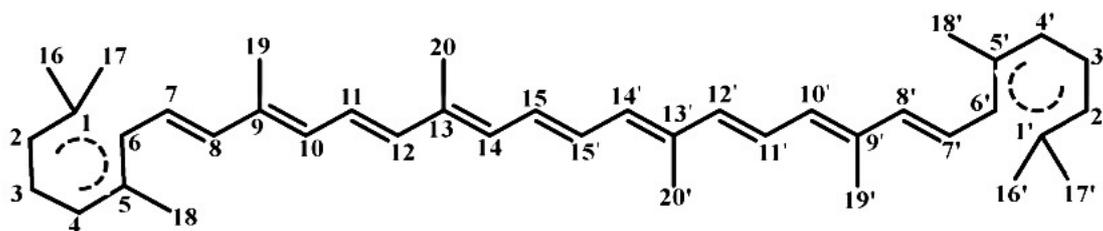


Figura 5: Estructura básica del β -caroteno

FUENTE: Saini *et al.* (2015).

En relación a su capacidad antioxidante, los carotenoides pueden actuar como captadores de radicales libres en ambientes lipofílicos como membranas y lipoproteínas, lo cual se asocia con una menor incidencia de cáncer, enfermedades cardiovasculares, degeneración macular relacionada con la edad y formación de cataratas (Von, 2020). Los humanos al no ser capaces de sintetizar carotenoides deben ingerirlos con los alimentos o a través de suplementos alimenticios (Eggersdorfer & Wyss, 2018).

Existen más de 650 tipos de carotenoides en la naturaleza, de los cuales hasta 100 se encuentran en la cadena alimentaria (Eggersdorfer & Wyss, 2018). La mayoría de frutas y

verduras son fuente de β -caroteno en comparación de su isómero geométrico α -caroteno (Saini *et al.*, 2015). Se puede predecir el tipo y disponibilidad de los carotenoides de acuerdo al color, las frutas amarillas-anaranjadas que suelen ser ricas en β -caroteno y α -caroteno (Saini *et al.*, 2015). El sachatomate presenta β -criptoxantina y β -caroteno (Mertz *et al.*, 2009) y el tomate contiene licopeno, responsable de su color rojo brillante (Saini *et al.*, 2015).

2.4. ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ALIMENTOS

La capacidad antioxidante de un alimento está relacionada con su contenido entre otros de compuestos fenólicos, carotenos, ácido ascórbico (Repo & Encina, 2008). Estos compuestos antioxidantes pueden eliminar los radicales libres y aumentar la vida útil de los alimentos retrasando principalmente el proceso de peroxidación de lípidos (Gülçin, 2012). Además, también protegen al cuerpo humano de los radicales libres y de los efectos de las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Gülçin, 2012). Un exceso de los mismos puede ser niveles tóxicos dando como resultado la producción de diversas acciones sobre el metabolismo de los principios inmediatos, que pueden ser origen del daño celular (Hensley *et al.*, 2004).

En las frutas, la vitamina C, E y carotenoides potencian la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos. Estudios epidemiológicos demuestran una relación inversa entre el consumo de frutas y verduras, y la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles como enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad, diabetes, etc. (De la rosa *et al.*, 2019). Justamente, en el sachatomate existen otros tipos de antioxidantes como la vitamina C y carotenoides que le confieren una mayor capacidad antioxidante que otras frutas como el kiwi y la uva (Espin *et al.*, 2016).

2.4.1. ESTADO FÍSICO Y QUÍMICO DE LOS ANTIOXIDANTES

Çelik & Gökmen (2021) sostienen que los antioxidantes pueden presentarse en diferentes formas en una matriz alimentaria (**Figura 6**), como se detallan a continuación:

1. Libre de interacciones físicas o químicas con otras macromoléculas (compuestos de bajo peso molecular).

2. Atrapados físicamente en la estructura celular o matriz alimentaria compleja.
3. Ligado químicamente a otras macromoléculas.
4. Insolubles (compuestos antioxidantes de alto peso molecular).

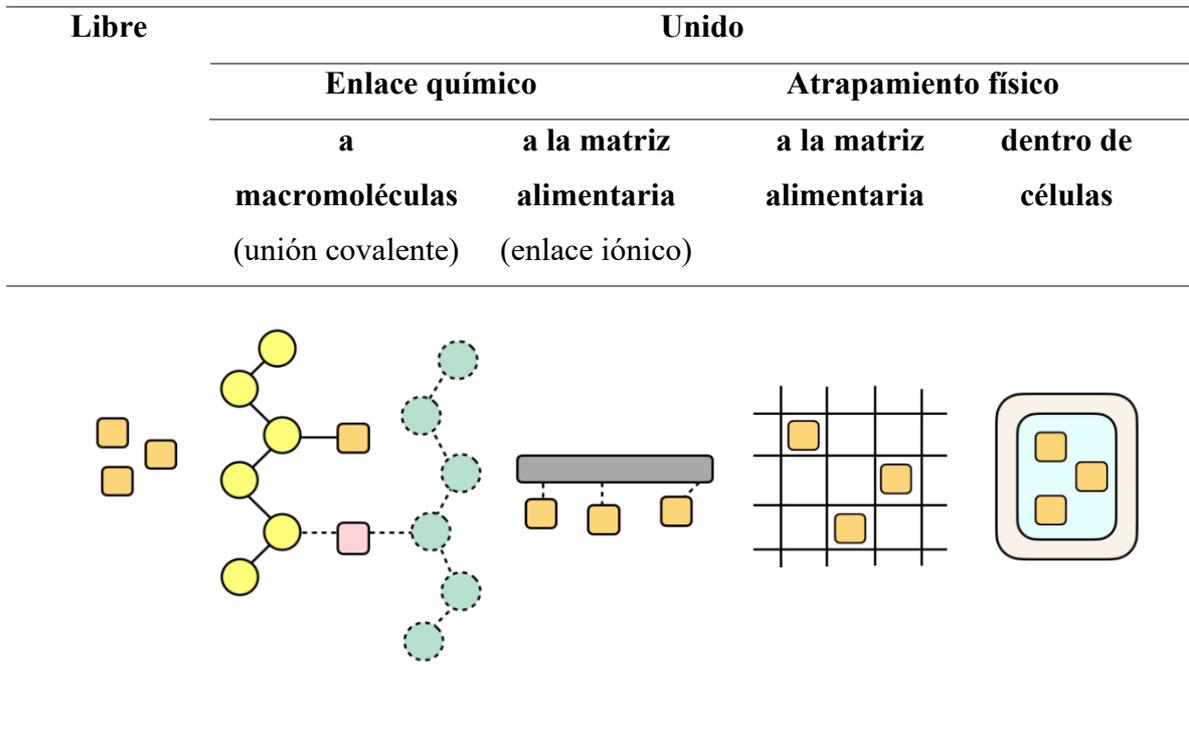


Figura 6: Formas y ubicaciones de los compuestos antioxidantes en una matriz alimentaria

FUENTE: Adaptado de Gökmen *et al.* (2009).

El primer grupo es el foco de la mayoría de los estudios sobre antioxidantes debido a que incluye todos los compuestos que pueden extraerse fácilmente con agua o mezclas hidroalcohólicas de alimentos y bebidas. En el caso de las frutas y verduras, una gran parte de los antioxidantes, que se encuentran en los tejidos están libres. El ácido ascórbico y los tocoferoles solubles en lípidos se encuentran también en forma libre. También se incluyen los ácidos fenólicos, como el cinámico y el benzoico, los flavonoides, los estilbenos, los lignanos, los taninos hidrolizables y los flavonoides polimerizados. Sin embargo, los flavonoides polimerizados pueden cambiar fácilmente al grupo de antioxidantes unidos a macromoléculas, dependiendo de su grado de polimerización (Çelik & Gökmen, 2021).

En el segundo grupo, se incluyen los compuestos que poseen una interacción no covalente con los componentes de la matriz alimentaria, así como los que se encuentran atrapados físicamente en la estructura celular. En algunos alimentos, como tomates y cebollas, los flavonoides se concentran en la cáscara, donde se encuentran atrapados físicamente en la red de pectina y dificulta su extracción (Gökmen *et al.*, 2009).

En cuanto al tercer grupo, resaltan los cereales por tener alrededor del 95 por ciento de compuestos fenólicos unidos a los polisacáridos de la pared celular por enlace éster. Por último, en el cuarto grupo se consideran a las proteínas insolubles, taninos y melanoidinas que pueden actuar como antioxidantes pero que son insolubles en agua y en otros solventes (Gökmen *et al.*, 2009).

2.4.2. EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN FRUTAS

Los compuestos fenólicos pueden encontrarse en las células vegetales tanto de forma libre como unida por enlaces covalentes. Los compuestos fenólicos libres son fácilmente extraíbles por solventes, a diferencia de los compuestos unidos que no es posible su extracción con solventes acuosos u orgánicos (Su *et al.*, 2014). Por lo tanto, existen diferentes métodos de extracción para recuperar los compuestos antioxidantes de una matriz alimentaria, como, por ejemplo, la extracción sólido-líquido, extracción asistida por ultrasonido, la extracción asistida por microondas y la extracción de fluidos supercríticos (Alara *et al.*, 2021). Uno de los métodos más utilizados es la extracción sólido-líquido, donde se emplean diferentes solventes, como agua caliente, metanol, etanol, acetona, metanol-amoníaco-agua y acetato de etilo (Chandrasekara, 2018).

Un solvente ideal debe tener las siguientes características: alta capacidad para que el soluto se separe en él, debe ser selectivo, debe disolver el componente específico, debe ser químicamente estable, debe ser regenerable y debe tener baja viscosidad para facilitar el bombeo y transporte (Oroian & Escriche, 2015). Se ha demostrado que el empleo de ácidos orgánicos en los solventes logra una mayor liberación de los compuestos fenólicos unidos, que se traduce en una mayor extracción (Gökmen *et al.*, 2009).

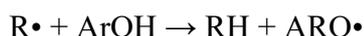
El rendimiento de extracción de compuestos antioxidantes del material vegetal está influenciado principalmente por las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de extracción líquido-sólido. Como cada material vegetal tiene propiedades únicas en términos de estructura y composición, el comportamiento del sistema material-solvente resultante es impredecible cuando están combinados con solventes (Oroian & Escriche, 2015).

2.4.3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

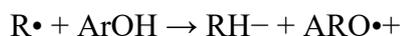
a. CLASIFICACIÓN

Los métodos para determinar la capacidad antioxidante se clasifican en dos categorías de acuerdo al mecanismo de acción: Transferencia de Átomos de Hidrógeno (HAT) y Transferencia de Electrones Simples (SET).

En el primer mecanismo, el radical libre ($R\bullet$) elimina un átomo de hidrógeno del antioxidante ($ArOH$), convirtiéndose en radical. Cuanto menor sea la energía de disociación de los enlaces O-H, más fácil será la reacción de la inactivación del radical libre y, por lo tanto, mayor será la acción antioxidante (Vuolo *et al.*, 2019). A este grupo de métodos pertenecen los procedimientos ORAC, HORAC y TRAP (Munteanu & Apetrei, 2021).



En el segundo mecanismo, el antioxidante ($ArOH$) dona un electrón al radical libre ($R\bullet$), convirtiéndose en un radical catiónico. En este mecanismo, cuanto menor sea la ionización potencial, más fácil será la abstracción de electrones, lo que significa una mayor actividad antioxidante (Vuolo *et al.*, 2019). Se incluyen los ensayos de Folin-Ciocalteu (FC), FRAP y CUPRAC (Munteanu & Apetrei, 2021).



Independientemente del mecanismo de reacción, se tendrá como resultado la activación de radicales por parte de los antioxidantes, pero la cinética y las etapas de reacción son

diferentes. Las reacciones SET y HAT junto con las reacciones de intercambio de protones pueden ocurrir en paralelo con las reacciones principales, y en este caso, en un sistema determinado, el mecanismo dominante depende de la estructura y propiedades antioxidantes, la solubilidad y el coeficiente de partición, así como del solvente del sistema. Los métodos de modo mixto incluyen principalmente los métodos de DPPH y ABTS (Munteanu & Apetrei, 2021). En la **Tabla 3** se presentan los métodos para evaluar la capacidad antioxidante. Se dividen en tres técnicas: espectrometría, técnicas electroquímicas y cromatografía.

Tabla 3: Métodos para determinar la capacidad antioxidante

Ensayo de capacidad antioxidante	Principio del método	Determinación del producto final
Espectrometría		
DPPH	Reacción: antioxidante con un radical orgánico.	Colorimetría.
ABTS	Reacción: antioxidante con un radical catiónico orgánico.	Colorimetría.
FRAP	Reacción: antioxidante con un complejo de Fe (III).	Colorimetría.
PFRAP	Reducción de ferricianuro de potasio por antioxidantes y posterior reacción de ferrocianuro de potasio con Fe ³⁺ .	Colorimetría.
CUPRAC	Reducción de Cu (II) a Cu (I) por antioxidantes.	Colorimetría.
ORAC	Reacción: antioxidante con radicales peroxilo inducida por AAPH (2,2'-azobis-2-amidino-propano).	Pérdida de fluorescencia de la fluoresceína.
HORAC	Capacidad antioxidante para extinguir los radicales OH generados por un sistema tipo Fenton basado en Co (II).	Pérdida de fluorescencia de fluoresceína.
TRAP	Capacidad antioxidante para eliminar radicales derivados de luminol, generados por la descomposición de AAPH.	Quimioluminiscencia quenching.
Fluorometría	Emisión de luz por una sustancia que ha absorbido luz u otra radiación electromagnética de una longitud de onda diferente.	Registro de espectros de excitación/emisión de fluorescencia.

«Continuación»

Ensayo de capacidad antioxidante	Principio del método	Determinación del producto final
Técnicas electroquímicas		
Voltametría cíclica	El potencial de un electrodo de trabajo varía linealmente desde un valor inicial hasta un valor final y viceversa, y se registra la intensidad de corriente respectiva.	Medición de la intensidad del pico catódico/anódico.
Amperometría	El potencial del electrodo de trabajo se establece en un valor fijo con respecto a un electrodo de referencia.	Medición de la intensidad de la corriente generada por la oxidación/reducción de un analito electroactivo.
Bioamperometría	La reacción del analito (antioxidante) con la forma oxidada de un reversible indicando la pareja redox.	Medición de la corriente que fluye entre dos electrodos idénticos de trabajo, con una pequeña diferencia de potencial e inmersa en una solución que contenga la muestra analizada y una pareja redox reversible.
Cromatografía		
Cromatografía de gases	La separación de los compuestos en una mezcla se basa en la distribución entre una fase líquida estacionaria y una fase móvil gaseosa.	Detección de ionización de llama o conductividad térmica.
Cromatografía líquida de alta performance	La separación de los compuestos en una mezcla se basa en la distribución entre una fase estacionaria sólida y una fase móvil líquida con diferentes polaridades, a un alto caudal y presión de la fase móvil.	Detección UV-VIS (por ejemplo, conjunto de diodos) fluorescencia, espectrometría de masas o detección electroquímica.

ORAC - Capacidad de absorción de radicales de oxígeno; HORAC - Capacidad antioxidante de radicales hidroxilos; TRAP - Parámetro antioxidante de trampa de radicales de peróxidos totales; CUPRAC - Poder antioxidante de reducción de la cúprica; FRAP - Poder antioxidante reductor de férrico; PFRAP - poder reductor de ferricianuro de potasio; ABTS—2,2'-Azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6- ácido sulfónico); DPPH— [2,2-di(4-tert-octilfenil)- 1-picrilhidracilo].

FUENTE: Adaptado de Moharram & Youssef (2014).

Los métodos más usados para medir la capacidad antioxidante en frutas, usan los radicales 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) (ABTS) y 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) (Márquez *et al.*, 2014). Las características de cualquier método de capacidad antioxidante son un iniciador de la oxidación, un sustrato adecuado y una medida apropiada del punto final de reacción (Karadag *et al.*, 2009).

b. MÉTODO DEL RADICAL LIBRE DPPH

El método DPPH es uno de los métodos más populares y ampliamente empleado para medir la capacidad de los compuestos para actuar como captadores de radicales libres o donantes de hidrógeno, y para evaluar la capacidad antioxidante de los alimentos (Pyrzynska & Pękal, 2013).

El radical libre DPPH[•] es un compuesto nitrogenado orgánico estable de intenso color púrpura y está disponible comercialmente. Cuando una solución del radical DPPH[•] se mezcla con un compuesto antioxidante/reductor, su color cambia de púrpura intenso a amarillo pálido correspondiente a la hidracina DPPH₂ (**Figura 7**). La capacidad reductora de los antioxidantes frente al DPPH[•] se puede evaluar monitoreando la disminución de su absorbancia a 515-528 nm, ya que la hidracina formada (DPPH₂) produce una solución amarilla o por resonancia de espín electrónico. El método DPPH implica una reacción de transferencia inicial de electrones muy rápida y una posterior transferencia de hidrógeno más lenta, esto depende del solvente de aceptación de enlaces de hidrógeno utilizado, como metanol y etanol (Pyrzynska & Pękal, 2013).

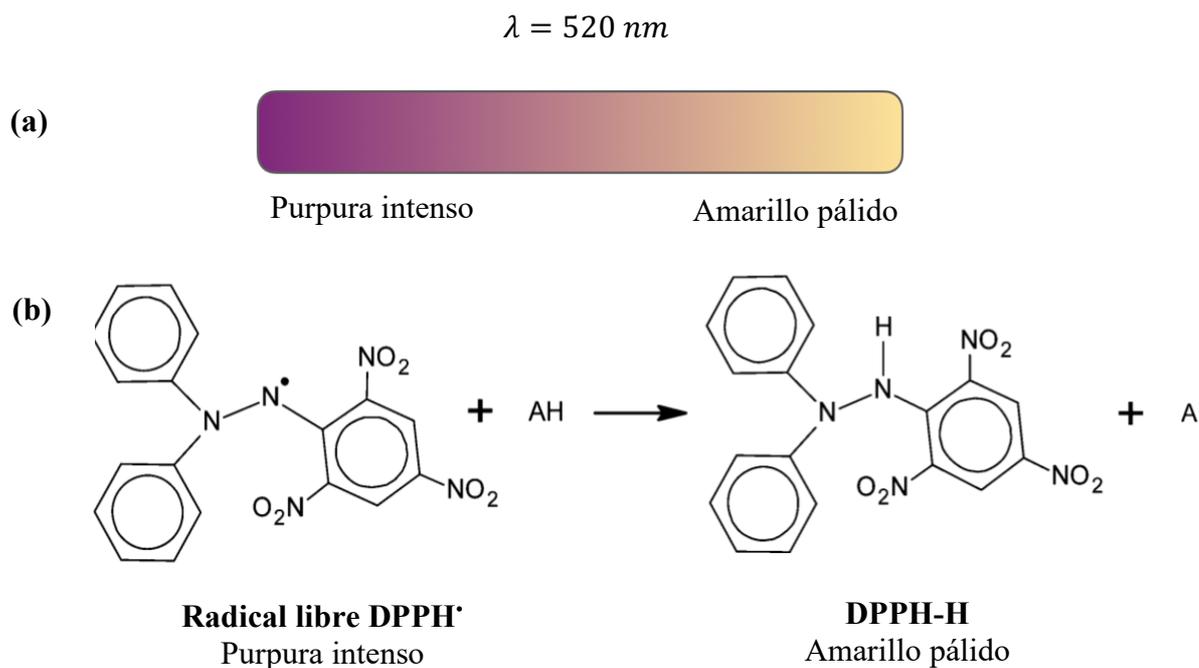


Figura 7: Variación de color en el método DPPH (a); Esquema de reacción del radical DPPH (b)

FUENTE: Adaptado de Pyrzyńska & Pełkał (2013); Munteanu & Apetrei (2021).

c. MÉTODO DEL RADICAL LIBRE ABTS

El método ABTS es un método simple desarrollado para medir la capacidad antioxidante total (CAT) por medio de la capacidad de los antioxidantes para neutralizar el catión radical estable de 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolona-6-ácido sulfónico) (ABTS^{•+}), un cromóforo azul verdoso de máxima absorción a 734 nm, cuya intensidad disminuye en presencia de antioxidantes reduciendo el catión ABTS^{•+} a ABTS, decolorándolo (Munteanu & Apetrei, 2021). El grado de decoloración de color azul verdoso a azul pálido depende de la duración de la reacción, de la actividad antioxidante intrínseca y de la concentración de antioxidantes de la muestra (**Figura 8**) (Munteanu & Apetrei, 2021).

Debido a su simplicidad operativa, el método ABTS se ha utilizado en muchos laboratorios de investigación para el estudio de la capacidad antioxidante, y se han informado los valores de capacidad antioxidante, expresados en equivalentes de Trolox, de muchos compuestos y muestras de alimentos (Huang *et al.*, 2005).

$$\lambda = 734 \text{ nm}$$

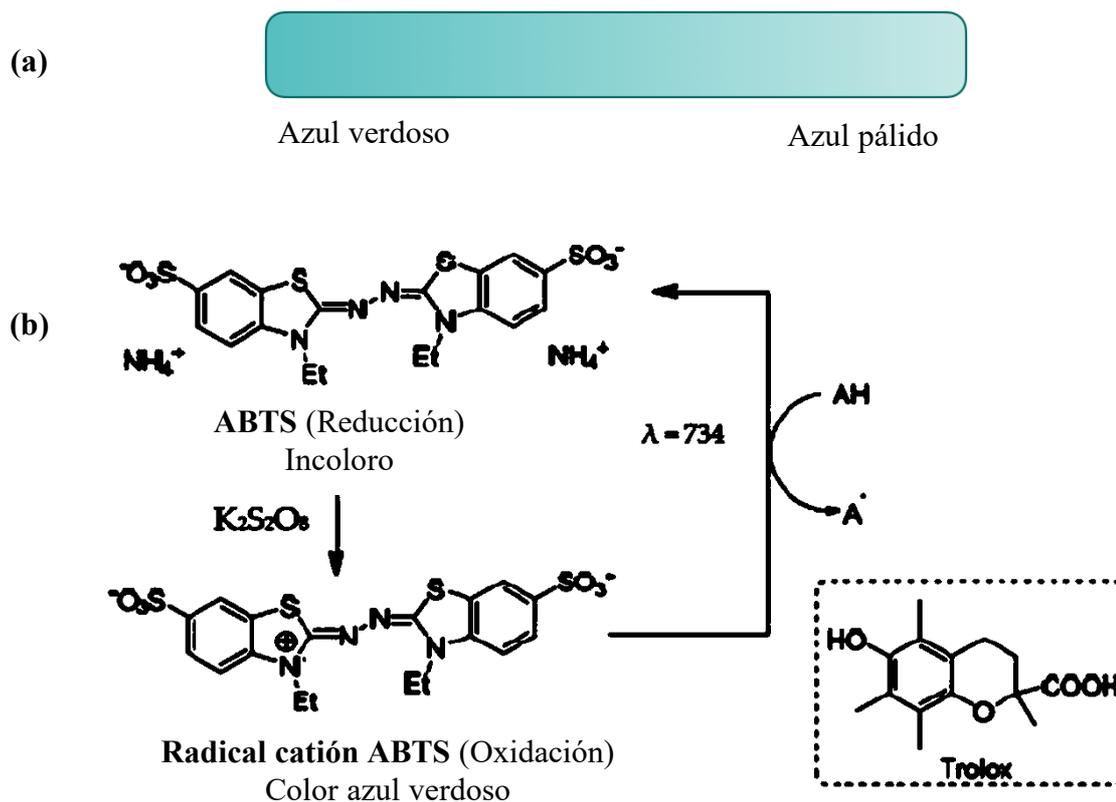


Figura 8: Variación de color en el método ABTS (a); Esquema de reacción del radical ABTS (b)

FUENTE: Adaptado de Munteanu & Apetrei (2021).

d. MÉTODO DIRECTO QUENCHER

La medición de la capacidad antioxidante, generalmente, se limita a la fracción soluble; por lo que, se han realizado muchos intentos de usar mezclas solventes o tratamientos físicos para aumentar la solubilidad de los componentes antioxidantes alimentarios (Gökmen, *et al.*, 2009). No obstante, algunos alimentos que poseen componentes insolubles, no se pueden solubilizar sin tener que alterar su naturaleza por tratamientos químicos o enzimáticos que modifican profundamente sus estructuras físicas y químicas, lo que plantea muchas dudas sobre la relevancia biológica de la medida (Pérez-Jiménez & Saura-Calixto, 2005).

El método directo QUENCHER (Rápido, Fácil, Nuevo, Barato y Reproducible) es un nuevo enfoque para la medición de la capacidad antioxidante total de los alimentos, antioxidantes

solubles y/o insolubles, que no requiere una etapa previa de extracción con solvente. Por lo tanto, no hay necesidad de mezclar las soluciones líquidas de dos compuestos para que reaccionen, sino está basada en una reacción sólido-líquido (Condezo *et al.*, 2015; Gökmen *et al.*, 2009).

La metodología consiste en poner en contacto directo los alimentos sólidos y la solución de reactivo radical sin previa extracción (**Figura 9**). De esta manera, la fracción soluble de la muestra ejerce su capacidad antioxidante al inactivar los radicales presentes en el solvente según la reacción habitual de tipo líquido-líquido. Al mismo tiempo, la fracción insoluble ejerce su capacidad antioxidante mediante la reacción superficial que ocurre en la interfaz sólido-líquido, donde la fase sólida está representada por grupos de antioxidantes unidos a la fracción de polisacáridos insolubles y la fase líquida está representada por los radicales libres presentes en el solvente (Gökmen *et al.*, 2009).

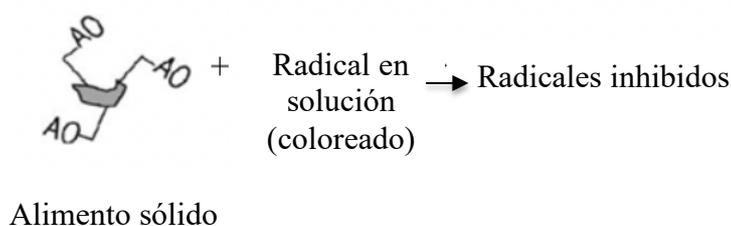


Figura 9: Esquema básico de reacción del alimento sólido

FUENTE: Adaptado de Gökmen *et al.* (2009).

Para los alimentos que son muy ricos en antioxidantes, y que en consecuencia poseen una capacidad antioxidante muy alta, se emplean agentes diluyentes neutros como, por ejemplo, la celulosa en polvo para encajar en el rango de linealidad del método (Serpen *et al.*, 2008; Del Pino *et al.*, 2015). Hasta ahora varias de las metodologías de capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, ORAC, FRAP y FC) se han adaptado al enfoque QUENCHER (Del Pino *et al.*, 2015).

2.5. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA Y PREBIÓTICA DE COMPUESTOS FENÓLICOS

2.5.1. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

Los compuestos fenólicos de las frutas también poseen propiedades antimicrobianas contra ciertos microorganismos patógenos (Wong *et al.*, 2017). Los microorganismos patógenos, especialmente bacterias Gram positivas y Gram negativas, pueden causar infecciones transmitidas por los alimentos cuando se ingieren alimentos contaminados produciendo enfermedades como la pseudotuberculosis (Akyar, 2015). Por ejemplo, algunas bacterias como *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, y hongos como *A. flavus*, causan infecciones fatales en humanos y animales. Por esta razón, continúa siendo la intoxicación alimentaria una preocupación para los consumidores y la industria alimentaria (Šiler, 2014; Wong *et al.*, 2017). Se suelen utilizar diversos antibióticos comerciales y aditivos alimentarios, evitando compuestos químicos, para controlar infecciones y enfermedades en humanos debido al consumo de alimentos contaminados. Sin embargo, la creciente incidencia de microorganismos resistentes a los medicamentos, como bacterias y hongos, ha sido significativa (Šiler *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2017; Coelho *et al.*, 2019).

Por lo tanto, algunos estudios científicos se centran en el descubrimiento de nuevos compuestos antimicrobianos naturales como los compuestos fenólicos para prolongar la vida útil de los alimentos y sus efectos terapéuticos para combatir las enfermedades microbianas, como las enfermedades transmitidas por los alimentos (Šiler *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2017; Coelho *et al.*, 2019).

Dentro de los innumerables beneficios para la salud que tienen los compuestos fenólicos se encuentran las actividades antibacterianas contra ciertos microorganismos patógenos (Chandrasekara, 2018). La actividad antimicrobiana puede ser usada como una barrera protectora para prevenir la contaminación microbiana de los alimentos. Los mecanismos de acción de los extractos de frutas son los siguientes: degradación o descomposición de la pared celular, daño a la membrana citoplasmática, acción contra las proteínas de la membrana, liberación del contenido intracelular, coagulación del citoplasma y agotamiento de la fuerza motriz del protón (**Figura 10**). Es importante considerar a las estructuras de la

superficie celular de los microorganismos Gram-negativos y Gram-positivos. Por ejemplo, las bacterias Gram-positivas son más susceptibles a los ácidos fenólicos que los microorganismos Gram-negativos (Wong *et al.*, 2017).

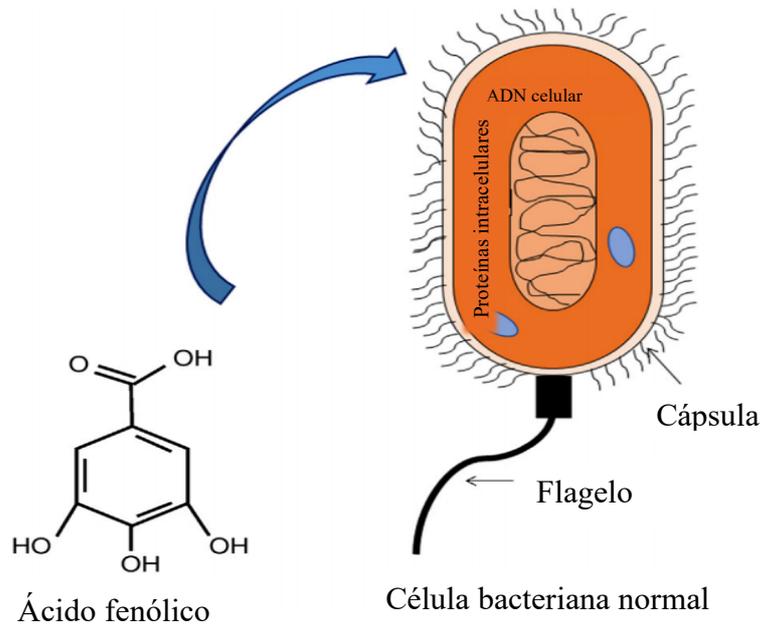


Figura 10: Mecanismo antimicrobiano de los compuestos fenólicos

FUENTE: Wong *et al.* (2017).

2.5.2. ACTIVIDAD PREBIÓTICA

Los compuestos fenólicos de las frutas poseen efectos beneficiosos en la salud debido a que han demostrado ejercer una función prebiótica al estimular el crecimiento de bacterias probióticas. De manera que, se consideran como productos de valor añadido para la industria alimentaria (De Souza *et al.*, 2018).

El mecanismo de acción de los compuestos fenólicos ante las bacterias probióticas aún no es realmente claro. Se suele emplear a la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, como sistema modelo, para el estudio del comportamiento celular y descubrir los fenómenos que yacen a nivel molecular para la transposición a células con alta organización estructural, componentes de tejidos y órganos de organismos vegetales y animales (Rapeanu, 2014). No obstante, Rapeanu (2014) ha sugerido dos mecanismos importantes: (1) la transformación

metabólica de los fenólicos, que implica la actividad de las enzimas extracelulares, con impacto en la estimulación de la actividad fisiológica de las células y mejorar la viabilidad de las células, y (2) la biosorción de compuestos fenólicos en la superficie de las células, lo que implica también quelación de metales, con importancia en el metabolismo y la protección de las células.

Solo unos pocos estudios están disponibles en la literatura sobre el efecto de los compuestos fenólicos sobre el crecimiento y la viabilidad de las bacterias probióticas (**Tabla 4**). Las especies probióticas estudiadas principalmente han sido *L. casei*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *Bifidobacterium lactis*, *B. brevis* y *B. bifidum* (Rapeanu, 2014; Coman *et al.*, 2017; Dimitrova *et al.*, 2019). Como representante de los microorganismos probióticos, *L. casei* demostró que los compuestos antioxidantes puros y los extractos de frutas tienen un efecto estimulante en su crecimiento (Coman *et al.*, 2017). Por su parte, *L. plantarum 299V*, es una de las especies más estudiadas y ampliamente usadas en la industria alimentaria como microorganismo probiótico y/o iniciador microbiano. Además de ser una sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS), tiene una alta capacidad de sobrevivir en el tracto gastrointestinal y adherirse a sus células epiteliales (Behera *et al.*, 2018).

Finalmente, es importante resaltar que el mecanismo para relacionar la actividad antimicrobiana y prebiótica de los compuestos fenólicos es la hiperacidificación en la interfase de la membrana plasmática como consecuencia de la disociación de los compuestos fenólicos. La hiperacidificación alteraría el potencial de la membrana celular ocasionando que sea más permeable afectando la bomba ATPasa de sodio y potasio implicada en la síntesis de ATP. La diferencia de sensibilidad entre las bacterias patógenas y bacterias probióticas hacia los compuestos fenólicos se puede explicar porque, las bacterias probióticas pueden producir ácidos orgánicos durante la fermentación y son más resistentes a la hiperacidificación ya que pueden soportar y sobrevivir en un entorno de pH relativamente bajo. Además, las bacterias probióticas podrían detoxificar los ácidos fenólicos a través del metabolismo (Cueva *et al.*, 2010; Chan *et al.*, 2018).

Tabla 4: Microorganismos considerados como bacterias probióticas

Especies de <i>Lactobacillus</i>	Especies de <i>Bifidobacterium</i>
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. adolescentes</i>
<i>L. casei</i>	<i>B. animalis</i>
<i>L. crispatus</i>	<i>B. bifidum</i>
<i>L. gallinarum</i>	<i>B. breve</i>
<i>L. gasseri</i>	<i>B. infantis</i>
<i>L. johnsonii</i>	<i>B. lactis</i>
<i>L. paracasei</i>	<i>B. longum</i>
<i>L. plantarum</i>	
<i>L. reuteri</i>	
<i>L. rhamnosus</i>	
Otras bacterias de ácido láctico	Bacterias de ácido no láctico
<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Bacillus cereus var. toyoi</i>
<i>E. faecium</i>	<i>Escherichia coli cepa nissle</i>
<i>Lactococcus lactis</i>	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Pediococcus acidilactici</i>	<i>S. boulardii</i>
<i>Sporolactobacillus inulinus</i>	
<i>Streptococcus thermophilus</i>	

FUENTE: Kechagia *et al.* (2013).

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Investigación e Instrumentación, Microbiología de Alimentos y Fisicoquímica de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina y en el laboratorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

3.2. MATERIA PRIMA

Se trabajó con la fruta de sachatomate (*Cyphomandra betacea*), en estado maduro, provenientes de dos departamentos del Perú: Cajamarca, distrito de Cajabamba (latitud - 7.601236, longitud -78.036247, 2654 m.s.n.m) y Huánuco, distrito de Umari (latitud - 9.898204, longitud -76.0206492, 2480 m.s.n.m).

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Balones de digestión Kjeldahl.
- Botellas ámbar.
- Bureta.
- Campana desecadora.
- Crisol de porcelana.
- Embudo Büchner.
- Erlenmeyer.
- Fiola transparente de vidrio de 5 y 100 ml.

- Jeringa desechable de plástico, de 25 ml.
- Kitasato.
- Medios de cultivo: Caldo MRS, Caldo Mueller-Hilton, Caldo TSA, Agar TSA adquiridos de HiMedia, India.
- Microplacas estériles de 96 pocillos.
- Micropipetas BRAND (5 a 100 y de 100 a 1000 μ l).
- Papel filtro Whatman N° 4 libre de ceniza.
- Papel aluminio.
- Perlas de ebullición.
- Pinza para crisol.
- Pipetas volumétricas 1, 5 y 10 ml.
- Placas Petri.
- Placa de metal.
- Probeta.
- Puntas de micropipeta de 10 -100 μ l y de 100 - 1000 μ l.
- Tubos falcón cónicos de 50 ml.
- Vaso precipitado de 10 ml, 25 ml, 50 ml y 125 ml.

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador magnético HI 200M (Hanna, Estados Unidos).
- Agitador vortex COLE-PARMER (Stuart, Reino Unido).
- Autoclave de medios de cultivo AKL5 (Sotu, Finlandia).
- Balanza analítica HR250AZ (Pesacon, Japón).
- Balanza humedad infrarroja MB23 (Ohaus, Suiza).
- Cámara de flujo laminar LA2 - 4A3 (Labculture, Estados Unidos).
- Centrífuga Mini Spin Plus (Eppendorf AG, Estados Unidos).
- Centrífuga U-320 R GM 200 (Retsch, Alemania).
- Colorímetro CR-400 (Konica Minolta, Japón).
- Congeladora CH10P (Coldex, Perú).
- Digestor para fibra (Gerhardt, Alemania).

- Estufa UF 160 (Mettler Alemania).
- Estufa FD 23 L (Binder, Alemania).
- Equipo de digestión Kjeldahl (Labconco, Estados Unidos).
- Equipo de Soxhlet 3840-L (Corning Life Science, Estados Unidos).
- Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Estados Unidos).
- Lector de placas Power Wave XS2 (Biotek Instruments Inc., Estados Unidos).
- Liofilizador ST53B4 (Milrock Technology Inc., Canadá).
- Molino de cuchillos GM200 (Retsch, Alemania).
- Mufla KLS 3/11 con un rango de temperatura de 0 – 700 °C (Thermconcept, Alemania).
- Potenciómetro HI 2211 (Hanna, Alemania).
- Refractómetro Master-80H (Atago, Japón).
- Rotavapor Valor HEI-VAP (Heidolph, Alemania).
- Sistema de destilación de Kjeldahl 2127603 (Labconco, Estados Unidos).

3.3.3. REACTIVOS

- Acetona (Merck, España).
- Ácido clorhídrico (J.T. Baker, Estados Unidos).
- Ácido gálico (Sigma-Aldrich, España).
- Ácido sulfúrico (J.T. Baker, Estados Unidos).
- Ácido-6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametil croman-2-carboxílico (Trolox) (Merck, España).
- Cation 2,2'-Azinobis (Ácido 3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) (Sigma-Aldrich, España).
- Carbonato de sodio (Sigma-Aldrich, España).
- Cloruro de Aluminio (Merck, España).
- Dimetil sulfóxido (DMSO) (Merck, España).
- 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (DPPH) (Sigma-Aldrich, España).
- Etanol (Merck, España).

- Éter de petróleo (Merck, España).
- Folin-Ciocalteu (Ácido fosfomolibdico-fosfotúngstico) (Merck, España).
- Hidróxido de sodio (Merck, España).
- Metanol (Merck, España).
- Nitrito de sodio (Merck, España).
- Persulfato de potasio de grado analítico (Sigma-Aldrich, España).
- Tris base (Sigma-Aldrich, España).

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS PROXIMAL

El análisis proximal de sachatome como fruto integral se realizó de acuerdo los procedimientos descritos por la Association of Official Analytical Chemists, AOAC (2019):

a. HUMEDAD

Se determinó de acuerdo al método oficial 950.46. La pérdida de peso de la muestra se realizó por calentamiento en una estufa a 103 ± 2 °C hasta obtener un peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad en base húmeda.

b. GRASA BRUTA

Se determinó de acuerdo al método oficial 920.39. La grasa se extrajo con éter de petróleo durante 4 h en el cuerpo del extractor Soxhlet a una velocidad de 5 o 6 gotas por segundo. El resultado se expresó como porcentaje en base húmeda.

c. FIBRA BRUTA

Se determinó de acuerdo al método oficial 962.09. La pérdida por ignición del residuo seco se obtuvo tras la digestión de la muestra con soluciones de H₂SO₄ al 1.25 por ciento y NaOH al 1.25 por ciento en condiciones específicas. El resultado se expresó como porcentaje en base húmeda.

d. PROTEÍNA BRUTA

Se determinó de acuerdo al método oficial 920.152. Las muestras se sometieron a digestión en el balón de digestión Kjeldahl hasta que se observó el color cristalino. Seguidamente, las muestras digeridas se colocaron en el equipo de destilación para que libere el amoníaco. El destilado se tituló con una solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta que el indicador mixto de rojo de metilo y verde bromocresol viró a rosa pálido. La proteína se expresó en base húmeda usando el factor de 6.25 para convertir el contenido de nitrógeno a proteína.

e. CENIZA

Se determinó de acuerdo al método oficial 940.26. La muestra se incineró a 525 °C a fin de eliminar la materia orgánica. El resultado se expresó como porcentaje en base húmeda.

f. CARBOHIDRATOS

Se calculó por diferencia de acuerdo a Reyes *et al.* (2017): 100 – (porcentaje de proteína bruta + porcentaje de grasa bruta + porcentaje de fibra bruta + porcentaje de ceniza + porcentaje de agua). El resultado se expresó en porcentaje en base húmeda.

3.4.2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

a. COLOR

Se midió de acuerdo al método de Khairi *et al.* (2015). Las medidas de color se realizaron en la superficie de la fruta, tomando tres puntos en cada región: ecuatorial, inferior y superior, mediante un colorímetro (Kónica-Minolta, CR-400). Previamente, el equipo se calibró con una placa de cerámica blanca estándar (CR-A43, N° 22333017) y se registraron los resultados en el espacio de color CIELab L^* , a^* y b^* de las muestras por triplicado. A partir de los datos anteriores se calculó el ángulo de tonalidad $H = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ y la saturación $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$.

b. pH

Se determinó por el método oficial 981.12 (AOAC, 2019). La pulpa de sachatomate (10 g) se diluyó con 100 ml de agua destilada, se homogenizó y se filtró con gasa. El filtrado se enrasó a 100 ml en una fiola aforada. Seguidamente la muestra se transfirió a un vaso precipitado de 250 ml y se midió el pH por triplicado usando un potenciómetro, previamente calibrado con soluciones *buffer* de pH 4.01 y 7.00.

c. ACIDEZ TITULABLE

Se determinó por el método de titulación potenciométrica 942.15 (AOAC, 2019). La muestra se tituló con NaOH 0.1 N hasta alcanzar el punto final de la titulación a un pH 8.1. El gasto de NaOH se usó para calcular la acidez titulable mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez Titulable} = \frac{K \times G \times N}{\text{peso de muestra (g)}} * 100$$

Donde:

K = 0.070 g (peso miliequivalente del ácido cítrico)

G = Gasto de NaOH en ml

N = 0.1 (Normalidad del NaOH)

Se expresaron los resultados como porcentaje de ácido cítrico y por triplicado.

d. SÓLIDOS SOLUBLES

Se determinó por el método oficial 932.12 (AOAC, 2019). Los sólidos solubles (grados Brix) se midieron por triplicado con un refractómetro (Atago, Master-80H, Japón) a una temperatura de 20 °C.

e. ÍNDICE DE MADUREZ

Se determinó de acuerdo a la NTP 203.121 (2007). El índice de madurez se calculó como la relación de los sólidos solubles y el porcentaje de la acidez titulable.

3.4.3. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

a. CAROTENOIDES TOTALES

Se siguió la metodología descrita por Biehler *et al.* (2010). Los extractos se diluyeron con acetona (se describe en el subtítulo 3.6) hasta alcanzar una absorbancia ≤ 1.00 a 450 nm. El espectro de absorción de las muestras se adquirió en el rango de 400 a 600 nm cada 1 nm usando acetona como blanco. La concentración total de carotenoides se determinó usando el coeficiente de absorción molar específico de 135310 l/mol y el peso molecular promedio de 548 g/mol a la longitud de onda de máxima absorción a 450 nm (ecuación 1).

$$c = \frac{A_{450} \times F_d \times M \times 100}{\epsilon \times b \times W} \quad (1)$$

Donde:

A_{450} = absorbancia a 450 nm

F_d = factor de dilución

ϵ = coeficiente de absorción molar específica (l/mol)

M = peso molecular promedio (g/mol)

b = paso óptico (cm)

W = peso de muestra en base húmeda (g)

c = concentración total de carotenoides (mg/100 g)

Para identificar los carotenoides posibles, se consideró la estructura fina del espectro de absorción (III/II por ciento), de acuerdo a la relación entre la altura del pico de absorción máxima (III) y de absorción media (II), tomando el mínimo de los dos picos como línea de base, multiplicado por 100 (Scott, 2001).

b. COMPUESTOS FENÓLICOS

b.1. COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES

El contenido de compuestos fenólicos extractables se midió mediante la metodología de Abderrahim, *et al.* (2011). Se tomó 20 µl de extracto de muestra (se describe en el subtítulo 3.6) o solución de ácido gálico (0.02 - 0.1 mg/ml), se añadió 20 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu y 160 µl de solución de carbonato de sodio 5 por ciento (p/v), se mezcló y luego reposó 1 h en oscuridad, se midió la absorbancia a 760 nm, frente a un blanco. El contenido de compuestos fenólicos se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100 g) que se calculó a partir de una recta de calibración de ácido gálico ($Y = 8.975X + 0.0051$, $R^2 = 0.9986$, $Y =$ absorbancia y $X =$ concentración, mg/ml) (**Anexo 1**).

b.2. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

El contenido de compuestos fenólicos totales se midió mediante la metodología de Del Pino *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se pesó 1.5 mg de muestra en polvo (diluida con amilosa, se describe en el subtítulo 3.6) o solución de ácido gálico (1.4 - 11 µg), y se mezcló con 500 µl de reactivo Folin-Ciocalteu (1:20, v/v). Luego de 5 min de reacción y agitación en oscuridad, se agregaron 500 µl de carbonato de sodio 0.56 mol/l. Después de 1 h de agitación a 1000 rpm y 10 min de centrifugación 5152 g, se midió la absorbancia a 760 nm. El contenido de compuestos fenólicos totales se expresó en equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra sólida (mg EAG/100 g) y se calculó a partir de la recta de calibración de ácido gálico ($Y = 0.0898X + 0.0391$, $R^2 = 0.9967$, $Y =$ absorbancia y $X =$ peso, µg) (**Anexo 2**).

c. FLAVONOIDES TOTALES

El contenido de flavonoides totales se midió mediante el método reportado por Dini *et al.* (2010) con algunas modificaciones. Se mezcló 25 µl del extracto de muestra (se describe en el subtítulo 3.6) o solución de catequina (0.025 - 0.25mg/l) con 100 µl de agua destilada y 7.5 µl de NaNO₂ (5 g/100 ml) y luego se incubó por 5 min a temperatura ambiente. Luego se añadió 7.5 µl de AlCl₃ (10 g/100 ml), se incubó durante 6 min a temperatura ambiente y

se adicionó 50 µl NaOH 1 M. Inmediatamente, se adicionó 60 µl de agua destilada y se midió la absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS, Estados Unidos). El contenido de flavonoides totales se expresó en mg de equivalentes de catequina por 100 g de muestra (mg EC/100 g) calculado a partir de recta de calibración de catequina ($Y = 3.4115X + 0.0143$, $R^2 = 0.9937$, $Y =$ absorbancia y $X =$ concentración, mg/ml) (**Anexo 3**).

3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

a. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE

a.1. MÉTODO DEL RADICAL LIBRE DPPH

La capacidad antioxidante total extractable (CATE) se determinó por el método del radical libre DPPH según al procedimiento descrito por Abderrahim *et al.* (2013) adaptado a un espectrofotómetro. La solución madre de DPPH (1 mM) se diluyó adecuadamente en Tampón Tris base: metanol, 1:1 v/v, pH = 7.5 para obtener una solución de trabajo de DPPH (40 µmol/l). Se mezcló 10 µl del extracto de muestra (se describe en el subtítulo 3.6) o solución de ácido gálico (0.002 - 0.024 mg/ml) con 200 µl de la solución de trabajo de DPPH y la absorbancia se midió a 520 nm a los 10 min de reacción. La capacidad antioxidante se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100 g) calculado a partir de la recta de calibración de ácido gálico ($Y = 3237.3X + 2.2057$, $R^2 = 0.9995$, $Y =$ Inhibición, % y $X =$ concentración, mg/ml) (**Anexo 4**).

a.2. MÉTODO DEL RADICAL LIBRE ABTS

La capacidad antioxidante total extractable (CATE) se determinó por el método del radical libre ABTS utilizando el método de Re *et al.* (1999) con algunas modificaciones. Para la síntesis del radical ABTS⁺ (2,2'-Azinobis) se mezcló ABTS (7 mM) con persulfato de potasio (2.45 mM) en medio acuoso y se incubó a temperatura ambiente durante 16 h en oscuridad. Posteriormente, se preparó la solución de trabajo de ABTS a partir de la dilución de la solución madre de ABTS con una solución de etanol (1:1, v/v) hasta alcanzar una absorbancia 0.700 ± 0.055 a 734 nm.

Para la medición de la actividad antioxidante, se mezcló 10 µl de extracto de muestra (se describe en el subtítulo 3.6) o de disolución de trolox (0.01 - 0.1 mg/ml) con 200 µl de la solución de trabajo de ABTS y la absorbancia se midió a 734 nm a los 30 min. La actividad antioxidante se expresó en equivalente trolox por 100 g de muestra (mg ET/100 g) calculado a partir de la recta de calibración de trolox ($Y = 915.71X + 5.5964$, $R^2 = 0.9993$, $Y =$ Inhibición, % y $X =$ concentración, mg/ml) (**Anexo 5**).

b. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL

b.1. MÉTODO QUENCHER-DPPH

La capacidad antioxidante total (CAT) se determinó por el método QUENCHER-DPPH propuesto por Condezo *et al.* (2015) adaptado a un espectrofotómetro. La solución madre de DPPH se diluyó adecuadamente en tampón MT (Tris base: metanol, 1:1 v/v, pH = 7.5) para obtener una solución de trabajo de DPPH (60 µM/l). Se mezcló 2.5 mg de muestra en polvo (diluida en amilosa, se describe en el subtítulo 3.6) o solución de ácido gálico (0.31 - 1.83 µg) con 1000 µl de solución de trabajo de DPPH (60 µmol/l en tampón MT) por 10 min a 1000 rpm bajo agitación constante en oscuridad. Posteriormente, la muestra se centrifugó durante 10 min a 5152 g, se tomó el sobrenadante y se midió la absorbancia a 520 nm. La capacidad antioxidante se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100 g) calculado a partir de la recta de calibración de ácido gálico ($Y = 50.631X + 2.3486$, $R^2 = 0.99$, $Y =$ Inhibición, % y $X =$ peso, µg) (**Anexo 6**).

b.2. MÉTODO QUENCHER-ABTS

La capacidad antioxidante total (CAT) se determinó por el método QUENCHER-ABTS propuesto por Serpen *et al.* (2012) adaptado a un espectrofotómetro con ligeras modificaciones. Se mezcló 1.5 mg de muestra en polvo (diluida en amilosa, se describe en el subtítulo 3.6) o solución de ácido gálico (0.14-0.83 µg) con 1000 µl de solución de trabajo de ABTS (1:100). Posteriormente, la muestra se llevó a agitación durante 30 min a 1000 rpm protegido de la luz, se centrifugó 10 min a 1855 g y la absorbancia del sobrenadante se midió a 734 nm. La capacidad antioxidante se estimó en miligramos equivalentes de trolox por 100 g de muestra (mg ET/100 g) por medio de un factor de conversión de ácido gálico a trolox

a partir de la recta de calibración de ácido gálico ($Y = 97.756X + 0.9872$, $R^2 = 0.9977$, $Y =$ Inhibición, % y $X =$ peso, μg) (**Anexo 7**).

3.4.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

a. BACTERIAS Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO

La actividad antimicrobiana de los extractos de sachatomate se evaluó frente a las siguientes bacterias patógenas: *Escherichia coli* ATCC® 25922TM y *Staphylococcus aureus* sub sp. *aureus* ATCC® 25923TM, las cuales se obtuvieron del laboratorio de La Molina Calidad Total.

Las cepas puras de bacterias patógenas, almacenadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en crioviales, se reactivaron en caldo Tripticasa-Soya (TSA). Las cepas se sembraron por estría en agar TSA inclinado y se incubaron a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Posteriormente, se sembraron por agotamiento en placas con agar TSA y se incubaron a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Después de la incubación se sembraron en caldo Mueller Hilton (MH). Luego se preparó una suspensión bacteriana equivalente a 0.5 McFarland en solución salina al 0.9 por ciento (p/v). El inóculo final se ajustó a una carga microbiana correspondiente a 10^6 UFC/ml por dilución 1:100 (v/v) en caldo MH.

b. MÉTODO DE MICRODILUCIÓN EN CALDO

La actividad antimicrobiana de los extractos de sachatomate se determinó mediante la concentración inhibitoria al 50 por ciento (IC_{50}) de acuerdo a lo descrito por Jacobson *et al.* (2019) con algunas modificaciones. En una microplaca estéril de 96 pocillos, se añadieron 100 μl del inóculo final y 100 μl del extracto diluido con DMSO al 0.5 por ciento (v/v) con agitación, a diferentes concentraciones. Seguidamente, las microplacas se incubaron a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, se enfriaron a temperatura ambiente y se midió la densidad óptica (DO) a 600 nm en un lector de microplacas (**Anexo 8**). El porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano se calculó usando la ecuación (2).

$$\% \text{ Inhibición} = 100 * \left[1 - \frac{(X-Y)}{(Z-Y)} \right] \quad (2)$$

Donde:

X = densidad óptica (DO) a 600 nm del extracto.

Y = densidad óptica (DO) a 600 nm de los controles negativos (medio y 0.5 % v/v de DMSO)

Z = densidad óptica (DO) a 600 nm de los controles positivos (medio inoculado y 0.5 % v/v de DMSO)

La IC₅₀ de los extractos se estimó mediante un análisis de regresión no lineal usando un modelo logístico (ecuación 3) de los datos experimentales del porcentaje de inhibición y la concentración de los extractos. La IC₅₀ de los extractos representa la concentración en la que se inhibió el 50 por ciento del crecimiento de las cepas después de 24 horas de incubación.

$$Y=YM * Y0 / ((YM - Y0) * \exp (-k * x) + Y0) \quad (3)$$

Donde:

Y0 = porcentaje de inhibición inicial (las mismas unidades que Y)

YM = porcentaje de inhibición máximo (las mismas unidades que Y)

k = constante de velocidad (unidades inversas de X)

1/k = coordenada x del primer punto de inflexión

x= concentración del extracto de las partes del fruto

3.4.6. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA

a. BACTERIAS Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO

La actividad prebiótica de los extractos de sachatomate se evaluó frente a las siguientes bacterias probióticas: *Lactobacillus plantarum* 299v obtenida del Instituto de Lactología Industrial (INLAIN, UNL-CONICET), Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe-Argentina y *Lactobacillus rhamnosus* GG (Oriola Oy, PB 8, Esbo Finlandia).

Las cepas puras de bacterias probióticas, almacenadas a -20 °C en crioviales, se reactivaron en caldo de Man, Rogosa y Sharpe (MRS). Las cepas se sembraron por agotamiento en placas con agar MRS y se incubaron a 37 °C por 72 h en condiciones anaerobias (bacteria

tiene característica de anaerobia facultativa). Después de la incubación se sembraron en caldo MRS e incubaron a 37 °C por 24 h. Luego se preparó una suspensión bacteriana equivalente a 0.5 McFarland en solución salina al 0.9 por ciento (p/v). El inóculo final se ajustó a una carga microbiana correspondiente a 10⁶ UFC/ml, diluido 1:100 (v/v) en caldo MRS.

b. MÉTODO DE MICRODILUCIÓN

La actividad prebiótica de los extractos de sachatomate se determinó de acuerdo a lo descrito por Jacobson *et al.* (2019) con algunas modificaciones. En una microplaca estéril de 96 pocillos, se añadieron 100 µl del inóculo final y 100 µl del extracto diluido con DMSO al 0.5 por ciento (v/v), con agitación, a diferentes concentraciones. Seguidamente, las microplacas se incubaron a 37°C durante 48 h, se enfriaron a temperatura ambiente y se midió la densidad óptica (DO) a 600 nm en un lector de microplacas (**Anexo 8**). Se calculó el porcentaje de crecimiento bacteriano según la ecuación (4).

$$\% \text{ Crecimiento} = 100 * \left[\frac{(X-Y)}{(Z-Y)} - 1 \right] \quad (4)$$

Donde:

X = densidad óptica (DO) a 600 nm del extracto

Y = densidad óptica (DO) a 600 nm promedio de los controles negativos (medio y 0.5 % v/v de DMSO)

Z = densidad óptica (DO) a 600 nm promedio de los controles positivos (medio inoculado y 0.5 % v/v de DMSO)

La actividad prebiótica de los extractos se estimó mediante un análisis de regresión no lineal usando un modelo logístico (ecuación 5) de los datos experimentales del porcentaje de crecimiento y la concentración de los extractos.

$$Y = Y_M * Y_0 / ((Y_M - Y_0) * \exp(-k * x) + Y_0) \quad (5)$$

Donde:

Y_0 = porcentaje de crecimiento inicial (las mismas unidades que Y)

Y_M = porcentaje de crecimiento máximo (las mismas unidades que Y)

k = constante de velocidad (unidades inversas de X)

$1/k$ = coordenada x del primer punto de inflexión

x = concentración del extracto de las partes del fruto

3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación, se describen las operaciones unitarias para la preparación la muestra (Figura 11):

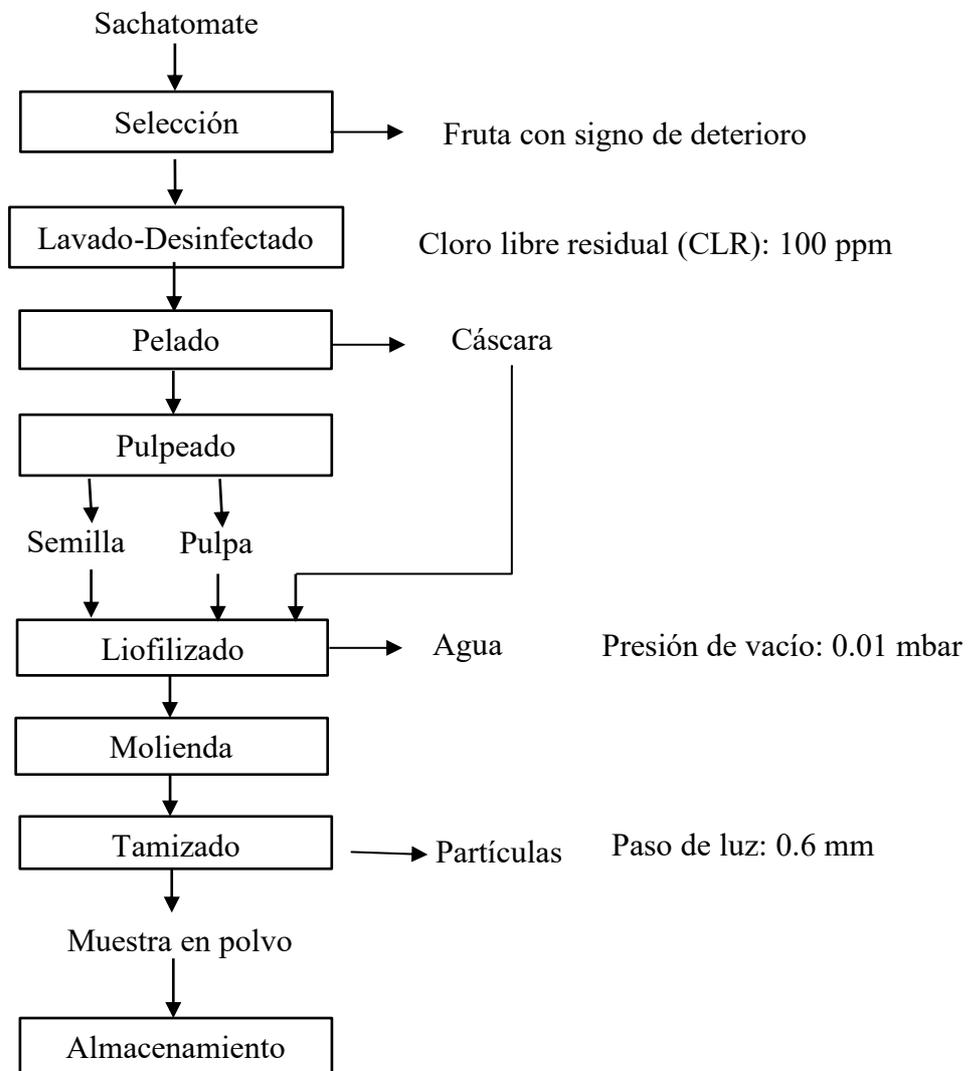


Figura 11: Flujo de obtención de harina de sachatomate

- a. **SELECCIÓN:** Se separó de forma manual toda fruta que presentó signos de deterioro o daño visible, tanto físico como microbiológico.
- b. **LAVADO Y DESINFECTADO:** El lavado se realizó con la finalidad de retirar cualquier tipo de materia extraña que pudiera estar presente. Para tal efecto se empleó agua potable fría y se utilizó una solución de hipoclorito de sodio 100 ppm.
- c. **PELADO:** Se peló el fruto con un cuchillo de acero inoxidable, obteniendo así la cáscara.
- d. **PULPEADO:** Se llevó a cabo con la finalidad de separar las semillas de la pulpa utilizando la malla de diámetro 3 mm para obtener la pulpa y semilla. Se almacenaron en bolsas de congelación con cierre hermético a -40 °C hasta su posterior secado.
- e. **LIOFILIZADO:** Las tres partes del fruto (cáscara, pulpa y semilla) se liofilizaron a una presión de vacío de 0.01 mbar, hasta su completa deshidratación.
- f. **MOLIENDA Y TAMIZADO:** Se molieron los componentes del fruto por un tiempo de 3 min a 5000 rpm para facilitar la extracción y se tamizaron hasta obtener un tamaño de partícula menor a 600 µm con un tamiz N° 30 para uniformar las muestras.
- g. **ALMACENAMIENTO:** Los componentes en polvo se almacenaron en bolsas laminadas a -20 °C hasta su posterior análisis.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Como se observa en la **Tabla 5**, se consideraron dos etapas para la caracterización físico-química y funcional del extracto de sachatomate.

Etapas I: Caracterización físico-química y composición proximal del sachatomate

El fruto fresco de Cajamarca y Huánuco se caracterizaron con las pruebas mencionadas en la **Tabla 5**.

Etapa II: Caracterización funcional de las partes del sachatomate (semilla, pulpa y cáscara)

Se obtuvieron las partes del sachatomate en polvo siguiendo la metodología descrita anteriormente (**Figura 11**) para facilitar la extracción de los compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides totales.

a. Obtención de los extractos para el análisis de los compuestos bioactivos y propiedades funcionales

En esta etapa, se realizó la preparación de los extractos siguiendo lo descrito por Abderrahim *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se colocaron aproximadamente 10 mg de las muestras liofilizadas en un tubo eppendorf envuelto con papel de aluminio y se extrajeron sucesivamente con 1 ml de ácido (HCl) – Metanol / agua (50:50, v/v, pH 2) y 1 ml de soluciones de acetona/agua (70:30, v/v) en un agitador a velocidad máxima durante 1 h a temperatura ambiente. Los sobrenadantes, se obtuvieron por centrifugación a 824 g durante 10 min a temperatura ambiente. Los extractos se protegieron de la luz cubriéndolos con papel de aluminio y se almacenaron en alícuotas a - 20 °C hasta el análisis.

Dichos extractos se caracterizaron funcionalmente para los análisis del contenido de flavonoides total, compuestos fenólicos extractables y capacidad antioxidante extractable (ABTS y DPPH). El análisis de carotenoides totales siguió la metodología descrita por Biehler *et al.* (2010). Finalmente, para el análisis de actividad antimicrobiana y prebiótica, los extractos se evaporaron en un rotavapor a 38 °C y los residuos se resuspendieron con DMSO al 0.5 por ciento v/v.

La preparación de la muestra para los análisis de compuestos fenólicos totales (QUENCHER) y la capacidad antioxidante total (QUENCHER- ABTS y QUENCHER- DPPH) se realizó mezclando 5 mg de muestra liofilizada con una cantidad de amilosa para facilitar su lectura.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados del análisis fisicoquímico y proximal se expresaron en términos de medias y desviación estándar (DE) de tres repeticiones con un Intervalo de Confianza del 95 por ciento y por medio de una prueba de T- student se realizó la comparación de medias. Para los ensayos de las propiedades funcionales se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA - two way) seguido de una prueba de comparación Tukey. Para el ensayo de la concentración inhibitoria (IC_{50}) y actividad prebiótica se realizó un análisis de regresión logística para el cálculo de parámetros de inhibición y crecimiento. Se consideró para el análisis estadístico un nivel de significación de $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa GraphPad Prism 9.0.1 (GraphPad Software Inc., San Diego, USA).

Tabla 5: Diseño experimental

DESCRIPCIÓN	ETAPAS	
	I Caracterización físicoquímica y composición proximal del sachatomate	II Caracterización funcional de las partes liofilizadas del sachatomate (semilla, pulpa y cáscara)
<p>SACHATOMATE</p>		
ANÁLISIS	<p>Análisis proximal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Humedad - Grasa bruta - Fibra bruta - Proteína bruta - Ceniza - Carbohidratos <p>Análisis físico químico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color - Sólidos solubles - pH - Acidez titulable - Índice de madurez 	<p>Análisis de los compuestos bioactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de flavonoides - Contenido de carotenoides totales - Compuestos fenólicos extractables y total <p>Análisis de propiedades funcionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad antioxidante extractable y total - Concentración inhibitoria (IC₅₀) - Actividad prebiótica

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL FRUTO SACHATOMATE

En la **Tabla 6** se presentan los resultados del análisis químico proximal de las muestras de sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca. Se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras para los componentes: humedad, proteína total, fibra cruda, ceniza y carbohidratos, lo que puede deberse al lugar de procedencia que presenta diferencias en las condiciones geográficas, climáticas y estacionales (Diep *et al.*, 2020d). El porcentaje de humedad en los frutos de sachatomate de Huánuco y Cajamarca fueron de 83.38 y 86.43 por ciento respectivamente, resultados que son característicos de las frutas frescas (Ríos *et al.*, 2007), y que coinciden con los publicados por Repo & Encina (2008), con 82.90 por ciento para el fruto procedente de Junín; Abdul *et al.* (2017), con 85.20 por ciento para el fruto procedente de Malasia; y Kou *et al.* (2009) con 85.73 por ciento para el fruto procedente de Taiwan. En relación al contenido de proteínas de las muestras, es ligeramente menor en comparación a lo reportado con Lister *et al.* (2005), que reportan 1.8 por ciento para las variedades moradas y 1.9 por ciento para las variedades amarillas. Esta diferencia puede deberse al método de combustión empleado. En el presente trabajo se empleó el método convencional de Kjeldahl; en tanto, Lister *et al.* (2005) empleó el método de Dumas. El contenido de grasa de las muestras, son superiores a los encontrados por Vasco *et al.* (2009) que reportaron 0.72 y 0.6 por ciento para la variedad morada y amarilla de Ecuador, respectivamente. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente trabajo son muy cercanos a lo publicado por Repo & Encina (2008), con 0.1 por ciento. Por otro lado, el contenido de fibra de las muestras es menor a lo reportado por Repo & Encina (2008), con 4.5 por ciento y más cercanos a lo obtenido por Kou *et al.* (2009) con 2.77 por ciento. Con respecto al contenido de ceniza del sachatomate: éstos se encuentran en el rango reportado por Schotsmans *et al.* (2011) con 0.69 – 1.26 y 0.7 – 0.82 por ciento para variedad morada y amarilla de sachatomate, respectivamente. Finalmente, el contenido de carbohidratos de

las muestras representa el segundo componente mayoritario de las muestras, que coincide con lo publicado por Kou *et al.* (2009) con 10.81 por ciento y Abdul *et al.* (2017) con 11.90 por ciento. Sin embargo, es inferior a lo reportado por Repo & Encina (2008) con 14.1 por ciento.

Tabla 6: Análisis proximal del sachatomate (g/100 g de fruta)

Componente (%)	Procedencia	
	Huánuco	Cajamarca
Humedad	83.38 ± 0.04 ^a	86.43 ± 0.01 ^b
Proteína bruta (N x 6.25)	1.69 ± 0.01 ^b	1.59 ± 0.01 ^a
Grasa bruta	0.95 ± 0.0 ^a	0.82 ± 0.0 ^a
Fibra bruta	2.34 ± 0.01 ^b	1.62 ± 0.01 ^a
Ceniza	0.94 ± 0.08 ^b	0.76 ± 0.04 ^a
Carbohidratos	10.70 ± 0.09 ^b	8.79 ± 0.06 ^a

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar.

Valores con letras diferentes (a y b) dentro de la misma fila difieren significativamente ($p < 0.05$)

En relación a las características fisicoquímicas del sachatomate como sólidos solubles (expresado como ° Brix), pH, acidez titulable expresado en ácido cítrico, índice de madurez y color, se muestran en la **Tabla 7**. Se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) para los parámetros de ° Brix y pH entre las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca, mientras que, para los parámetros de acidez titulable, índice de madurez y color no existen diferencias significativas ($p > 0.05$).

El contenido de sólidos solubles (°Brix) del sachatomate está en el rango reportado con los encontrados por Repo & Encina (2008) con 11.57; Pantoja *et al.* (2009) con 13 y 12.30 para la variedad amarilla y morada de Brasil, respectivamente; y Vasco *et al.* (2009) con 11 y 12 para la variedad amarilla y morada, respectivamente. Dichos valores obedecen a los cambios naturales durante el proceso de maduración, donde los almidones se hidrolizan transformándose en disacáridos y monosacáridos simples como sacarosa, fructuosa y glucosa (Marquez *et al.*, 2007).

El pH del sachatomate con un valor de pH 3.77 y 3.68 procedente de Huánuco y Cajamarca, respectivamente es cercano a lo obtenido por Repo & Encina (2008), Pantoja *et al.* (2009) y Vasco *et al.* (2009). El pH aumenta a medida que los ácidos orgánicos contenidos en la fruta

se van transformando durante su maduración debido a su respiración (Quintero *et al.*, 2013), lo cual se traduce en una reducción de la acidez titulable (Wu *et al.*, 2016). En relación al color de las muestras de sachatomate el valor de L^* es similar a lo reportado por Navarro (2017) con un valor de 47.93. De igual manera, la tonalidad de la cáscara tiende a dar valores positivos en a^* (rojo) y b^* (amarillo) que de acuerdo a Ramírez & Kallarackal (2019) se acentúa durante el proceso de maduración del fruto.

Tabla 7: Características fisicoquímicas del sachatomate

Parámetro	Procedencia	
	Huánuco	Cajamarca
Sólidos solubles (° Brix)	11.13± 0.35 ^a	12.33± 0.40 ^b
pH	3.77 ± 0.02 ^b	3.68 ± 0.01 ^a
Acidez titulable (% ácido cítrico)	1.89 ± 0.16 ^a	1.95 ± 0.11 ^a
Índice de madurez	5.90 ± 2.21 ^a	6.25 ± 3.54 ^a
Color		
L^*	46.37 ± 2.49 ^a	47.29 ± 3.70 ^a
a^*	25.73 ± 2.53 ^a	25.06 ± 3.75 ^a
b^*	24.49 ± 2.90 ^a	24.77 ± 4.97 ^a
C	35.74 ± 3.43 ^a	35.6 ± 2.33 ^a
H (°)	43.46 ± 6.59 ^a	44.71 ± 8.52 ^a

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar.

Valores con letras diferentes (a y b) dentro de la misma fila difieren significativamente ($p < 0.05$).

4.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LAS PARTES DEL FRUTO SACHATOMATE (SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA)

En el **Anexo 9, 10 y 11**, se detallan los resultados del análisis de los compuestos bioactivos del sachatomate.

4.2.1. CONTENIDO TOTAL DE CAROTENOIDES

El contenido total de carotenoides obtenidos en la semilla, cáscara y pulpa procedentes de Huánuco y Cajamarca se muestran en la **Figura 12**. La sumatoria de la cáscara y pulpa puede considerarse como el contenido total de carotenoides en el fruto, dado que el porcentaje de la cáscara de la fruta es baja, siendo 14.39 mg/100 g b.h. = 116.42 mg/100 g b.s. y 13.89 mg/100 g b.h. = 107.01 mg/100 g b.s. para las muestras de Huánuco y Cajamarca, respectivamente. Estos resultados expresados en b.s. son mayores a los reportados para

muestras de sachatomate procedentes del departamento de Junín (4 mg/100 g b.h = 23.39 mg/100 g b.s) (Repo & Encina, 2008), y para las variedades amarilla y roja-morada procedentes de Ecuador (3.4 mg/100 g b.h.= 24.29 mg/100 g b.s. y 5.2 mg/100 g b.h.= 65 mg/100 g b.s. respectivamente) (Vasco *et al.*, 2009). De igual manera, los contenidos totales de carotenoides encontrados en el presente trabajo son superiores a los reportados para diferentes cultivares de Ecuador (2.6 a 11.20 mg/100 g b.s) (Acosta *et al.*, 2015). Las diferencias encontradas pueden deberse a factores varietales de sachatomate, las condiciones climáticas, el método de extracción y procedencia. El contenido total de carotenoides del sachatomate es mayor que el de la mayoría de las frutas tropicales, lo que los hace nutricionalmente interesantes (Breithaupt & Bamedi, 2001).

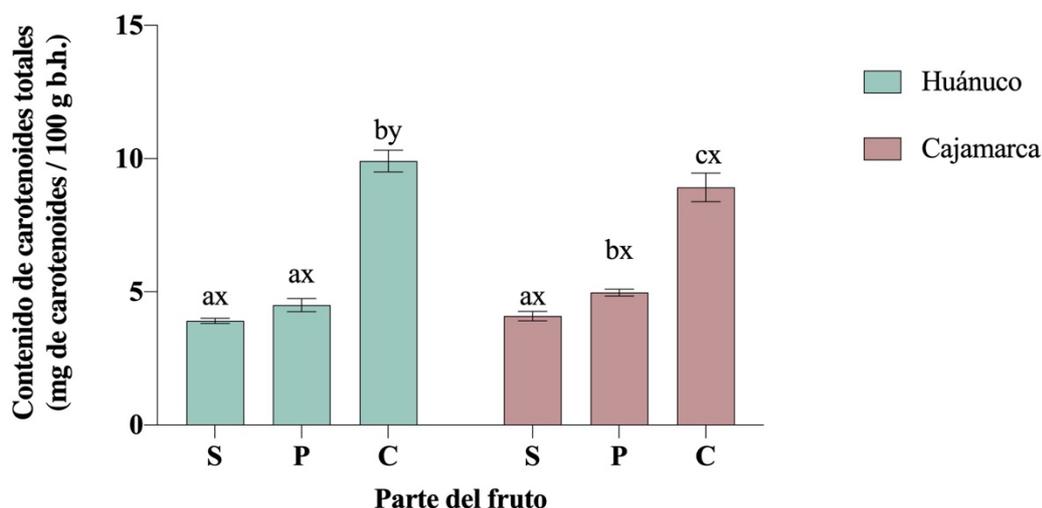


Figura 12: Contenido total de carotenoides de semilla (S), pulpa (P), cáscara (C) de Huánuco y Cajamarca. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto de cada lugar de procedencia y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia ($p < 0.05$)

Así mismo en la **Figura 12**, se muestra el contenido total de carotenoides en las diferentes partes del sachatomate, observándose que el contenido total de carotenoides en la cáscara de sachatomate de Cajamarca (8.92 mg/100 g b.h.) fue mayor que en la pulpa (4.97 mg/100 g b.h.), seguido de la semilla (4.09 mg/100 g b.h.). Por otro lado, el contenido total de carotenoides obtenido para la muestra procedente de Huánuco fue mayor en la cáscara (9.90 mg/100 g b.h.) que la pulpa (4.49 mg/100 g b.h.) y en semilla (3.9 mg/100 g b.h.) En ambas muestras, la cáscara presentó mayor contenido de carotenoides totales que la pulpa, que concuerda con el hecho de que los carotenoides se producen principalmente en la cáscara de las frutas (Ayala *et al.*, 2011). Sin embargo, en otros cultivares de sachatomate procedentes de Nueva Zelanda se ha reportado un mayor contenido de carotenoides en la pulpa (Diep *et al.*, 2020b).

Las curvas de espectro de absorción de los extractos acetónicos de sachatomate (**Figura 13**) cualitativamente evidencian la presencia de β -caroteno (Inamura *et al.*, 1989), pigmento que ha sido identificado en sachatomates procedentes de Brasil (De Rosso & Mercadante, 2007). Con respecto a la relación de las alturas de dos picos a la absorbancia máxima, el sachatomate procedente de Cajamarca es de 9.64, 7.94 y 9.30 por ciento para la cáscara, pulpa y semillas, respectivamente, mientras que, para las muestras procedentes de Huánuco es de 7.87, 11.54 y 13.11 por ciento para la cáscara, pulpa y semillas, respectivamente. Dichos valores son inferiores a lo reportado para el β -caroteno en acetona con un valor del 15 por ciento (Rodríguez-Amaya, 2001); sin embargo, los valores reportados en la presente investigación se encuentran dentro del rango del 13-cis- β -caroteno con 7 por ciento en sachatomates procedentes de Ecuador (Mertz, *et al.* 2010) y 14 por ciento en sachatomates procedentes de Brasil (De Rosso & Mercadante, 2007).

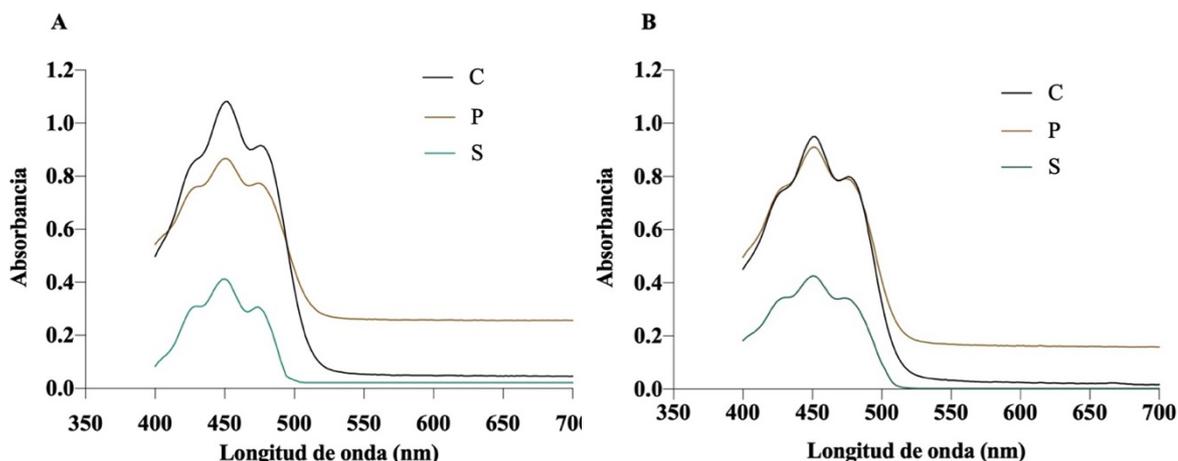


Figura 13: Espectro de absorción de los extractos acetónicos de la semilla (S), pulpa (P) y cáscara (C) procedentes de Huánuco (A) y Cajamarca (B). Los resultados representan el valor promedio de tres repeticiones independientes

4.2.2. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES Y TOTALES

El contenido de compuestos fenólicos totales extractables en la semilla, cáscara y pulpa de las muestras de sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca se muestran en la **Figura 14**. Se puede observar que la sumatoria de semilla + pulpa + cáscara (todo el fruto) de las muestras procedente de Huánuco y Cajamarca es 598.9 mg EAG/100 g b.h = 4845.43 EAG/100 g b.s y 832.68 mg EAG/100 g b.h. = 6415.10 mg EAG/100 g b.s, respectivamente. Dichos valores expresados en b.s. son superiores a los reportados en las muestras de la variedad morada procedentes de Ecuador (2337.50 mg EAG/100 g b.s = 187 mg EAG/100 g b.h.) (Vasco *et al.*, 2009) y en las procedentes de Junín (760.23 mg EAG/100 g b.s = 130 mg EAG/100 g b.h.) (Repo & Encina, 2008). Sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos encontrado en el presente trabajo en b.h. es inferior al reportado en sachatomates obtenidos del mercado central de Lima (846.95 mg EAG/100 g b.h.) (Muñoz *et al.*, 2009), aunque la diferencia de humedad entre las muestras puede influenciar en los valores de las muestras.

En relación al contenido de compuestos fenólicos totales extractables entre las partes del sachatomate de ambos lugares de procedencia, el contenido en la cáscara es mayor en el sachatomate procedente de Cajamarca (654.87 mg EAG/100 g b.h. = 3169 mg EAG/100 g b.s. versus 384.98 mg EAG/100 g b.h. = 1832.37 mg EAG/100 g b.s.) ($p < 0.05$) (**Figura 14** y **Anexo 9**). Contrariamente, el contenido de compuestos fenólicos totales extractables en la semilla de sachatomate de Huánuco es mayor al encontrado en la semilla de la muestra de Cajamarca (132.40 mg EAG/100 g b.h. = 599.10 mg EAG/100 g b.s. versus 101.23 mg EAG/100 g b.h. = 455.99 mg EAG/100 g b.s.). Con respecto a la pulpa, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras procedentes de ambos lugares de procedencia ($p > 0.05$).

Por otro lado, al comparar el contenido de compuestos fenólicos totales extractables entre las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se encontró que es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$) (**Figura 14**). Diversos estudios han encontrado que el contenido es más alto en la cáscara que en la pulpa del sachatomate (Vasco *et al.* 2009; Diep *et al.*, 2020c; Wrolstad *et al.* 1974). Sin embargo, los encontrados en las pulpas (81.52 mg EAG/100 g b.h. = 659.55 mg EAG/100 g b.s. y 76.58 mg EAG/100 g b.h. = 589.98 mg EAG/100 g b.s.) en el presente trabajo fueron menores a los encontrados en las variedades procedentes de Nueva Zelanda (678.98 mg EAG/100 g b.s) (Diep *et al.*, 2020c). La diferencia mencionada puede explicarse en gran parte por los factores climáticos y ambientales que pueden influir en la biosíntesis de compuestos fenólicos (Diep *et al.*, 2020a).

En relación a las fracciones metanólicas y acetónicas (la suma de ambas representa el total de compuestos fenólicos extractables) se puede observar que el contenido de estos compuestos es mayor en el extracto metanólico (**Figura 14**). Lo cual guarda relación con el hecho de que el contenido fenólico en el material orgánico acuoso es mayor debido a que puede ser extraído en mayores cantidades en solventes polares y, por lo tanto, presentan un mayor poder reductor. Esto depende en gran medida de las diversas características químicas y polaridades que presentan los compuestos antioxidantes de los materiales vegetales (Atiqah *et al.*, 2014).

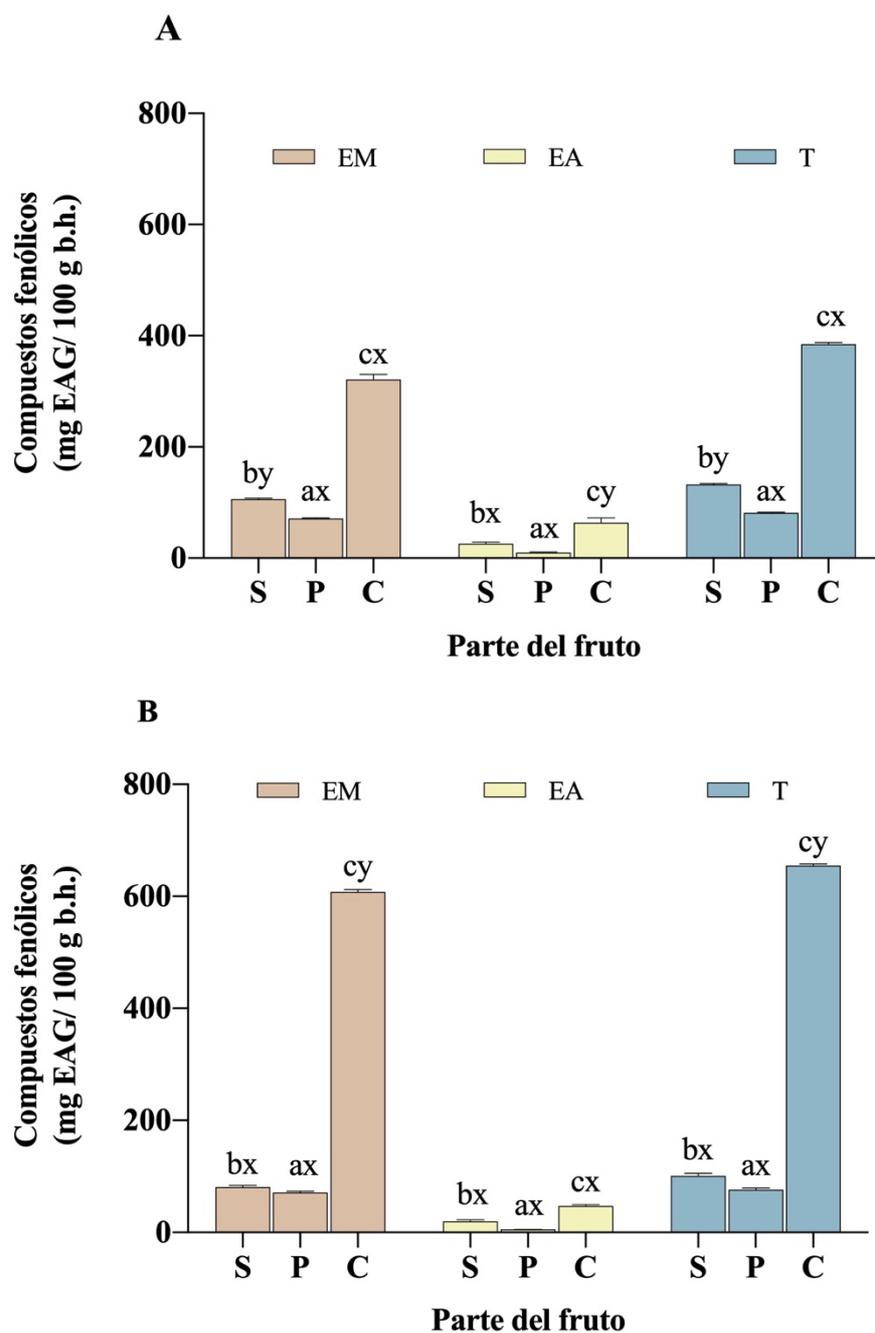


Figura 14: Compuestos fenólicos extractables de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). EM: Extracto metanólico acidificado, EA: Extracto acetónico, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada extracto y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada extracto ($p < 0.05$)

En la **Figura 15** se muestran los contenidos totales de compuestos fenólicos (extractable + no extractable) obtenidos por el método de QUENCHER para cada parte del sachatomate procedente de Huánuco y Cajamarca. De forma general, la suma de pulpa + semilla + cáscara (todo el fruto) es 781.21 mg EAG/100 g b.h. = 6320.47 mg EAG/100 g b.s y 1117 mg EAG/100 g b.h. = 8605.55 mg EAG/100 g b.s, respectivamente. Dichos valores encontrados en b.s. en el sachatomate son mayores (187 mg EAG/100 = 2337.50 mg EAG/100 g b.s y 130 mg = 760.23 mg EAG/100 g b.s EAG/100 g) a los reportados por Vasco *et al.* (2009) y Repo & Encina (2008). Sin embargo, sólo el contenido total de compuestos fenólicos encontrados para la muestra procedente de Cajamarca en b.h. es mayor que lo reportado por Muñoz *et al.* (2009) (846.95 mg EAG/100 g b.h.) aunque la diferencia de humedad entre las muestras puede influenciar en los valores de las muestras. Además, los datos obtenidos mostraron que los contenidos son mayores en la cáscara (503.59 y 793.79 mg EAG/100 g b.h.) y pulpa (109.89 y 164.62 mg EAG/100 g b.h.) de las muestras procedentes de Cajamarca que la de Huánuco ($p < 0.05$) (**Anexo 9**). Por el contrario, no hay diferencias significativas entre el contenido en las semillas de ambos lugares de procedencia (167.73 y 158.59 mg EAG/100 g b.h.) ($p > 0.05$).

Finalmente, al comparar el contenido de compuestos fenólicos total entre las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, no se encontraron diferencias significativas entre el contenido de la semilla y pulpa de la muestra procedente de Cajamarca ($p > 0.05$). Contrariamente, para el sachatomate procedente de Huánuco se encontró que el contenido total de compuestos fenólicos es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$).

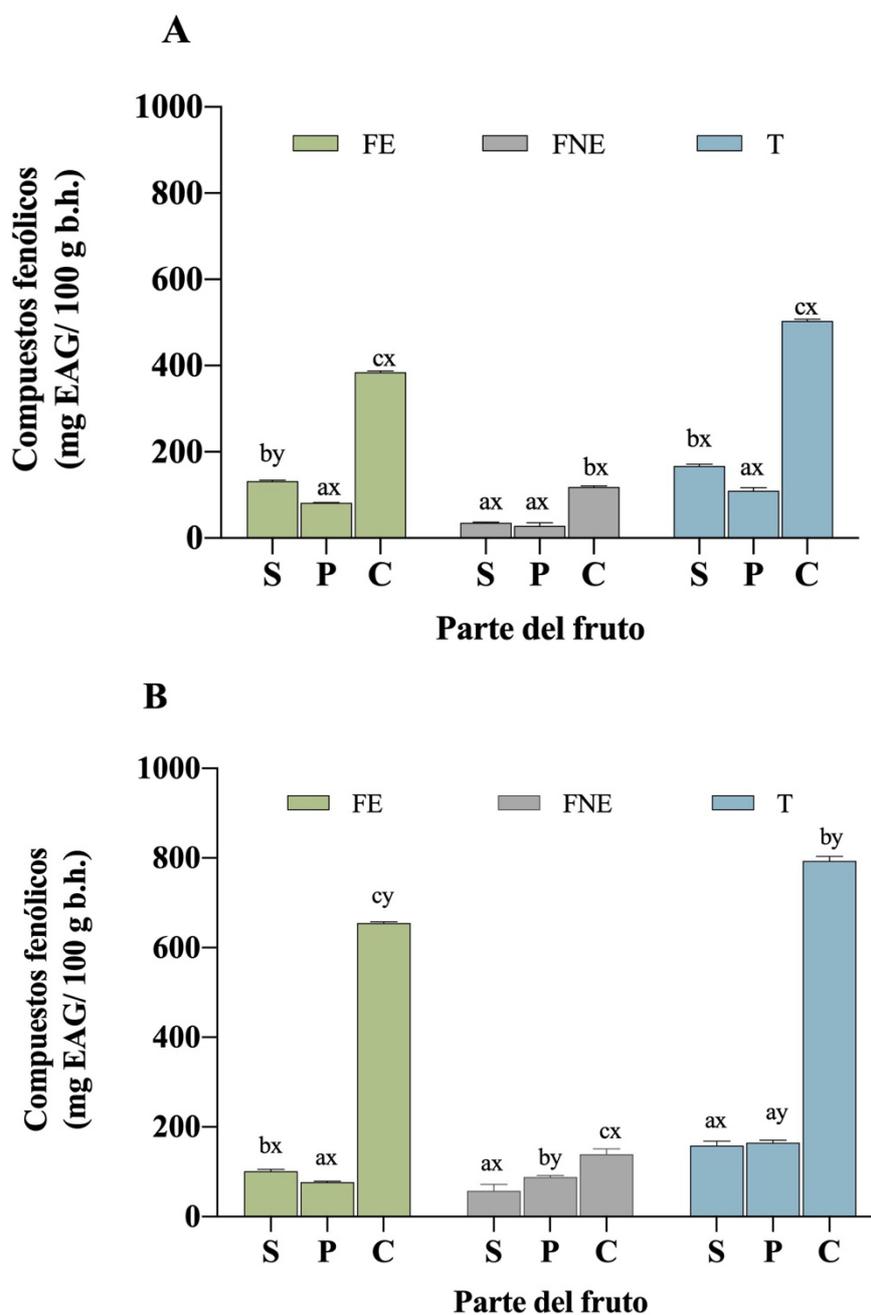


Figura 15: Compuestos fenólicos extractables y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). FE: Fracción extractable, FNE: Fracción no extractable, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada fracción y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada fracción ($p < 0.05$)

4.2.3. CONTENIDO TOTAL DE FLAVONOIDES

El contenido total de flavonoides para la semilla, pulpa y cáscara se observa en la **Figura 16**. Dichos valores representan solo la fracción metanólica dado que los flavonoides no se detectaron en la fracción acetónica (**Anexo 9**). Se observa que el contenido es mayor en la cáscara del sachatomate procedente de Cajamarca que en la de Huánuco (521.82 versus 281.16 mg EC/100 g b.h., respectivamente) ($p < 0.05$). De la misma forma, el sachatomate de Cajamarca presenta un mayor contenido en la pulpa (36.79 versus 14.85 mg EC/100 g b.h.). Contrariamente, no se encuentran diferencias significativas en el contenido entre las semillas (17.43 y 22.19 mg EC/100 g, $p > 0.05$).

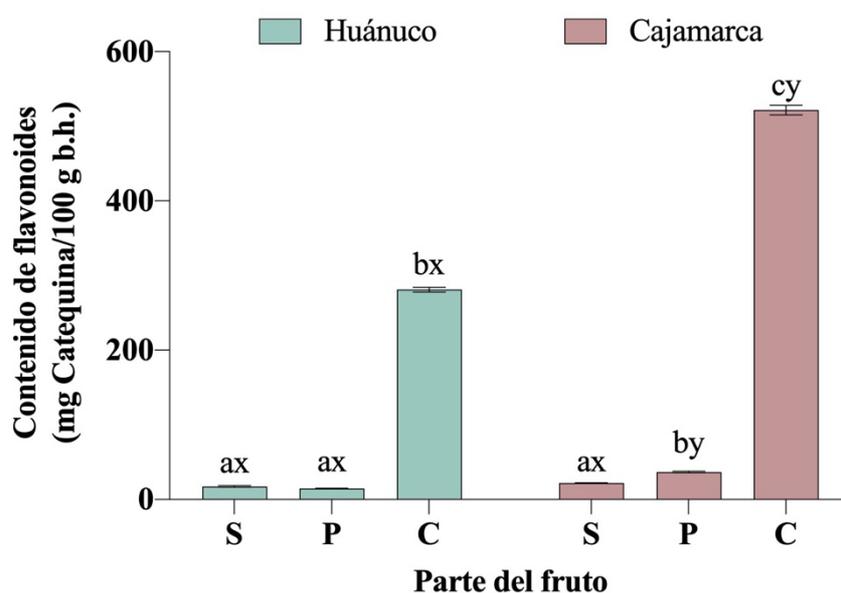


Figura 16: Contenido total de flavonoides de semilla (S), pulpa (P), cáscara (C) de Huánuco y Cajamarca. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia ($p < 0.05$)

Por otro lado, al comparar el contenido total de flavonoides entre las partes del sachatomate de una misma procedencia, se observa que en la cáscara se obtuvo una mayor cantidad de flavonoides en comparación con la semilla y pulpa procedentes de Huánuco (281.16 versus

17.43 y 14.85 mg EC/100 g, respectivamente) y Cajamarca (521.82 versus 22.19 y 36.79 mg EC/100 g, respectivamente, $p < 0.05$) (**Anexo 9**). Los valores obtenidos en este estudio para la cáscara son mayores a aquellos encontrados en la cáscara de sachatomate procedente de Argentina (265.70 mg/100 g b.s o 36.45 mg/100 g b.h). Al comparar el contenido de flavonoides de la pulpa y semilla procedente de Cajamarca con las muestras procedentes de Argentina se encontró que en la pulpa es mayor (223.80 mg/100 g b.s o 30.70 mg/100 g b.h) y en la semilla menor (175.62 mg/100 g b.s o 36.25 mg/100 g b.h) (Orqueda *et al.*, 2017). Además, en el estudio previamente referenciado, se identificaron en el sachatomate como flavonoides mayoritarios rutina, miricetina, quercetina, kaempferol y sus enantiómeros.

4.2.4. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE Y TOTAL

a. MÉTODO DPPH

La capacidad antioxidante total extractable (CATE) por el método DPPH de las partes de la muestra de sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca se muestran en la **Figura 17**. Se puede observar que la sumatoria de semilla + pulpa + cáscara de las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca es 231.58 y 351.33 mg EAG/100 g b.h., respectivamente. Otros estudios, han encontrado una capacidad antioxidante de 853 g ET/g b.s en muestras procedentes de Junín (Repo *et al.*, 2008) y para diferentes accesiones cultivadas en España encontraron una capacidad con valores que oscilan entre 12.2 a 48.7 mol ET/g (Acosta *et al.*, 2015). No obstante, no es posible comparar nuestros resultados con los obtenidos por estos autores, debido a los diferentes métodos, formas de expresión de resultados y la variedad del sachatomate.

En relación a la CATE de las partes del sachatomate, la cáscara procedente de Cajamarca muestra una mayor capacidad que la de Huánuco (266.49 versus 155.73 mg EAG/100 g b.h.) ($p < 0.05$) (**Figura 17 y Anexo 9**). De forma similar, la CATE de la pulpa es superior al encontrado en sachatomate de Huánuco (32.17 versus 24.48 mg EAG/100 g b.h.). Con respecto a la CATE de la semilla, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras procedentes de ambos lugares de procedencia ($p > 0.05$).

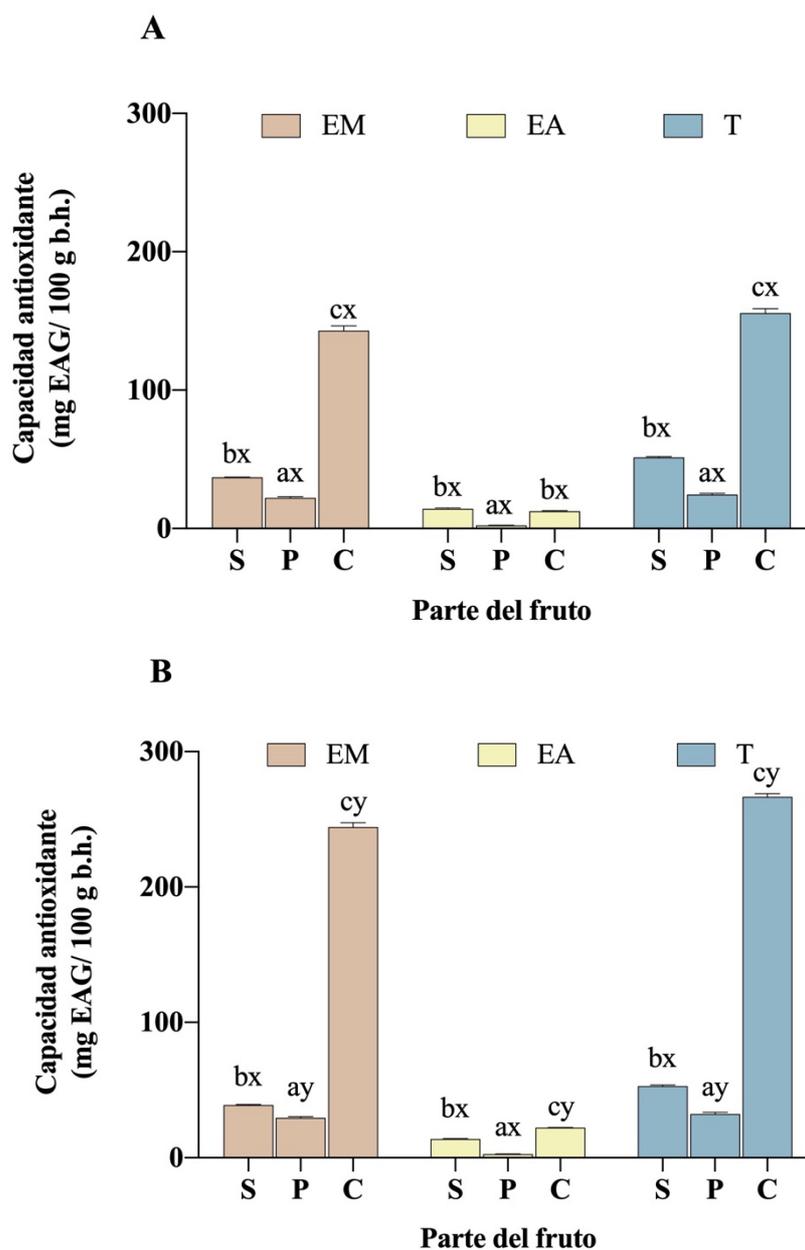


Figura 17: Capacidad antioxidante de la fracción extractable de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). EM: Extracto metanólico acidificado, EA: Extracto acetónico, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada extracto y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada extracto ($p < 0.05$)

Por otro lado, al comparar la CATE de las partes del sachatome de un mismo lugar de procedencia, se encontró que es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$) (**Figura 17**). Esto se corresponde con el contenido de compuestos fenólicos encontrados en el presente estudio (**Figura 14 y 15**). La CATE de la pulpa y semilla está asociada a la presencia de ácido clorogénico, quínico y rosmarínico, siendo predominantes en la semilla (Lara, 2016). En términos generales, se ha encontrado que la capacidad antioxidante de la cáscara (22 y 40 $\mu\text{mol ET/g b.h}$) es mayor que la capacidad de la semilla (3.8 y 9.3 $\mu\text{mol ET/g b.h}$) y pulpa (2.3 y 3 $\mu\text{mol ET/g b.h}$) de las variedades amarillas y moradas del sachatome de Ecuador, respectivamente (Vasco *et al.*, 2009).

En relación a la capacidad antioxidante de las fracciones metanólicas y acetónicas (la suma de ambas representa la CATE), se puede observar que la capacidad antioxidante es mayor en el extracto metanólico (**Figura 14**). Lo cual guarda relación con el hecho de que los solventes polares extraen mayores cantidades de compuestos fenólicos (Atiqah *et al.*, 2014).

En la **Figura 18** se muestra la capacidad antioxidante total (CAT), que incluye los antioxidantes extractables y no extractables obtenida por el método de QUENCHER de las tres partes del sachatome procedentes de Huánuco y Cajamarca. Se puede observar que la sumatoria de la CAT de la semilla + pulpa + cáscara de las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca es 274.14 y 436.25 mg EAG/100 g b.h., respectivamente (**Anexo 9**). Este es el primer reporte de la CAT por el método QUENCHER donde, es importante resaltar que el estándar de referencia usado en la literatura es diferente al presente trabajo por lo cual la corrección daría un dato aproximado de 8.11 mmol EAG/100 g b.s y 12.90 mmol EAG/100 g b.s. para las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca, respectivamente. Los valores de CAT son menores que los determinados para la fresa (311.4 mmol ET/Kg b.s = 92.68 mmol EAG/100 g b.s), manzana (62 mmol ET/Kg b.s = 18.45 mmol EAG/100 g b.s) y espinaca (66.8 mmol ET/Kg b.s = 19.88 mmol EAG/100 g b.s) (Serpen *et al.*, 2012). Los valores de la CAT medido por el método QUENCHER de cereales como trigo (6.6 mmol ET/Kg b.s = 1.96 mmol EAG/100 g b.s), arroz (12.3 mmol ET/Kg b.s = 3.66 mmol EAG/100 g b.s) y centeno (19.4 mmol ET/Kg b.s = 5.77 mmol EAG/100 g b.s) son menores a los resultados encontrados para las muestras de sachatome (Serpen *et al.*, 2012).

En relación a la CAT de las partes del sachatomate, la cáscara procedente de la muestra de Cajamarca muestra una mayor CAT que la de Huánuco (332.0 versus 169.86 mg EAG/100 g) ($p < 0.05$) (**Figura 18 y Anexo 9**). Contrariamente, para la CAT de la pulpa y semilla no se encontraron diferencias significativas entre las muestras procedentes de ambos lugares de procedencia ($p > 0.05$). Finalmente, al comparar la CAT entre las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se encontró que es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$) (**Figura 18**).

En el **Anexo 10**, se muestran la CATE, CAT no extractable y CAT de las partes del sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca. Se puede observar que, de la CAT de las semillas procedentes de Huánuco y Cajamarca, un 67 y 78 por ciento de la capacidad antioxidante es extractable y un 33 y 22 por ciento es no es extractable, respectivamente. En el caso de la pulpa, al no encontrarse diferencias significativas se considera que el 100 por ciento es extractable. La CAT de la cáscara refleja que un 78 y 80 por ciento de la capacidad antioxidante es extractable y un 22 y 20 por ciento es no extractable, respectivamente. Estos datos son comparables a los encontrados en legumbres tostados, nueces y semillas medidas por el método QUENCHER donde fueron generalmente más altos que los determinados por los procedimientos basados en la extracción, por ejemplo, para el frejol negro el CAT representa un 20 por ciento y en consecuencia, la fracción no extractable 80 por ciento (Açar *et al.*, 2009). Las diferencias en los valores de CAT medidos por el método QUENCHER y de extracción pueden atribuirse a la incapacidad de los procedimientos basados en la extracción para extraer compuestos fenólicos en formas unidas, y a la pérdida de compuestos antioxidantes sensibles a la oxidación y otros fenómenos de degradación (Gokmen *et al.*, 2009).

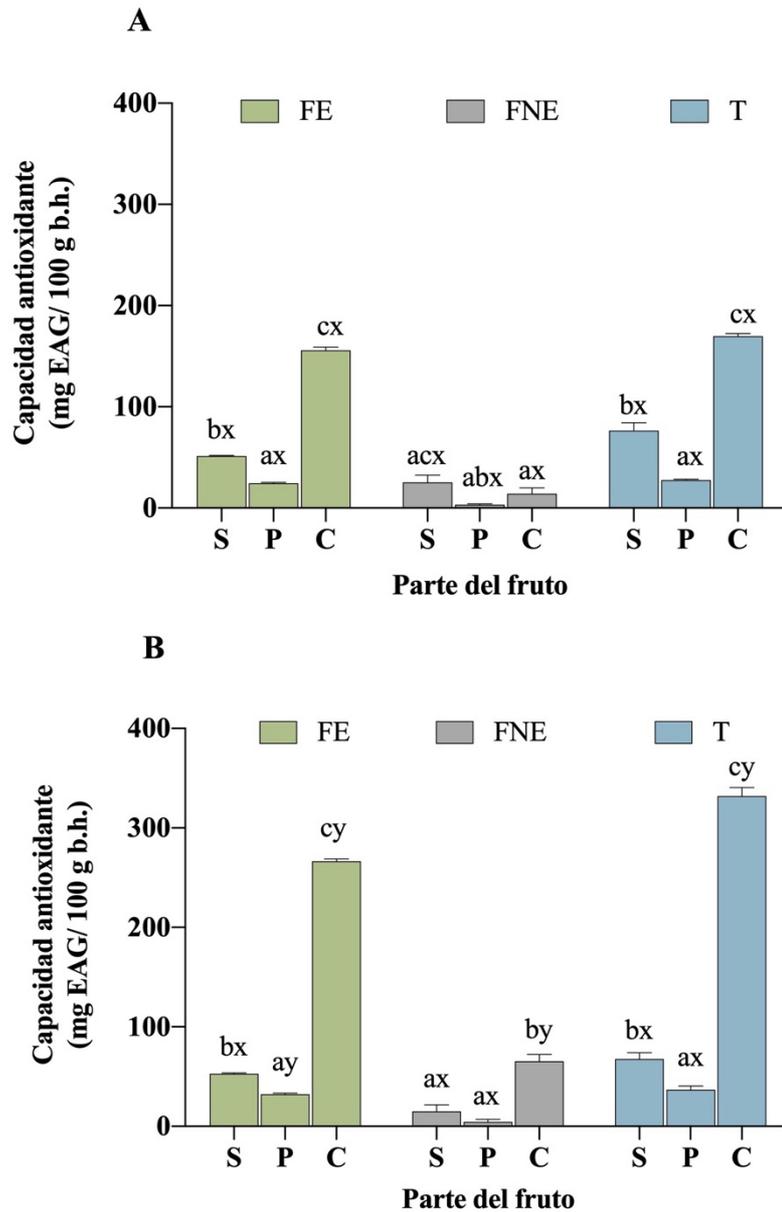


Figura 18: Capacidad antioxidante de la fracción extractable y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). FE: Fracción extractable, FNE: Fracción no extractable, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada fracción y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada fracción ($p < 0.05$)

b. MÉTODO ABTS

La capacidad antioxidante total extractable (CATE) por el método ABTS de las partes de la muestra de sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca se muestran en la **Figura 19**. Se puede observar que la sumatoria de semilla + pulpa + cáscara de las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca es 778.83 y 853.31 mg ET/100 g b.h., respectivamente.

En relación a la CATE de las partes del sachatomate, la cáscara (573.52 versus 534.86 mg ET/100 g), pulpa (107.91 versus 85.47 mg ET/100 g) y semilla (171.88 versus 85.47 mg ET/100 g) procedentes de la muestra de Cajamarca son mayores que las muestras de Huánuco ($p < 0.05$) (**Figura 19 y Anexo 9**).

Por otro lado, al comparar la CATE de las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se encontró que es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$) (**Figura 19**). Es de destacar la identificación del ácido rosmarínico en la cáscara, ya que constituye un compuesto fenólico mayoritario en cultivares de sachatomates y es reconocido como un poderoso antioxidante al que se le han atribuido actividades biológicas relevantes (Espin *et al.*, 2016). Además, los resultados obtenidos en este trabajo están en concordancia con lo encontrado para sachatomates procedentes de Malasia, donde se ha informado que la capacidad antioxidante de la cáscara es mayor que la pulpa (Ali & Abu, 2013). Otras investigaciones, han demostrado que las partes de sachatomate procedentes de Argentina (cáscara, semilla y pulpa) poseen capacidad antioxidante (Orqueda *et al.*, 2017).

En relación a la capacidad antioxidante de las fracciones metanólicas y acetónicas (la suma de ambas representa la CATE), se puede observar que la capacidad antioxidante es mayor en el extracto metanólico (**Figura 19**). Lo cual guarda relación con el hecho de que los solventes polares extraen mayores cantidades de compuestos fenólicos (Atiqah *et al.*, 2014).

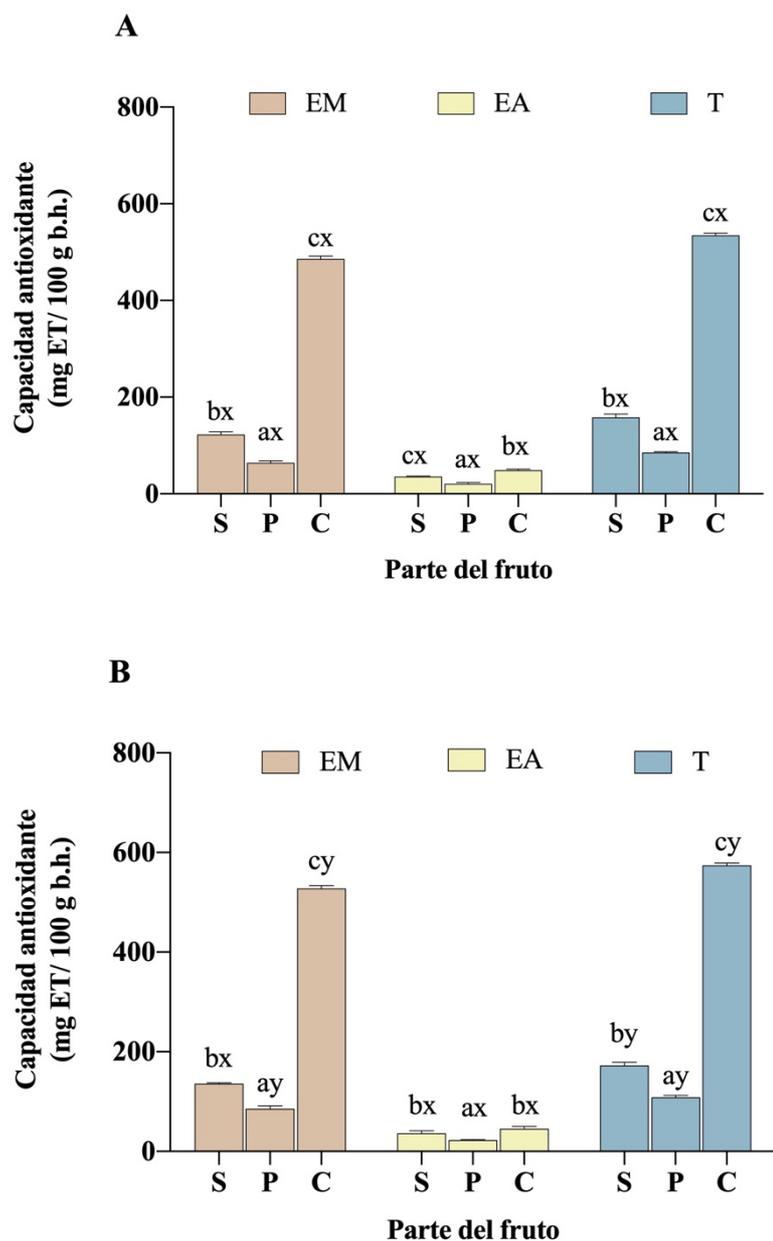


Figura 19: Capacidad antioxidante de la fracción extractable de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). EM: Extracto metanólico acidificado, EA: Extracto acetónico, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada extracto y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada extracto ($p < 0.05$)

En la **Figura 20** se muestra la capacidad antioxidante total (CAT, extractable + no extractable) obtenida por el método de QUENCHER de las tres partes del sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca. Se puede observar que la sumatoria de semilla + pulpa + cáscara de las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca es 825.33 y 870.96 mg ET/100 g b.h., respectivamente. Este es el primer reporte de la CAT por el método QUENCHER donde es de importancia mencionar que el estándar de referencia usado en la literatura es diferente al presente trabajo por lo cual la corrección daría un dato aproximado de 24.74 mmol EAG/100 g b.s y 26.27 mmol EAG/100 g b.s. para las muestras procedentes de Huánuco y Cajamarca, respectivamente. Los valores de CAT son menores que los determinados para la fresa (299.9 mmol ET/Kg b.s = 89.26 mmol EAG/100 g b.s), manzana (60.2 mmol ET/Kg b.s = 17.92 mmol EAG/100 g b.s) y espinaca (147.3 mmol ET/Kg b.s = 43.84 mmol EAG/100 g b.s) (Serpen *et al.*, 2012). Los valores de la CAT medido por el método QUENCHER de cereales como trigo (17 mmol ET/Kg b.s = 5.96 mmol EAG/100 g b.s), arroz (14.9 mmol ET/Kg b.s = 4.43 mmol EAG/100 g b.s) y centeno (32.7 mmol ET/Kg b.s = 9.73 mmol EAG/100 g b.s) son menores a los resultados encontrados para las muestras de sachatomate (Serpen *et al.*, 2012).

En el **Anexo 10**, se muestran la CATE, CAT no extractable y CAT, de las partes del sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca. Se puede observar que, de la CAT de las semillas procedentes de Huánuco y Cajamarca, un 90 y 95 por ciento de la capacidad antioxidante es extractable y un 10 y 5 por ciento es no es extractable, respectivamente. En el caso de la CAT de la pulpa procedente de Cajamarca se tiene que el 100 por ciento es extractable mientras que la CAT de pulpa procedente de Huánuco representa que un 88 por ciento es extractable y 22 por ciento no es extractable. La CAT de la cáscara procedente de Huánuco refleja que un 97 por ciento de la capacidad antioxidante es extractable y un 3 por ciento es no extractable, a diferencia de la muestra procedente de Cajamarca donde se obtuvo que el 100 por ciento es extractable. Estos datos son comparables a los encontrados en legumbres tostados, nueces y semillas medidas por el método QUENCHER donde fueron generalmente más altos que los determinados por los procedimientos basados en la extracción, por ejemplo, para el frejol negro el CAT representa un 20 por ciento y en consecuencia, la fracción no extractable 80 por ciento (Açar *et al.*, 2009). Las diferencias en los valores de CAT medidos por el método QUENCHER y de extracción pueden atribuirse a la incapacidad de los procedimientos basados en la extracción para extraer compuestos

fenólicos en formas unidas, y a la pérdida de compuestos antioxidantes sensibles a la oxidación y otros fenómenos de degradación (Gokmen *et al.*, 2009).

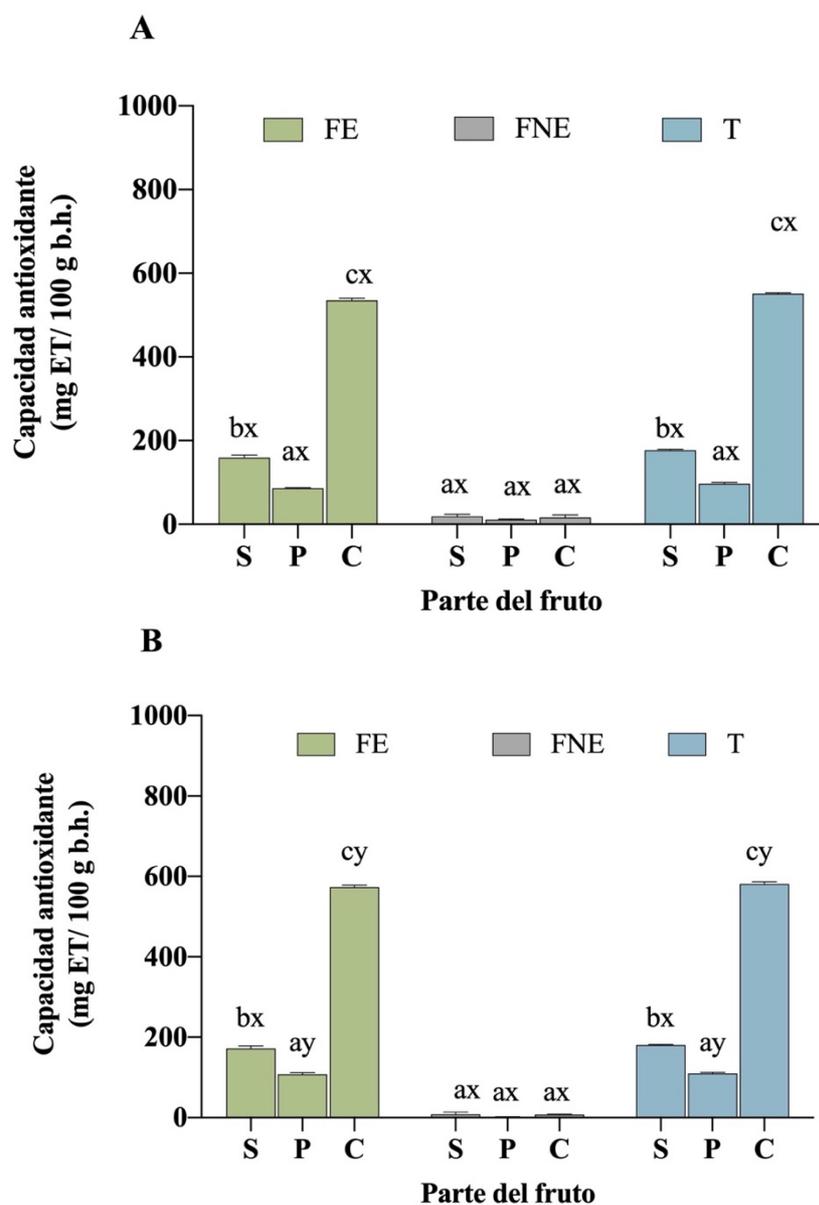


Figura 20: Capacidad antioxidante de la fracción extractable y total de procedencia Huánuco (A) y Cajamarca (B): semilla (S), pulpa (P), cáscara (C). FE: Fracción extractable, FNE: Fracción no extractable, T: Total. Las barras de error representan la desviación estándar de tres repeticiones independientes. Letras minúsculas distintas a, b, c indican diferencias significativas entre las partes del fruto para cada fracción y letras minúsculas distintas x, y indican diferencias significativas entre ambos lugares de procedencia para cada fracción ($p < 0.05$)

En relación a la CAT de las partes del sachatomate, la cáscara procedente de la muestra de Cajamarca muestra una mayor capacidad que la de Huánuco (580.99 versus 551.22 mg ET/100) ($p < 0.05$) (**Figura 20 y Anexo 9**). De forma similar, la CAT de la pulpa es superior al encontrado en aquella procedente de Huánuco (109.54 versus 96.91 mg ET/100 g). Respecto a la CAT de las semillas, no se encontraron diferencias entre las muestras procedentes de ambos lugares de procedencia. Finalmente, al comparar la capacidad total antioxidante entre las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se encontró que también es mayor en la cáscara que en la semilla y éste a su vez mayor que la pulpa ($p < 0.05$) (**Figura 20**).

4.2.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

En la **Figura 21** se muestran los perfiles de la inhibición de los extractos de cáscara, semilla y pulpa de ambos lugares de procedencia a distintas concentraciones para *E. coli* ATCC® 25922TM; y en la **Figura 22**, los perfiles de inhibición para *S. aureus* ATCC® 25923TM. Se observa que la relación entre el porcentaje de inhibición del crecimiento microbiano y la concentración de los extractos de las partes del sachatomate no es una línea recta, sino una forma sigmoideal o de S. En la primera parte de las curvas se denota una mayor cinética de inhibición que se traduce en una disminución del crecimiento bacteriano, mientras que en la segunda parte se mantiene casi constante. Esto se debe a que a bajas concentraciones la bacteria detecta el extracto, disminuyendo su crecimiento aceleradamente. Luego, la concentración va en aumento y estos saturarían sus receptores de las bacterias, por lo cual el crecimiento disminuiría lentamente (Gutiérrez, 2014). Es decir, se muestra una disminución de la carga microbiana cuanto mayor es la concentración de extracto de cada parte del sachatomate.

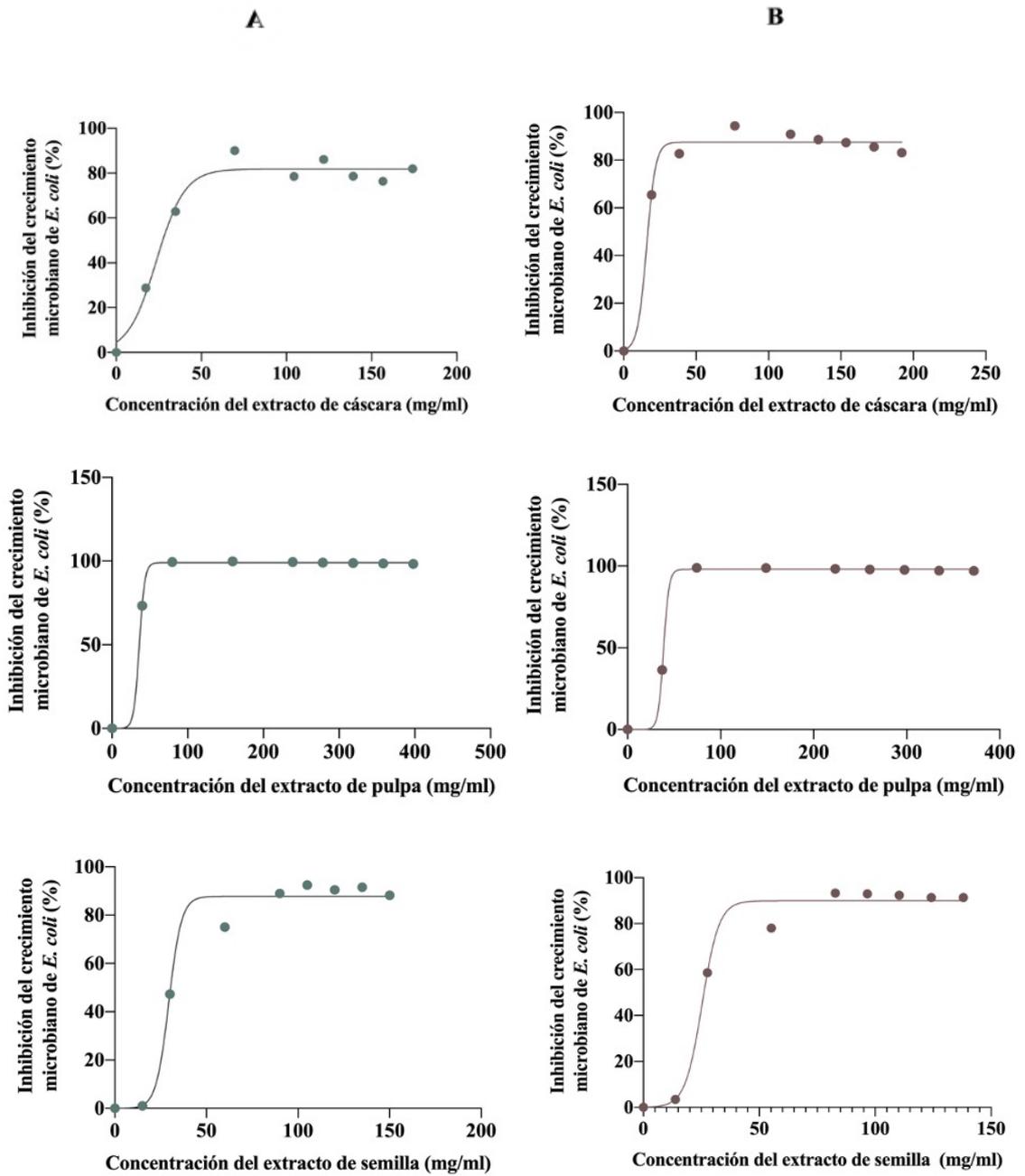


Figura 21: Porcentaje de inhibición de crecimiento de *E. coli* a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). Los datos de los círculos representan los datos experimentales obtenidos de tres repeticiones (n=3). La línea continua representa el modelo matemático logístico

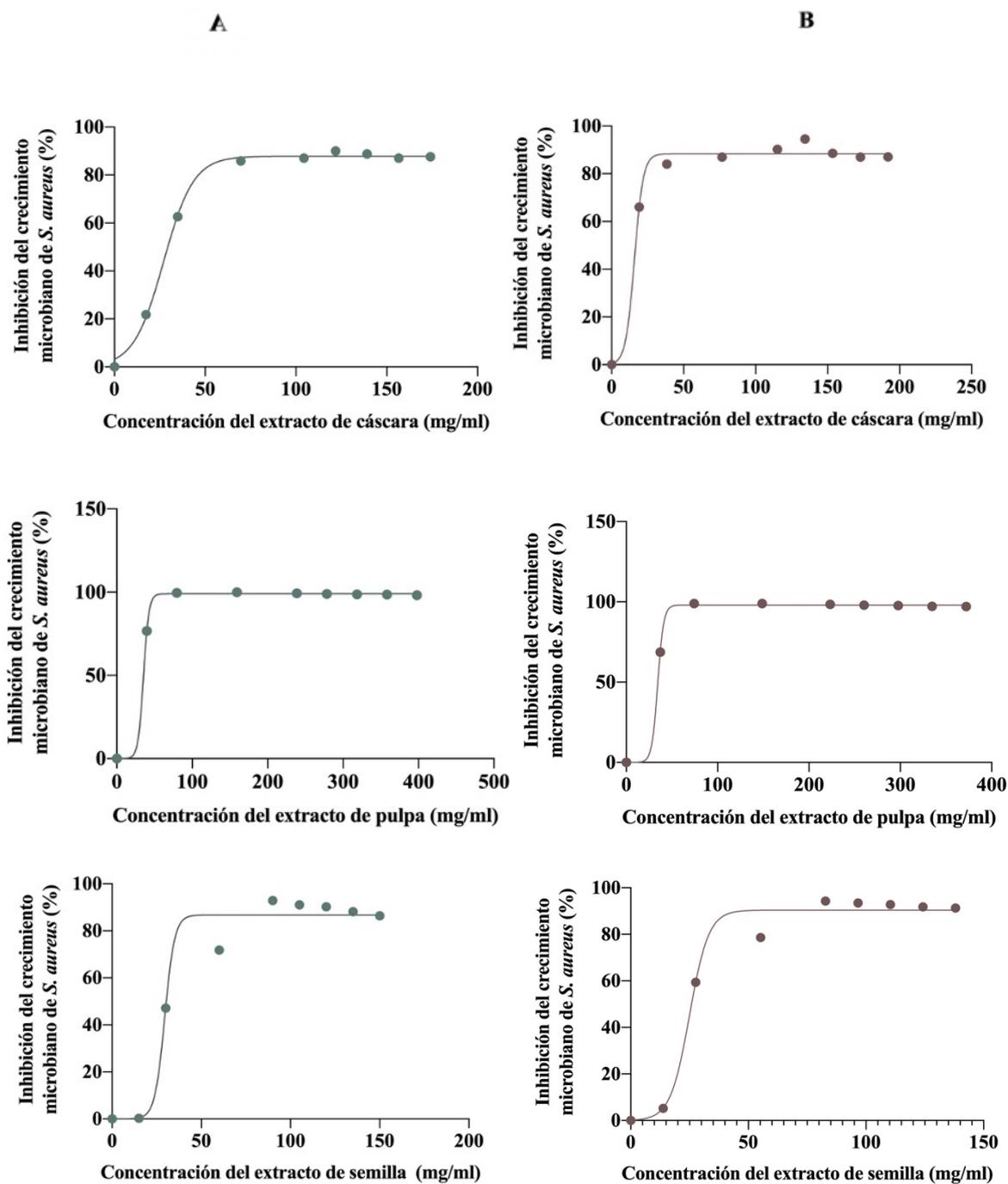


Figura 22: Porcentaje de inhibición del crecimiento de *S. aureus* a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). Los datos de los círculos representan los datos experimentales obtenidos de tres repeticiones ($n = 3$). La línea continua representa el modelo matemático logístico

Los datos presentados en las figuras mencionadas fueron analizados mediante un análisis de regresión no lineal ($R^2 > 0.972$) para calcular los parámetros de inhibición. En la **Tabla 8** se muestran dichos parámetros de los extractos de cáscara, semilla y pulpa del sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca frente a las cepas *E. coli* y *S. aureus*. En relación a los parámetros de inhibición de los extractos de las partes del sachatomate, se observa que la constante de velocidad de inhibición (k) (0.121 a 0.422) y el porcentaje de inhibición inicial (Y0) (0.016 a 4.693 por ciento) de los extractos de cáscara, semilla y pulpa procedentes de Huánuco son similares a los que proceden de Cajamarca frente a las cepas de estudiadas ($p > 0.05$). Esto quiere decir que, independientemente del lugar de procedencia, los extractos de las partes del sachatomate tienen acción inhibitoria contra las cepas *E. coli* y *S. aureus*. Así mismo, el porcentaje de inhibición máxima (YM) de los extractos de semilla que proceden de Cajamarca son mayores que las procedentes de Huánuco contra *E. coli* (89.917 versus 87.85, respectivamente) y *S. aureus* (90.400 versus 86.727, respectivamente) ($p < 0.05$). Contrariamente, no existen diferencias significativas entre el YM de los extractos de pulpa procedentes de Cajamarca y Huánuco ($p > 0.05$). Con respecto al YM de los extractos de cáscara, se obtuvo que es mayor en la que procede de Cajamarca frente a *E. coli* ($p < 0.05$) e igual para ambos lugares de procedencia frente a *S. Aureus* ($p > 0.05$). Esto se traduce en que, en un momento dado la inhibición máxima de los extractos de semilla, pulpa y cáscara frente a *E. coli* y *S. aureus* llegaría a ser entre un 82 a 100 por ciento.

Por otro lado, al comparar los parámetros de inhibición de los extractos de las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se encontró que el YM de los extractos de pulpa son mayores (98.013 y 98.053 por ciento) a las semillas (89.917 y 90.40 por ciento) y éste a su vez mayores que la cáscara (87.567 y 88.373 por ciento) procedentes de Cajamarca para *E. coli* y *S. aureus*, respectivamente. De forma similar, el YM de los extractos de pulpa son mayores a las semillas procedentes de Huánuco; sin embargo, el YM del extracto de semilla es similar al YM del extracto de cáscara para *S. Aureus*.

Tabla 8: Parámetros de inhibición y los valores del IC₅₀ contra *E. coli* y *S. aureus* por el extracto de las partes del sachatamate procedentes de Cajamarca y Huánuco

Parte del fruto	Bacteria	Procedencia									
		Cajamarca					Huánuco				
		YM	Y0	k	R ²	IC ₅₀ (mg/ml)	YM	Y0	k	R ²	IC ₅₀ (mg/ml)
Cáscara	<i>E. coli</i> ATCC® 25922TM	87.567±0.68 ^{a,A}	1.185±2.01 ^{a,C}	0.422±0.19 ^{a,D}	0.984	16.94±1.31 ^{a,E}	81.803±1.02 ^{a,B}	4.693±2.00 ^{a,C}	0.121±0.02 ^{a,D}	0.972	27.36±1.66 ^{ab,F}
	<i>S. aureus</i> ATCC® 25923TM	88.373±0.52 ^{ab,A}	1.363±1.27 ^{a,B}	0.375±0.22 ^{a,C}	0.989	16.65±1.00 ^{a,D}	87.807±1.31 ^{b,A}	3.232±1.49 ^{a,B}	0.123±0.01 ^{a,C}	0.988	29.33±1.73 ^{a,E}
	Semilla	<i>E. coli</i> ATCC® 25922TM	89.917±0.06 ^{b,A}	0.094±0.08 ^{a,C}	0.279±0.03 ^{a,D}	0.979	26.14±0.55 ^{b,E}	87.853±0.42 ^{b,B}	0.324±0.56 ^{a,C}	0.422±0.23 ^{a,D}	0.981
<i>S. aureus</i> ATCC® 25923TM		90.400±0.51 ^{b,A}	0.343±0.39 ^{a,C}	0.350±0.24 ^{a,D}	0.980	26.06±0.71 ^{b,E}	86.727±0.27 ^{b,B}	0.017±0.03 ^{a,C}	0.389±0.17 ^{a,D}	0.975	30.35±0.04 ^{a,E}
Pulpa		<i>E. coli</i> ATCC® 25922TM	98.013±0.17 ^{c,A}	0.016±0.03 ^{a,B}	0.294±0.09 ^{a,C}	0.999	39.45±1.52 ^{c,D}	99.120±0.17 ^{c,A}	2.475±2.42 ^{a,B}	0.184±0.14 ^{a,C}	0.998
	<i>S. aureus</i> ATCC® 25923TM	98.053±0.26 ^{c,A}	2.836±4.91 ^{a,B}	0.267±0.16 ^{a,C}	0.998	32.34±4.65 ^{d,D}	99.127±0.01 ^{c,A}	3.726±3.06 ^{a,B}	0.132±0.05 ^{a,C}	0.999	29.46±2.81 ^{a,D}

Los resultados se expresan como el promedio ± desviación estandar (n = 3). YM = Porcentaje de inhibición máxima, Y0 = Porcentaje de inhibición inicial, k= Constante de velocidad, IC₅₀= Concentración Inhibitoria al 50 por ciento. La misma letra minúscula en una columna y misma letra mayúscula en una fila indica que no hay diferencias significativas (p > 0.05).

Así mismo, se muestra la Concentración Inhibitoria (IC₅₀) de los extractos en la que se inhibió el 50 por ciento del crecimiento de las cepas después de 24 horas de incubación (**Anexo 12 y 13**). Las muestras de Huánuco de los extractos de cáscara, semilla y pulpa mostraron actividad inhibitoria frente *S. aureus*, con valores de IC₅₀ 29.33, 30.35 y 29.46 mg/ml, respectivamente, dichos valores no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$); y para las muestras de Cajamarca el IC₅₀ fue de 16.65, 26.06 y 32.34 mg/ml, respectivamente con diferencias significativas ($p < 0.05$). Por otro lado, frente a *E. coli* con valores de IC₅₀ para los extractos procedentes de Huánuco 27.36, 30.57 y 32.83 mg/ml sin diferencias significativas ($p > 0.05$) y para las muestras procedentes de Cajamarca 16.94, 26.14 y 39.45 mg/ml, respectivamente, con diferencias significativas ($p < 0.05$). Al respecto, se informó que la cáscara y pulpa del sachatomate de variedad roja procedente de Nueva Zelanda evidencian actividad inhibitoria frente a diferentes bacterias, entre ellas las cepas de estudio (Diep *et al.*, 2021).

En relación a la IC₅₀ de los extractos de las partes del sachatomate de un mismo lugar de procedencia, se tiene que la IC₅₀ del extracto de pulpa es mayor que el de semilla y éste a su vez mayor que el de cáscara, para ambas cepas de estudio para los extractos procedentes de Cajamarca (**Tabla 8**). Esto puede deberse a los diferentes componentes en los extractos que presenta cada parte del fruto (Diep *et al.*, 2021), lo que podría indicar una relación inversa entre el contenido de compuestos fenólicos obtenido (**Anexo 9**) y la concentración inhibitoria de los extractos. Contrariamente, no se encontraron diferencias significativas en la IC₅₀ de los extractos procedentes de Huánuco para *S. aureus* ($p > 0.05$). No obstante, se tiene que la IC₅₀ de la pulpa es mayor que el de la cáscara para la cepa de *E. coli*. Las diferencias pueden deberse a que en la cáscara se tienen concentraciones más altas de α -tocoferol, ácido clorogénico, ácido cafeico, rutina, rutinosido de isorhamnetina y rutinósido de cianidina que la pulpa (Diep *et al.*, 2020a; Diep *et al.*, 2020b) lo cual le atribuye un mayor efecto inhibitorio de los extractos de cáscara y en consecuencia una menor IC₅₀. De igual manera, en estudios de cáscara de granada se ha observado que la presencia en los extractos de compuestos fenólicos y flavonoides podrían ser los responsables de las excelentes actividades antimicrobianas (Al-Zoreky, 2009).

Por último, las IC₅₀ de los extractos de las distintas partes del sachatomate no mostraron diferencias significativas entre *E. coli* y *S. aureus*, es decir, los valores de inhibición de los

extractos mostraron igual sensibilidad en ambas cepas. Se deduce que las diferencias estructurales de la superficie celular de dichas cepas bacterianas no influyen en el valor de la IC₅₀ (Lizcano y Vergara, 2008).

4.2.6. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA

En la **Figura 23** se muestran los perfiles del crecimiento de los extractos de cáscara, semilla y pulpa de ambos lugares de procedencia a distintas concentraciones para *L. rhamnosus GG*; y en la **Figura 24**, los perfiles de crecimiento para *L. plantarum 299v*. Se observa que la relación entre el porcentaje de crecimiento microbiano y la concentración de los extractos de las partes del sachatomate no es una línea recta, sino tiende a una forma sigmoideal o de S. En la primera parte de las curvas se denota una mayor actividad prebiótica que se traduce en un aumento del crecimiento bacteriano, mientras que en la segunda parte parece mantenerse casi constante. Esto se debe a que a bajas concentraciones la bacteria detecta el extracto y aumenta su crecimiento aceleradamente. Luego, la concentración va en aumento hasta que posiblemente ya empieza a inhibir a las bacterias por lo cual el crecimiento disminuiría lentamente. Es decir, se muestra un aumento de la carga microbiana a medida que aumenta la concentración de extracto de cada parte del sachatomate. Es evidente que el crecimiento de las cepas ácido lácticas, *L. rhamnosus GG* y *L. plantarum 299v*, se vieron influenciadas por el extracto añadido (**Anexo 14 y 15**). Esto se debe a la diferente composición de los compuestos fenólicos en estos extractos utilizados, lo que sugiere un efecto específico sobre la microflora del ácido láctico. Se sabe que el efecto de los compuestos fenólicos en el crecimiento bacteriano depende de la cepa microbiana, la estructura de los compuestos fenólicos y su concentración en el medio (Dimitrova *et al.*, 2019). De forma adicional, se ha informado sobre los efectos positivos de los extractos de sachatomate (proteína inhibidora de la invertasa) contra el crecimiento de hongos xilófagos y fitopatógenos y bacterias fitopatógenas (Ordóñez *et al.*, 2006).

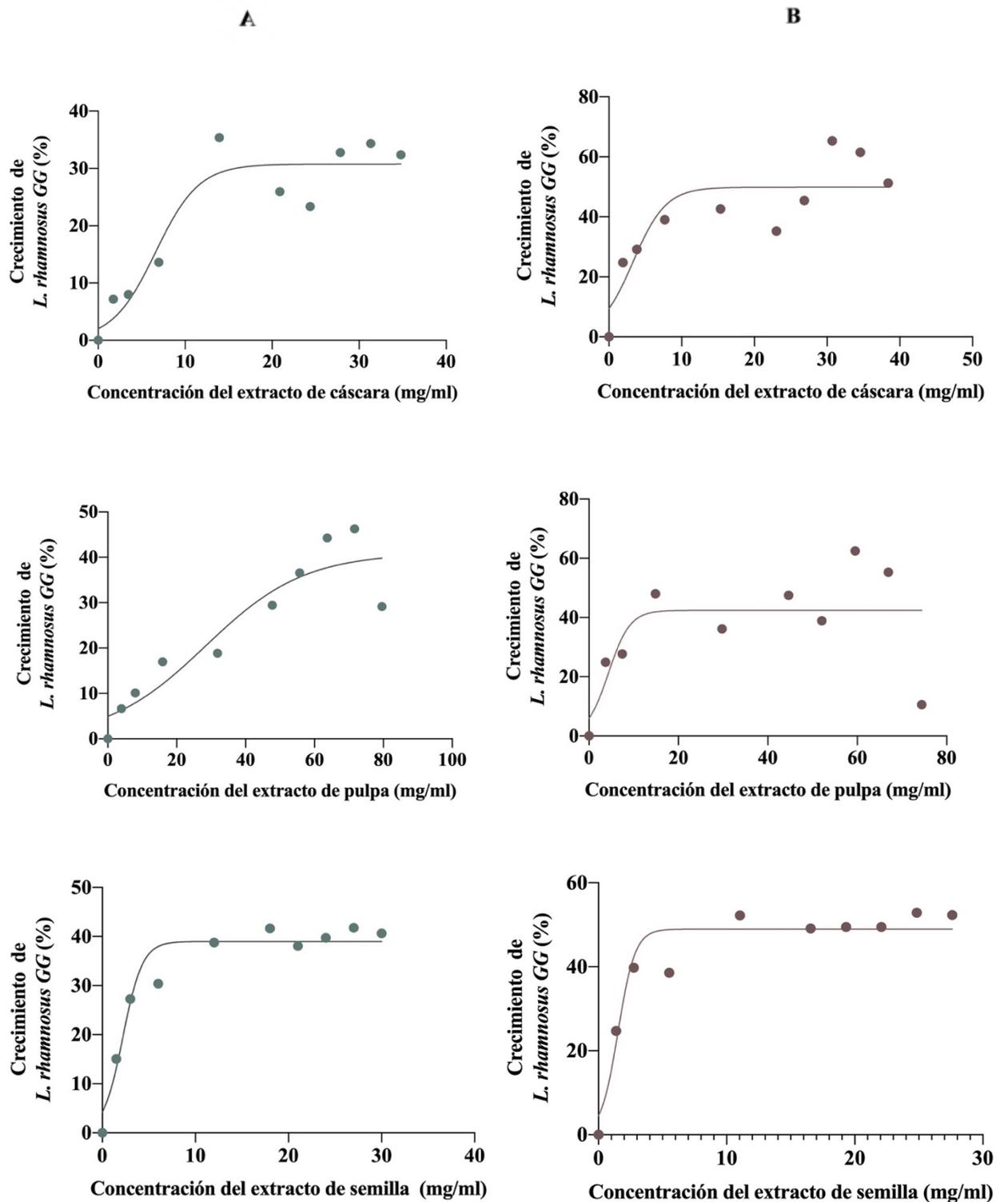


Figura 23: Porcentaje de crecimiento de *L. rhamnosus GG* a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). Los datos de los círculos representan los datos experimentales obtenidos de tres repeticiones ($n = 3$). La línea continua representa el modelo matemático logístico

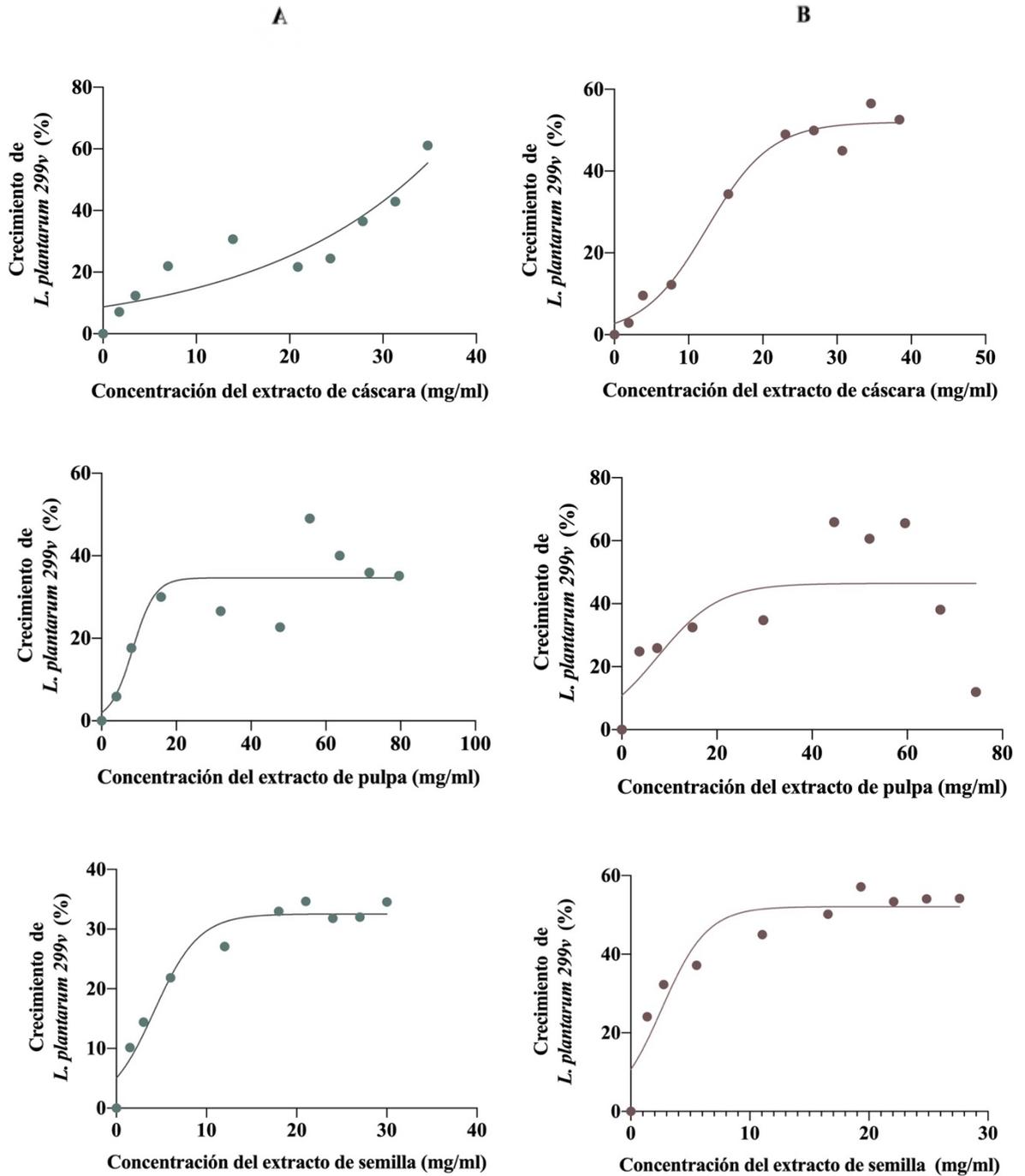


Figura 24: Porcentaje de crecimiento de *L. plantarum* 299v a distintas concentraciones del extracto de semilla, pulpa y cáscara procedente de Huánuco (A) y Cajamarca (B). Los datos de los círculos representan los datos experimentales obtenidos de tres repeticiones (n=3). La línea continua representa el modelo matemático logístico

Los datos presentados en las figuras mencionadas fueron analizados mediante un análisis de regresión no lineal ($R^2 > 0.746$, excepto los datos de pulpa procedente de Cajamarca que no presentan un ajuste elevado) para calcular los parámetros de crecimiento. En la **Tabla 9** se muestran dichos parámetros de los extractos de cáscara, semilla y pulpa del sachatome procedentes de Huánuco y Cajamarca contra las cepas *L. rhamnosus GG* y *L. plantarum 299v*. En relación a los parámetros de crecimiento de los extractos de las partes del sachatome, se observa que la constante de velocidad de crecimiento (k) para los extractos de cáscara y pulpa son iguales para ambos lugares de procedencia frente a las dos cepas probióticas ($p > 0.05$). No obstante, la k del extracto de semilla para *L. rhamnosus GG* procedente de Cajamarca es mayor a la que procede de Huánuco y para *L. plantarum 299v*, es similar. El porcentaje de crecimiento inicial (Y_0) de los extractos de cáscara, semilla y pulpa procedentes de Cajamarca son similares a los que proceden de Huánuco frente las cepas de estudiadas ($p > 0.05$), con excepción del extracto de cáscara para *L. rhamnosus GG* que es mayor a la que procede de Huánuco. Así mismo, los porcentajes de crecimiento máxima (Y_M) del extracto de cáscara, semilla y pulpa que proceden de Cajamarca son mayores que las procedentes de Huánuco contra *L. rhamnosus GG* y *L. plantarum 299v* ($p < 0.05$). Con respecto al Y_M del extracto de cáscara de Huánuco no se determinó el valor dado que el porcentaje de crecimiento sólo corresponden a la primera parte de la curva.

Por otro lado, al comparar los parámetros de crecimiento de los extractos de las partes del sachatome de un mismo lugar de procedencia, se encontró que el Y_M de los extractos de semilla que proceden de Cajamarca son similares al de cáscara para *L. rhamnosus GG* y *L. plantarum 299v* (49.023 y 51.950 versus 49.870 y 51.690 por ciento, respectivamente). El Y_M del extracto de pulpa para *L. rhamnosus GG* y *L. plantarum 299v* son menores que el extracto de cáscara y semilla para *L. plantarum 299v* (42.363 y 46.390 versus 49.870 y 49.023 por ciento, respectivamente). Contrariamente, el Y_M del extracto de pulpa para el *L. plantarum 299v* no es significativamente diferente al Y_M de los extractos de cáscara y semilla para *L. rhamnosus GG* (46.390 versus 49.870 y 49.023, respectivamente). Para los extractos procedentes de Huánuco, se obtuvo que el Y_M del extracto de pulpa para *L. plantarum 299v* es mayor que el extracto de semilla para *L. plantarum 299v* e igual que el extracto de semilla para *L. rhamnosus GG*. Por el contrario, el Y_M del extracto de pulpa para *L. plantarum 299v* es similar al Y_M del extracto de pulpa para *L. rhamnosus GG* y éste

a su vez igual que los extractos de cáscara para *L. rhamnosus GG* y de semilla para *L. plantarum 299v*.

Con respecto a la k, se obtuvo que es mayor del extracto de semilla procedente de Cajamarca para *L. rhamnosus GG* en comparación con la k del extracto para *L. plantarum 299v* y éste a su vez es mayor que la k del extracto de cáscara y pulpa para ambas cepas. Para el extracto procedente de Huánuco, la k del extracto de la semilla para *L. rhamnosus GG* es mayor que la k del extracto de cáscara y pulpa para *L. plantarum 299v*. Se ha evaluado el efecto de los compuestos fenólicos en el crecimiento de bacterias probióticas encontrando que el *Lactobacillus rhamnosus YW* muestra un crecimiento significativamente mayor en los medios de cultivo con extractos de compuestos fenólicos (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2017). Otros estudios informan actividad prebiótica para *L. rhamnosus GG* de harina de cáscara de piña y harina de pera y lo atribuyen al contenido de carbohidratos y pectinas (Díaz-Vela *et al.*, 2013). En general, esto guarda relación con las mayores k encontradas para *L. rhamnosus GG* en los distintos extractos de las partes del sachatomate procedentes de Huánuco y Cajamarca en comparación con *L. plantarum 299v*, es decir, los extractos presentan una mayor actividad prebiótica para *L. rhamnosus GG*.

Tabla 9: Parámetros de crecimiento contra *L. rhamnosus* GG y *L. plantarum* 299v por el extracto de las partes del sachatamate procedentes de Cajamarca y Huánuco

Parte del fruto	Bacteria	Procedencia							
		Cajamarca				Huánuco			
		YM	Y0	k	R ²	YM	Y0	k	R ²
Semilla	<i>L. rhamnosus</i> GG	49.023±1.00 ^{ab,A}	4.539±1.60 ^{a,C}	1.517±0.30 ^{b,D}	0.926	39.693±2.07 ^{a,B}	5.519±2.46 ^{a,C}	0.807±0.47 ^{a,E}	0.927
	<i>L. plantarum</i> 299v	51.950±0.75 ^{a,A}	10.363±1.82 ^{a,C}	0.554±0.03 ^{c,D}	0.874	32.597±1.76 ^{b,B}	4.630±1.50 ^{a,C}	0.460±0.18 ^{ab,D}	0.933
Cáscara	<i>L. rhamnosus</i> GG	49.870±0.77 ^{ab,A}	9.393±0.63 ^{a,C}	0.443±0.03 ^{ac,E}	0.746	30.803±0.26 ^{b,B}	2.076±0.48 ^{a,D}	0.398±0.04 ^{ab,E}	0.885
	<i>L. plantarum</i> 299v	51.690±2.02 ^a	5.860±5.93 ^{a,C}	0.178±0.12 ^{ac,D}	0.922	n.d	8.739±1.15 ^{a,C}	0.053±0.01 ^{b,D}	0.835
Pulpa	<i>L. rhamnosus</i> GG	42.363±1.33 ^{bc,A}	5.644±0.31 ^{a,C}	0.445±0.09 ^{ac,D}	0.481	35.553±1.60 ^{ab,B}	3.339±3.39 ^{a,C}	0.304±0.19 ^{ab,D}	0.762
	<i>L. plantarum</i> 299v	46.390±1.08 ^{b,A}	10.706±2.65 ^{a,C}	0.165±0.04 ^{ac,D}	0.439	41.760±3.05 ^{a,B}	4.955±1.33 ^{a,C}	0.071±0.02 ^{b,D}	0.831

Los resultados se expresan como el promedio ± desviación estándar (n = 3). YM= Porcentaje de crecimiento máximo, Y0= Porcentaje de crecimiento inicial, k= Constante de velocidad, n.d= no determinado.

La misma letra minúscula en una columna y misma letra mayúscula en una fila indica que no hay diferencias significativas (p > 0.05).

V. CONCLUSIONES

1. La caracterización fisicoquímica del sachatomate evidenció gran similitud entre los dos lugares de procedencia, departamentos de Huánuco y Cajamarca del Perú, presentando sólo diferencias en los grados Brix y pH. La caracterización proximal del sachatomate es distinta entre los dos lugares de procedencia, a excepción del porcentaje de grasa.
2. En líneas generales, la caracterización funcional de las partes del sachatomate (cáscara, semilla y pulpa) demostró el potencial más alto en la cáscara.
3. Se determinó para un mismo lugar de procedencia que la cáscara de sachatomate muestra un mayor contenido de carotenoides que las semillas y pulpa, un mayor contenido de compuestos fenólicos extractables y total (QUENCHER), capacidad antioxidante extractable y total (QUENCHER) que las semillas y éste a su vez que la pulpa, y flavonoides que las semillas y pulpa.
4. Se determinó que la cáscara de sachatomate procedente de Huánuco muestra un mayor contenido de carotenoides que la cáscara procedente de Cajamarca. No obstante, ésta muestra un mayor contenido de compuestos fenólicos extractables y total (QUENCHER), flavonoides, capacidad antioxidante extractable y total (QUENCHER).
5. Se determinó que la cáscara, semillas y pulpa de ambos lugares de procedencia presentaron actividad antimicrobiana frente a las bacterias patógenas *E. coli* ATCC® 25922TM y *S. aureus* ATCC® 25923TM, siendo la cáscara procedente de Cajamarca la que evidencia una menor Concentración Inhibitoria (IC₅₀) en comparación de las semillas y pulpa.
6. Se determinó que la cáscara, semillas y pulpa de ambos lugares de procedencia presentaron actividad prebiótica frente a las bacterias probióticas *L. rhamnosus* GG y *L. plantarum* 299v, siendo las muestras que proceden de Cajamarca las que mostraron mayores porcentajes de crecimiento máximo (YM).

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos del sachatomate.
- Evaluar el perfil de los compuestos bioactivos por cromatografía líquida.
- Analizar la influencia de los extractos enriquecidos con compuestos fenólicos en el crecimiento de las bacterias probióticas en un sistema modelo con otra metodología.
- Purificar los extractos para determinar los compuestos responsables de la actividad prebiótica.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim, F; Arribas, S. M; Gonzalez, M. C; Condezo-Hoyos, L. (2013). Rapid high-throughput assay to assess scavenging capacity index using DPPH. *Food Chemistry*, 141(2): 788–794. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.04.055
- Abderrahim, F; Estrella, S; Susín, C; Arribas, S. M; González, M. C; Condezo-Hoyos, L. (2011). The Antioxidant Activity and Thermal Stability of Lemon Verbena (*Aloysia triphylla*) Infusion. *Journal of Medicinal Food*, 14(5): 517–527. doi: 10.1089/jmf.2010.0102
- Abderrahim, F; Huanatico, E; Segura, R; Arribas, S; Gonzalez, M. C; Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83–90. doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.02
- Abdul M; Rahmat A; Ali F; Othman F; Ramasamy R. (2017). Nutritional compositions and antiproliferative activities of different solvent fractions from ethanol extract of *Cyphomandra betacea* (tamarillo) fruit. *Malays J Med Sci*, 24(5):19–32. <https://doi.org/10.21315/mjms2017.24.5.3>
- Acevedo, M. E. & Cedeño, E. J. (2009). Cuantificación de macronutrientes, Ca, Fe, P y Vitamina C, e identificación de vitaminas liposolubles presentes en la parte comestible del fruto maduro de *Cyphomandra betacea* (berenjena o tomate de árbol), procedente del distrito de Huaranchal, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. (Tesis, Universidad Nacional de Trujillo). Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4843/Acevedo%20Rios%20Manuel%20Eutimio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Açar, Ö. Ç; Gökmen, V; Pellegrini, N; Fogliano, V. (2009). Direct evaluation of the total antioxidant capacity of raw and roasted pulses, nuts and seeds. *European Food Research and Technology*, 229(6), 961–969. doi:10.1007/s00217-009-1131-z
- Acosta-Quezada, P. G; Raigón, M. D; Riofrío-Cuenca, T; García-Martínez, M. D; Plazas, M.; Burneo, J. I.; ... Prohens, J. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an

- Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335.
doi:10.1016/j.foodchem.2014.07.152
- Akyar, I. (2015). Food Pathogens. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 617–652. doi:10.1016/b978-0-444-63340-8.00012-1
- Alara, O. R; Abdurahman, N. H; Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. doi:10.1016/j.crfs.2021.03.011
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*, 134(3), 244–248. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.002
- Ali Hassan, S. H. & Abu Bakar, M. F. (2013). Antioxidative and Anticholinesterase Activity of *Cyphomandra betacea* Fruit. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–7. doi:10.1155/2013/278071
- Amaya, J. & Julca, J. (2006). Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Send.) Recuperado de <http://www.regionlalibertad.gob.pe/web/opciones/pdfs/Manual%20de%20Tomate%20de%20%C3%A1rbol.pdf>
- Ayala, J. F; Vega, V; Rosas, C; Palafox, H; Villa, J. A; Siddiqui, M. W., ... González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866–1874. doi:10.1016/j.foodres.2011.02.021
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2019). *Official Methods of Analysis*. Maryland, Estados Unidos.
- Atiqah, A; Maisarah, A. M; Asmah, R. (2014). Comparison of antioxidant properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*), cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiform*) and tomato (*Lyopersicon esulentum*). *International Food Research Journal*, 21, 2355-2362.
- Behera, SS; Ray, RC; Zdolec, N. (2018). Lactobacillus plantarum con propiedades funcionales: un enfoque para aumentar la seguridad y la vida útil de los alimentos fermentados. *Investigación internacional de BioMed*, 2018, 9361614. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>
- Biehler, E; Mayer, F; Hoffmann, L; Krause, E; Bohn, T. (2010). Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits

- and vegetables. *Food Chemistry*, 75(1): C55-C61. doi: 10.1111/j. 1750-3841.2009.01417.x
- Blasa, M; Gennari, L; Angelino, D; Ninfali, P. (2010). Antioxidants of fruits and vegetables in health. *Bioactive foods in health promotion*, 37–58. doi: 10.1016/b978-0-12-374628-3.00003-7
- Breithaupt, D. E. & Bamedi, A. (2001). Carotenoid Esters in Vegetables and Fruits: A Screening with Emphasis on β -Cryptoxanthin Esters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 2064–2070. doi:10.1021/jf001276t
- Calvo, I. (2009). Cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae*). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0982.pdf>
- Çelik, E. E. & Gökmen, V. (2021). Interactions between free and bound antioxidants under different conditions in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–17. doi:10.1080/10408398.2021.1892584
- Coelho, M. S; Fernandes, S. S; Salas-Mellado, M. (2019). Association between diet, health and the presence of bioactive compounds in food. *Bioactive compounds*, 159-183. doi: 10.1016 / b978-0-12-814774-0.00009-8
- Coman, M. M; Oancea, A. M; Verdenelli, M. C; Cecchini, C; Bahrim, G. E; Orpianesi, C; ... Silvi, S. (2017). Polyphenol content and in vitro evaluation of antioxidant, antimicrobial and prebiotic properties of red fruit extracts. *European Food Research and Technology*, 244 (4): 735–745. doi: 10.1007 / s00217-017-2997-9
- Condezo-Hoyos, L; Abderrahim, F; Arriba, S. M; Carmen González, M. (2015). A novel, micro, rapid and direct assay to assess total antioxidant capacity of solid foods. *Talanta*, 138, 108–116. doi:10.1016/j.talanta.2015.01.043
- Cueva, C; Moreno-Arribas, M. V; Martín-Álvarez, P. J; Bills, G; Vicente, M. F; Basilio, A, ... Bartolomé, B. (2010). Antimicrobial activity of phenolic acids against commensal, probiotic and pathogenic bacteria. *Research in Microbiology*, 161(5), 372–382. doi:10.1016/j.resmic.2010.04.006
- Chan, C.-L; Gan, R.-Y; Shah, N. P; Corke, H. (2018). Polyphenols from selected dietary spices and medicinal herbs differentially affect common food-borne pathogenic bacteria and lactic acid bacteria. *Food Control*, 92, 437–443. doi:10.1016/j.foodcont.2018.05
- Chandrasekara, A. (2018). Phenolic Acids. Reference Module in Food Science. doi: 10.1016 / b978-0-08-100596-5.22395-0
- Del Pino-García, R; García-Lomillo, J; Rivero-Pérez, M. D; González-SanJosé, M. L; Muñiz, P. (2015). Adaptation and Validation of QUick, Easy, New, CHEap, and

- Reproducible (QUENCHER) Antioxidant Capacity Assays in Model Products Obtained from Residual Wine Pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 6922–6931. doi:10.1021/acs.jafc.5b01644
- De la Rosa, L. A; Moreno-Escamilla, J. O; Rodrigo-García, J; Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. Postharvest of physiology and biochemistry of fruits and vegetables, 253–271. doi: 10.1016 / b978-0-12-813278-4.00012-9
- De Rosso, V. V. & Mercadante, A. Z. (2007). HPLC–PDA–MS/MS of Anthocyanins and Carotenoids from Dovyalis and Tamarillo Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 9135–9141. doi:10.1021/jf071316u
- De Souza, E. L; De Albuquerque, T. M; Dos Santos, A.S; Massa, N.M; & De Brito Alves, J. L. (2019). Potential interactions among phenolic compounds and probiotics for mutual boosting of their health-promoting properties and food functionalities – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15, DOI: 10.1080/10408398.2018.1425285
- Díaz-Vela, J; Totosaus, A; Cruz-Guerrero, A. E; Pérez-Chabela, M. (2013). In vitro evaluation of the fermentation of added-value agroindustrial by-products: cactus pear (*Opuntia ficus-indica L.*) peel and pineapple (*Ananas comosus*) peel as functional ingredients. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(7), 1460–1467. doi:10.1111/ijfs.12113
- Dimitrova, M; Ivanov, G; Mihalev, K; Slavchev, A; Ivanova, I; Vlaseva, R. (2019). Investigation of the antimicrobial activity of polyphenol-enriched extracts against probiotic lactic acid bacteria. *Food Science and Applied Biotechnology*. 2. 10.30721/fsab2019.v2.i1.57.
- Dini, I; Tenore, G; Dini, A. (2010). Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *LWT- Food Science and Technology*, 43(3): 447–451. doi: 10.1016/j.lwt.2009.09.010
- Diep, T. T; Pook, C; Yoo, M. J. Y. (2020a). Physicochemical properties and proximate composition of tamarillo (*Solanum betaceum Cav.*) fruits from New Zealand. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103563. doi:10.1016/j.jfca.2020.103563
- Diep, T. T; Pook, C., Rush, E. C; Yoo, M. J. Y. (2020b). Quantification of Carotenoids, α -Tocopherol, and Ascorbic Acid in Amber, Mulligan, and Laird’s Large Cultivars of New Zealand Tamarillos (*Solanum betaceum Cav.*). *Foods*, 9(6), 769. doi:10.3390/foods9060769

- Diep, T. T; Pook, C; Yoo, M. (2020c). Phenolic and Anthocyanin Compounds and Antioxidant Activity of Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Antioxidants*, 9(2), 169. doi:10.3390/antiox9020169
- Diep, T. T; Rush, E. C; Yoo, M. J. Y. (2020d). Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.): A review of physicochemical and bioactive properties and potential applications, *Food Reviews International*, 1 - 25. doi: 10.1080/87559129.2020.1804931
- 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, 2212. <https://doi.org/10.3390/foods10092212>
- Eggersdorfer, M. & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652: 18–26. doi: 10.1016 / j.abb.2018.06.001
- 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. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.131
- Fernández, R. (2014). Caracterización dendrológica de la familia solanaceae en el valle de Chanchamayo, Junín. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Figuroa, F. (2016). Desarrollo de una bebida obtenida de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) enriquecida con aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Gökmen, V; Serpen, A; Fogliano, V. (2009). Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: the “QUENCHER” approach. *Trends in Food Science & Technology*, 20 (6-7), 278–288. doi:10.1016/j.tifs.2009.03.010
- Ghosal, M; Chhetri, P. K; Ghosh, M. K; Mandal, P. (2013). Cambios en la actividad antioxidante de *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn. Frutos durante la maduración y senescencia. *Revista internacional de propiedades alimentarias*, 16 (7): 1552-1564. doi: 10.1080 / 10942912.2011.600493
- Guevara, M. (2015). Formulación y diseño de una planta agroindustrial para la elaboración de tres productos a base de tomate de árbol. (*Solanum betaceum*) Tesis de pregrado. Universidad de las Américas, Ecuador.
- Gutiérrez, A. (2014). Evaluación del efecto del ají panca (*Capsicum chinense*) sobre *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en chorizos frescos. Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2412>
- Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Arch Toxicol* 86, 345–391. doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2
- Hensley, K; Benaksas, E. J; Bolli, R; Comp, P; Grammas, P; Hamdheydari, L. (2004). New perspectives on vitamin E: γ -tocopherol and carboxyethyl hydroxy chroman metabolites in biology and medicine. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 36(1): 1-15. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2003.10.009
- Huang, D; Ou, B; Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. doi:10.1021/jf030723c
- Hurtado, N; Morales, A; González-Miret, M; Escudero-Gilete, M; Heredia, F. (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 117(1), 88–93. doi:10.1016/j.foodchem.2009.03
- Inamura, I; Isshiki, M; Araki, T. (1989). Solubilization of β -Carotene in Water by Water-Soluble Linear Macromolecules. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 62(5), 1671–1673. doi:10.1246/bcsj.62.1671
- Jacobson, R. K; Notaro, M. J; Carr, G. J. (2019). Comparison of *Neisseria gonorrhoeae* minimum inhibitory concentrations obtained using agar dilution versus microbroth dilution methods. *Journal of Microbiological Methods*, 157: 93–99. doi: 10.1016/j.mimet.2019.01.001
- Karadag, A; Ozcelik, B; Saner, S. (2009). Revisión de métodos para determinar las capacidades antioxidantes. *comida anal. Métodos* 2, 41–60. doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7
- Kechagia, M; Basoulis, D; Konstantopoulou, S; Dimitriadi, D; Gyftopoulou, K; Skarmoutsou, N; Fakiri, E.M. (2013). Beneficios para la salud de los probióticos: Una revisión. *ISRN nutrición*, 2013, 481651. <https://doi.org/10.5402/2013/481651>
- Khairi, A. N; Falah, M. A. F; Suyantohadi, A; Takahashi, N; Nishina, H. (2015). Effect of Storage Temperatures on Color of Tomato Fruit (*Solanum Lycopersicum* Mill.) Cultivated under Moderate Water Stress Treatment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3: 178–183. doi:10.1016/j.aaspro.2015.01.035
- Khatri, S; Paramanya, A; Ali, A. (2019). Phenolic Acids and Their Health-Promoting Activity. *Plant and Human Health*, 2: 661–680. doi:10.1007/978-3-030-03344-6_27

- Kou, M. C; Yen, J. H; Hong, J. T; Wang, C. L; Lin, C. W; Wu M. J. (2009). *Cyphomandra betacea* Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT - Food Science and Technology*, 42(2):458-463. doi: 10.1016 / j.lwt.2008.09.010
- Lara, C. (2016). Caracterización y microencapsulación de compuestos bioactivos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) variedad gigante anaranjado. Tesis de pregrado. Universidad de las Américas, Ecuador.
- León, P. (2019). Diseño de una bebida de lactosuero y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) estabilizada con linaza (*Linum usitatissimum*). Tesis de pregrado. Universidad técnica de machala, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14262/1/T-2895_LEON%20ORDO%C3%91EZ%20PAOLO%20ALEJANDRO.pdf
- Lister C; Morrison S; Kerkhofs N; Wright K. (2005). The nutritional composition and health benefits of New Zealand tamarillos. Crop & Food Research Confidential Report No. 1281. Edited by New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. Christchurch, New Zealand.; p 29.
- Lizcano, A. & Vergara, J. (2008). Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y/o aceites esenciales de las especiales vegetales Valeriana pilosa, Hesperomeles ferruginea, Myrcianthes rhopaloides y Passiflora manicata frente a microorganismos patógenos y fitopatógenos. Tesis Doctoral. Carrera Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Pag: 57-58.
- Márquez, C; Otero, C; Rojano, B; Osorio, J. (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Temas Agrarios*, 19(2): 173 – 184.
- Menard, S. (2000). Coefficients of Determination for Multiple Logistic Regression Analysis. *The American Statistician*, 54(1), 17–24. doi:10.1080/00031305.2000.10474502
- Mertz C; Gancel A.-L; Gunata Z; Alter P; Dhuique-Mayer C; Vaillant F; Perez A.M; Ruales J; Brat P. (2009). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 381–387. doi:10.1016/j.jfca.2008.06.008
- Mertz, C; Brat, P; Caris-Veyrat, C; Gunata, Z. (2010). Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 119(2), 653–659. doi:10.1016/j.foodchem.2009.07

- Meza, N. & Manzano, J. E. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista científica UDO Agrícola*, 9 (2): 289–294. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3308209.pdf>.
- Moharram, H.A. & Youssef, M.M. (2014). Methods for Determining the Antioxidant Activity: A Review. *Alex. J. Food Sci. Technol*, 11(1): 31–42.
- Munteanu, I. G. & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. doi:10.3390/ijms22073380
- Mutalib, M.A; Ali, F; Othman, F; Ramasamy, R; Rahmat, A. (2016). Phenolics profile and anti-proliferative activity of *Cyphomandra Betacea* fruit in breast and liver cancer cells. *SpringerPlus* 5, 2105. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3777-x>
- Muñoz, A; Ramos, F; Ortiz, C; Castañeda, B; Lisarazo, F. (2009). Evaluación de compuestos con actividad biológica en cáscara de camu camu (*Myrciaria dubia*), guinda (*Prunus serotina*), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) y carambola (*Averrhoa carambola* L.) cultivadas en Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75 (4): 431-438. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2009000400005
- Navarro, A. (2017). Evaluación físico-química del fruto de *Solanum betaceum* procedente de Celendín y de Huayrapongo, región Cajamarca. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2688/F60-N3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- NTP 203.121. (2007). Frutas andinas tipo berries (Bayas). Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) fresco. Especificaciones. 1ª Edición. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Indecopi. Lima, Perú
- Ordóñez, R. M; Ordóñez, A; Sayago, J. E; Moreno, M; Isla, M. (2006). Actividad antimicrobiana de la proteína inhibidora de la glucosidasa aislada de *Cyphomandra betacea* Sendt. *Fruta. Péptidos*, 27 , 1187-1191.
- Orqueda, M. E; Rivas, M; Zampini, I. C; Alberto, M. R; Torres, S; Cuello, S; Sagayo, J; Thomas, S; Aspee, F; Schmeda, G; Isla, M. I. (2017). Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilto (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit. Phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic

- syndrome and oxidative stress. *Food Chemistry*, 216, 70–79. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08
- Oroian, M. & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10–36. doi:10.1016/j.foodres.2015.04.018
- Osorio, C; Hurtado, N; Dawid, C; Hofmann, T; Heredia, F. J; Morales, A. L. (2012). Chemical characterization of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chemistry*, 132(4):1915–1921. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.12.026
- Pacheco-Ordaz, R; Wall-Medrano, A; Goñi, M. G; Ramos-Clamont-Montfort, G; Ayala-Zavala, J. F; González-Aguilar, G. A. (2017). Effect of phenolic compounds on the growth of selected probiotic and pathogenic bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 66(1), 25–31. doi:10.1111/lam.12814
- Pantoja, L; Pinto, N. A; V. D.; Lopes, C.; Gandra, R; Santos, A. S. (2009). Caracterização física e físico-química de frutos de duas variedades de tamarilho oriundas do Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(3), 916–919. doi:10.1590/s0100-29452009000300041
- Pastor, S; Fuentealba, B; Ruiz, M. (2008). Cultivos subutilizados en el Perú. Recuperado de https://spda.org.pe/wpfb-file/20080625172523_-pdf/
- Peñañiel, N; Venancio, S; Torres, M. (2009). Evaluación de la variabilidad genética del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en los cultivos de tres provincias del Ecuador por medio de marcadores microsatélites. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1): 69-74. doi: 10.18272/aci.v1i1.13
- Pérez, G. & Martínez, G. (2001). Los flavonoides como antioxidantes naturales. *Acta Farm. Bonaerense* 20(4):297-306. Edición online: http://www.latamjpharm.org/trabajos/20/4/LAJOP_20_4_3_1_P9HXUFPEV7.pdf
- Pérez-Jiménez, J. & Saura-Calixto, F. (2005). Literature Data May Underestimate the Actual Antioxidant Capacity of Cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), 5036–5040. doi:10.1021/jf050049u
- Portela, S. (1999). Fisiología y manejo de postcosecha del tamarillo (*Cyphomandra betacea*). *Avances en Horticultura* 4(1). Edición on-line. <http://www.huertasurbanas.com/wp-content/uploads/2013/06/Fisiolog%C3%ADa-y-manejo-de-postcosecha-del-tamarillo.pdf>.

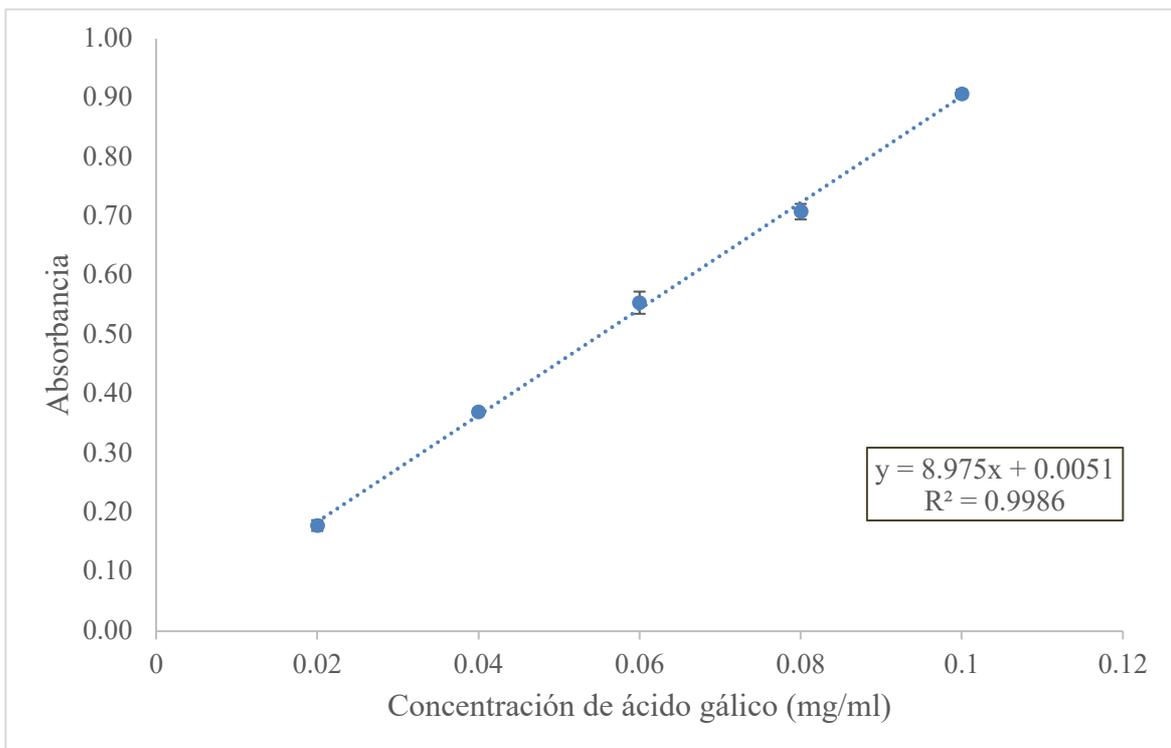
- Pyrzyska, K. & Pękal, A. (2013). Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. *Analytical Methods*, 5(17), 4288. doi:10.1039/c3ay40367j
- Quintero, V; Giraldo, G; Lucas, J; Vasco, J. (2013). Caracterización físico-química del mango común (*Mangifera indica* L.) Durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 10-18. Retrieved June 13, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000100002&lng=en&tlng=es.
- Ramírez, F. & Kallarackal, J. (2019). Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) Fisiología reproductiva: una revisión. *Scientia Horticulturae*, 248: 206–215. doi: 10.1016 / j.scienta.2019.01.019
- Rapeanu, G; Bahrim, G; Stanciuc, N. (2014). Microorganism Stimulation of metabolic activity by polyphenols. *Polyphenols in health and human diseases*, 513–521. doi: 10.1016 / b978-0-12-398456-2.00038-4
- Re, R; Pellegrini, N; Proteggente, A; Pannala, A; Yang, M; Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10): 1231–1237. doi:10.1016/s0891-5849(98)00315-3
- Repo, R. & Encina, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2): 108-124. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es.
- Reyes, M; Gómez-Sánchez, I; Espinoza, C. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos. Recuperado de <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2001) *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods*. ILSI Human Nutrition Institute. One Thomas Circle, NW, Washington DC, 20005-5802, 64.
- Ríos, E; Giraldo, G; Duque, A. (2007). Predicción de la actividad de agua en frutas tropicales. *Revista de Investigaciones*, 17, 27-32.
- Saini, R. K; Nile, S. H; Park, S. W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, 76: 735–750. doi: 10.1016/j.foodres.2015.07.047

- Serpen, A; Gökmen, V; Pellegrini, N; Fogliano, V. (2008). Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 816–820. doi:10.1016/j.jcs.2008.06.002
- Serpen, A; Gökmen, V; Fogliano, V. (2012). Solvent effects on total antioxidant capacity of foods measured by direct QUENCHER procedure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26(1-2), 52–57. doi:10.1016/j.jfca.2012.02.005
- Šiler, B; Zivkovic, S; Banjanac, T; Cvetkovic, J; Zivkovic, J.N; Ciric, A; Soković, M; Mišić, D. (2014). Centauries as underestimated food additives: antioxidant and antimicrobial potential. *Food Chemistry*, 147: 367–376. doi: 10.1016 / j.foodchem.2013.10.007
- Smith, J. L. & Fratamico, P. M. (2017). *Escherichia coli* as a Pathogen*. *Foodborne Diseases*, 189–208. doi:10.1016/b978-0-12-385007-2.00007-3
- Suárez, Z. (2021). Obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos agroalimentarios: extracción, caracterización química y evaluación de su actividad frente a alzheimer. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. Recuperada de: <http://hdl.handle.net/10261/262140>
- Su, D., Zhang, R., Hou, F., Zhang, M., Guo, J., Huang, F., ... Wei, Z. (2014). Comparison of the free and bound phenolic profiles and cellular antioxidant activities of litchi pulp extracts from different solvents. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1). doi:10.1186/1472-6882-14-9
- Schotsmans WC. (2011) Tamarillo (*Solanum betaceum* (Cav.)). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. 4:427–442.
- Scott, K. J. (2001). Detection and Measurement of Carotenoids by UV/VIS Spectrophotometry. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), F2.2.1–F2.2.10. doi:10.1002/0471142913.faf0202
- Swanson, B. G. (2003). Tanines and polyphenols. *Encyclopedia of Food and Nutrition Sciences*, 5729–5733. doi: 10.1016 / b0-12-227055-x / 01178-0
- Wong-Paz, J. E; Muñoz-Márquez, D. B; Aguilar-Zárate, P; Ascacio-Valdés, J.A; Cruz. K; Reyes-Luna, C; ... Aguilar, C. N. (2017). Extraction of bioactive phenolic compounds by alternative technologies. *Extraction of ingredients by physicochemical methods in food*, 229–252. doi: 10.1016 / b978-0-12-811521-3.00005-3
- Wrolstad, R. E. & Heatherbell, D. A. (1974). Identification of anthocyanins and distribution of flavonoids in tamarillo fruit (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(10), 1221–1228. doi:10.1002/jsfa.2740251005

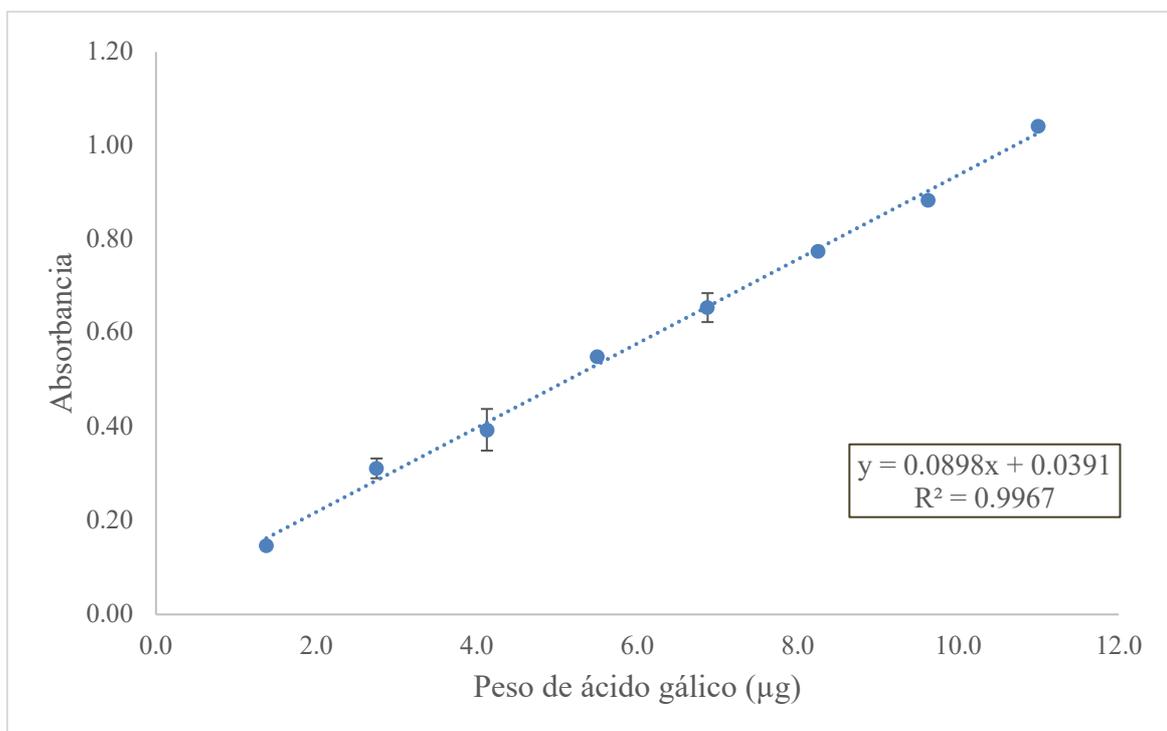
- Wu, S; Lu, M; Wang, S. (2016). Effect of oligosaccharides derived from *Laminaria japonica*-incorporated pullulan coatings on preservation of cherry tomatoes. *Food Chemistry*, 199, 296–300. doi:10.1016/j.foodchem.2015.12.029
- Vasco, C; Ruales, J; Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 816–823. doi:10.1016/j.foodchem.2008.04.054
- 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. doi:10.1080/09637480903099618
- Von Lintig, J. (2020). Carotenoids. *Present Knowledge in Nutrition*, 531–549. doi:10.1016/b978-0-323-66162-1.00032-9
- Vuolo, M. M; Lima, V. S; Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic compounds. *Bioactive compounds*, 1: 33–50. doi: 10.1016 / b978-0-12-814774-0.00002-5

VIII. ANEXOS

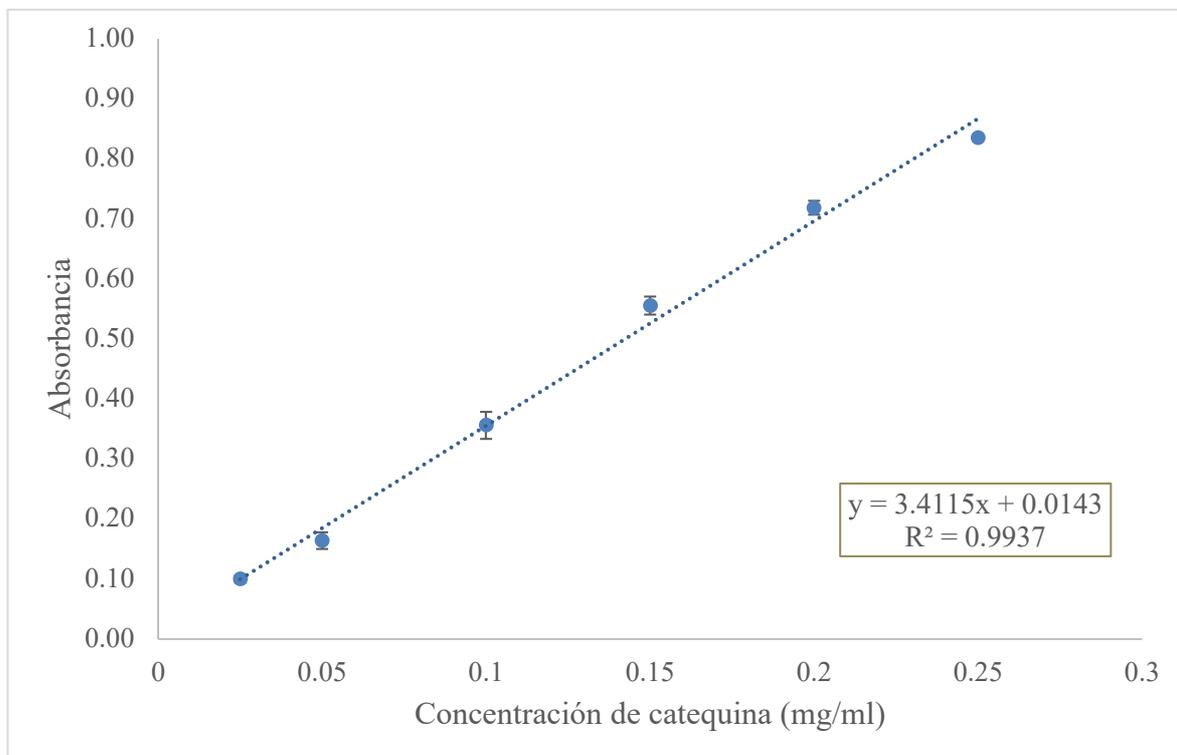
ANEXO 1: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.02-0.1 mg/ml) A 760 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES



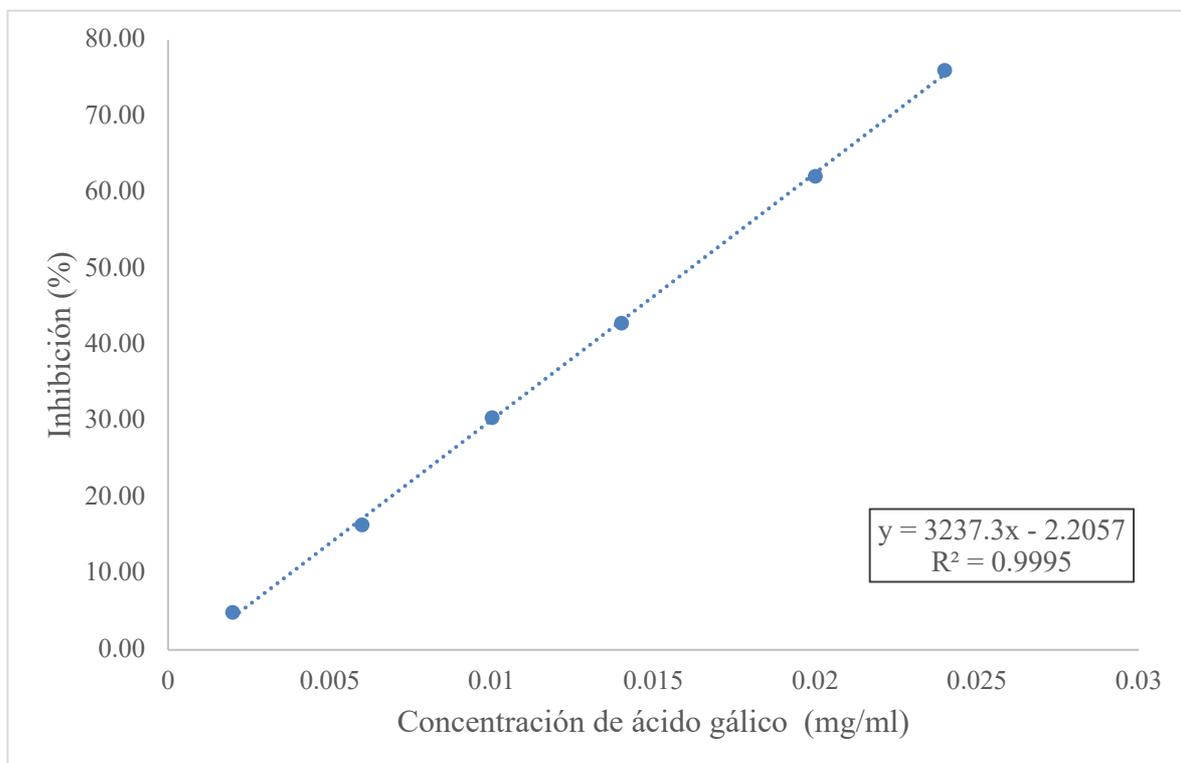
**ANEXO 2: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (1.4-11 µg) A 760 nm
PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES**



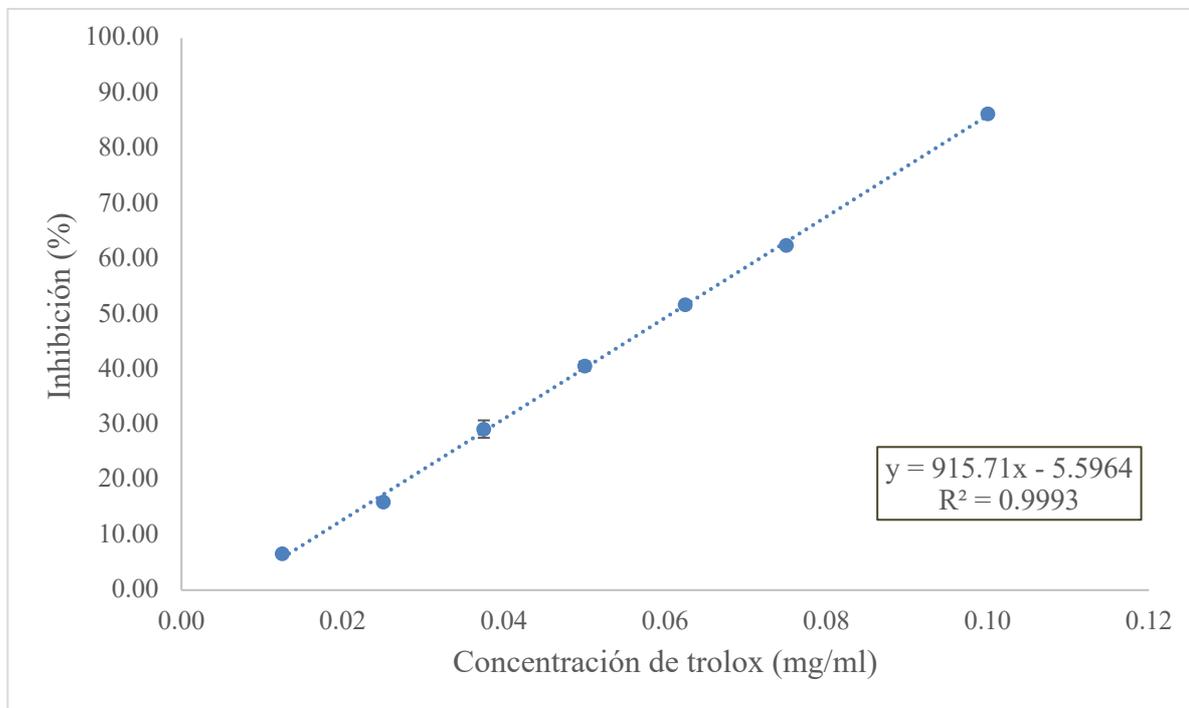
ANEXO 3: RECTA DE CALIBRACIÓN DE CATEQUINA (0.025-0.25 mg/l) A 510 nm PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FLAVONOIDES



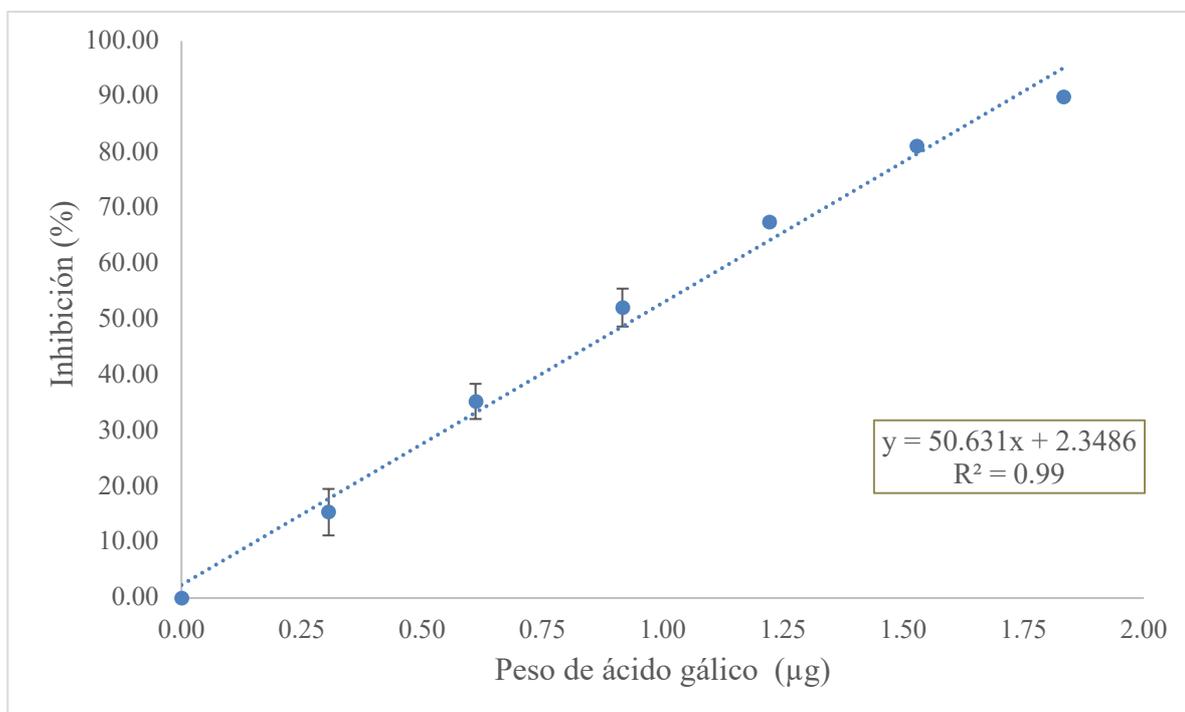
**ANEXO 4: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.002-0.024 mg/ml)
A 520 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE
EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE RADICAL LIBRE DPPH**



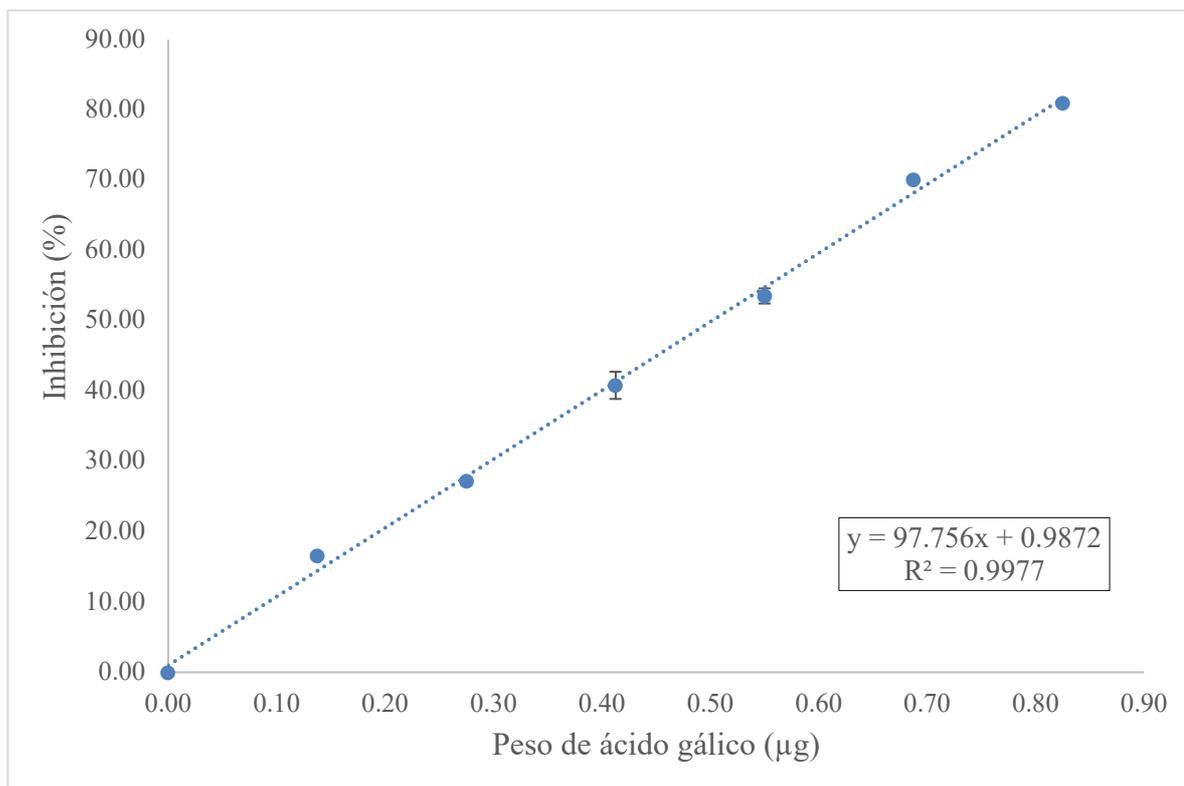
ANEXO 5: RECTA DE CALIBRACIÓN DE TROLOX (0.01-0.1 mg/ml) A 734 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE RADICAL LIBRE ABTS



ANEXO 6: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.31-1.83 µg) A 520 nm PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR EL MÉTODO QUENCHER-DPPH.



**ANEXO 7: RECTA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO (0.14-0.83 µg) A 734nm
PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR
EL MÉTODO QUENCHER-ABTS**

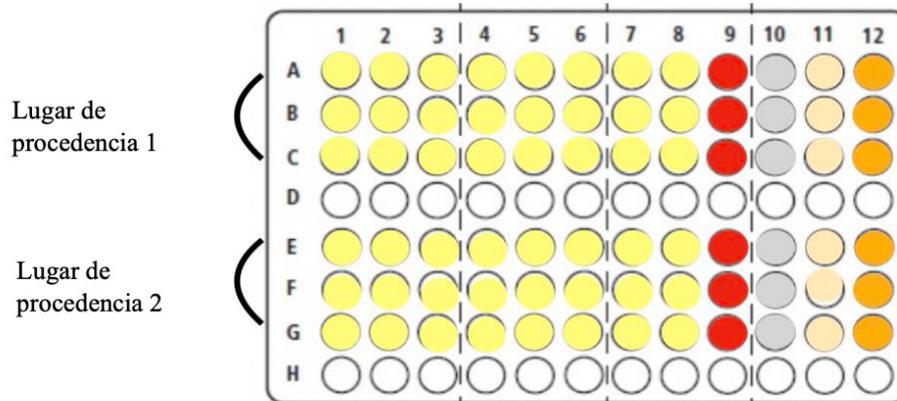


ANEXO 8: MÉTODO DE MICRODILUCIÓN

Método de Microdilución en Caldo

Protocolo

-  100 µl inóculo stock + 100 µl extracto de la parte del sachatmate resuspendido con DMSO al 0.5%.
-  Z: Control (+): 100 µl inóculo stock + 100 µl DMSO al 0.5%.
-  Y: Control (-): 100 µl caldo MH o MRS + 100 µl DMSO al 0.5%.
-  Control de esterilidad: 100 µl Caldo MH o MRS.
-  Control de esterilidad: 100 µl DMSO al 0.5%.



Cubrir con papel aluminio

Bact. patógenas: Incubar a 37°C por 24 h

Bact. probióticos: Incubar a 37°C por 48 h

Lectura a 600 nm en el lector de micropozos

ANEXO 9: ANÁLISIS DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL SACHATOMATE

Componente		Procedencia					
		Huánuco			Cajamarca		
		Semilla	Pulpa	Cáscara	Semilla	Pulpa	Cáscara
Flavonoides (mg Catequina/100 g de muestra en b. h)	EM	17.43 ± 1.07 ^{ax}	14.85 ± 0.28 ^{ax}	281.16 ± 3.25 ^{bx}	22.19 ± 0.44 ^{ax}	36.79 ± 1.09 ^{by}	521.82 ± 6.39 ^{cy}
	EA	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Carotenoides totales (mg de carotenoides promedio/100 g de muestra en b.h)		3.9 ± 0.01 ^{ax}	4.49 ± 0.12 ^{ax}	9.90 ± 0.41 ^{by}	4.09 ± 0.06 ^{ax}	4.97 ± 0.22 ^{bx}	8.92 ± 0.54 ^{cx}
Compuestos fenólicos (mg EAG/100 g de muestra en b.h)	FE	132.40 ± 1.96 ^{by}	81.52 ± 1.39 ^{ax}	384.98 ± 2.70 ^{cx}	101.23 ± 4.60 ^{bx}	76.58 ± 2.70 ^{ax}	654.87 ± 3.15 ^{cy}
	FNE	35.33 ± 1.41 ^{ax}	28.37 ± 6.93 ^{ax}	118.61 ± 2.65 ^{bx}	57.36 ± 14.36 ^{ax}	88.04 ± 3.86 ^{by}	138.92 ± 12.68 ^{cx}
	T	167.73 ± 3.33 ^{bx}	109.89 ± 6.91 ^{ax}	503.59 ± 4.15 ^{cx}	158.59 ± 9.77 ^{ax}	164.62 ± 6.28 ^{ay}	793.79 ± 9.85 ^{by}
DPPH (mg EAG/100 g de muestra en b.h)	FE	51.37 ± 0.60 ^{bx}	24.48 ± 0.90 ^{ax}	155.73 ± 3.12 ^{cx}	52.67 ± 0.96 ^{bx}	32.17 ± 1.27 ^{ay}	266.49 ± 2.39 ^{cy}
	FNE	25.24 ± 7.36 ^{acx}	3.20 ± 0.81 ^{abx}	14.14 ± 5.76 ^{ax}	14.92 ± 6.59 ^{ax}	4.50 ± 2.59 ^{ax}	65.52 ± 6.65 ^{by}
	T	76.61 ± 7.71 ^{bx}	27.67 ± 0.73 ^{ax}	169.86 ± 2.65 ^{cx}	67.58 ± 6.46 ^{bx}	36.67 ± 3.75 ^{ax}	332.0 ± 8.58 ^{cy}
Capacidad antioxidante ABTS (mg ET /100 g de muestra en b.h)	FE	158.50 ± 6.70 ^{bx}	85.47 ± 1.59 ^{ax}	534.86 ± 4.49 ^{cx}	171.88 ± 6.26 ^{bx}	107.91 ± 4.10 ^{ay}	573.52 ± 4.48 ^{cy}
	FNE	18.69 ± 5.47 ^{ax}	11.44 ± 1.29 ^{ax}	16.36 ± 6.34 ^{ax}	8.54 ± 5.70 ^{ax}	1.63 ± 1.13 ^{dax}	7.47 ± 1.28 ^{ax}
	T (*)	177.20 ± 1.73 ^{bx}	96.91 ± 2.65 ^{ax}	551.22 ± 1.85 ^{cx}	180.43 ± 1.70 ^{bx}	109.54 ± 2.98 ^{ay}	580.99 ± 5.61 ^{ay}

Los resultados se expresan como el promedio ± desviación estándar (n=3). EM: Extracto metanólico acidificado, EA: Extracto acetónico, FE: Fracción extractable, FNE: Fracción no extractable, T: Total, n.d: no determinado.

La misma letra a,b,c en una fila indica que no hay diferencia significativa entre las partes del fruto (p > 0.05). La misma letra x, y en una fila indica que no hay diferencia significativa entre el lugar de procedencia.

(*) Los valores son estimados por un factor de conversión del componente puro de ácido gálico [6.79 ± 0.07] a Trolox [2.28 ± 0.04] (Abderrahim *et al.*, 2013)

ANEXO 10: COMPARACIÓN DE LAS FRACCIONES EXTRACTABLES, NO EXTRACTABLES Y TOTAL DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL SACHATOMATE

Componente		Procedencia						
		Huánuco			Cajamarca			
		Semilla	Pulpa	Cáscara	Semilla	Pulpa	Cáscara	
Compuestos fenólicos (mg EAG/100 g de muestra en b.h)	FE	132.40 ± 1.96 ^b	81.52 ± 1.39 ^b	384.98 ± 2.70 ^b	101.23 ± 4.60 ^b	76.58 ± 2.70 ^a	654.87 ± 3.15 ^b	
	FNE	35.33 ± 1.41 ^a	28.37 ± 6.93 ^a	118.61 ± 2.65 ^a	57.36 ± 14.36 ^a	88.04 ± 3.86 ^a	138.92 ± 12.68 ^a	
	T	167.73 ± 3.33 ^c	109.89 ± 6.91 ^c	503.59 ± 4.15 ^c	158.59 ± 9.77 ^c	164.62 ± 6.28 ^b	793.79 ± 9.85 ^c	
DPPH (mg EAG/100 g de muestra en b.h)	FE	51.37 ± 0.60 ^b	24.48 ± 0.90 ^b	155.73 ± 3.12 ^b	52.67 ± 0.96 ^b	32.17 ± 1.27 ^b	266.49 ± 2.39 ^b	
	FNE	25.24 ± 7.36 ^a	3.20 ± 0.81 ^a	14.14 ± 5.76 ^a	14.92 ± 6.59 ^a	4.50 ± 2.59 ^a	65.52 ± 6.65 ^a	
	T	76.61 ± 7.71 ^c	27.67 ± 0.73 ^b	169.86 ± 2.65 ^c	67.58 ± 6.46 ^c	36.67 ± 3.75 ^b	332.0 ± 8.58 ^c	
Capacidad antioxidante	ABTS	158.50 ± 6.70 ^b	85.47 ± 1.59 ^b	534.86 ± 4.49 ^b	171.88 ± 6.26 ^b	107.91 ± 4.10 ^b	573.52 ± 4.48 ^b	
	(mg ET /100 g de muestra en b.h)	FNE	18.69 ± 5.47 ^a	11.44 ± 1.29 ^a	16.36 ± 6.34 ^a	8.54 ± 5.70 ^a	1.63 ± 1.13 ^d	7.47 ± 1.28 ^a
	T (*)	177.20 ± 1.73 ^c	96.91 ± 2.65 ^c	551.22 ± 1.85 ^c	180.43 ± 1.70 ^c	109.54 ± 2.98 ^b	580.99 ± 5.61 ^b	

Los resultados se expresan como el promedio ± desviación estándar (n=3). FE: Fracción extractable, FNE: Fracción no extractable (Diferencia entre T y FE), T: Total por el método de QUENCHER.

La misma letra en una columna indica que no hay diferencia significativa (p > 0.05).

(*) Los valores son estimados por un factor de conversión del componente puro de ácido gálico [6.79 ± 0.07] a Trolox [2.28 ± 0.04] (Abderrahim *et al.*, 2013).

ANEXO 11: ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

a. CAROTENOIDES TOTALES:

- Analisis de varianza

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interacción	1.682	0.0037	**	Yes
Parte del fruto	97.18	<0.0001	****	Yes
Procedencia	0.04510	0.4948	ns	No

- Prueba de comparación de Tukey

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
S:Huanuco vs. P:Huanuco	-0.59	-1.444 to 0.2638	No	ns	0.2576
S:Huanuco vs. C:Huanuco	-6	-6.854 to -5.146	Yes	****	<0.0001
P:Huanuco vs. C:Huanuco	-5.41	-6.264 to -4.556	Yes	****	<0.0001
P:Cajamarca vs. C:Cajamarca	-3.95	-4.804 to -3.096	Yes	****	<0.0001
S:Cajamarca vs. P:Cajamarca	-0.88	-1.734 to 0.02621	Yes	*	0.0421
S:Cajamarca vs. C:Cajamarca	-4.83	-5.684 to -3.976	Yes	****	<0.0001
S:Huanuco vs. S:Cajamarca	-0.19	-1.044 to 0.6638	No	ns	0.9714
C:Huanuco vs. C:Cajamarca	0.98	0.1262 to 1.834	Yes	*	0.0216
P:Huanuco vs. P:Cajamarca	-0.48	-1.334 to 0.3738	No	ns	0.4524

b. CONTENIDO TOTAL DE COMPUESTOS FENÓLICOS

- **Análisis de varianza**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interacción	6.613	<0.0001	****	Yes
Procedencia	5.000	<0.0001	****	Yes
Parte del fruto	88.33	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	57.84	38.19 to 77.48	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	335.9	-355.5 to 316.2	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	393.7	-413.3 to 374.0	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	6.031	-25.68 to 13.62	No	ns	0.8985
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	635.2	-654.8 to 615.6	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	629.2	-648.8 to 609.5	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	9.138	-10.51 to 28.78	No	ns	0.6351
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	54.73	-74.37 to 35.08	Yes	****	<0.0001
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	290.2	-309.8 to 270.6	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para el contenido compuestos fenólicos extractables, no extractable y total**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	19.14	<0.0001	****	Yes
Procedencia	59.64	<0.0001	****	Yes
Tipo de fracción (extract, no extract y total)	21.16	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
H-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	97.06	83.77 to 110.4	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-35.33	-48.62 to 22.04	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-132.4	-145.7 to 119.1	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	53.15	39.86 to 66.44	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-28.37	-41.66 to 15.08	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-81.52	-94.81 to 68.23	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	266.4	253.1 to 279.7	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-118.6	-131.9 to 105.3	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-385.0	-398.3 to 371.7	Yes	****	<0.0001
C-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	43.88	30.59 to 57.17	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-57.36	-70.65 to 44.07	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-101.2	-114.5 to 87.94	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	-11.46	-24.75 to 1.834	No	ns	0.1026
Fracción extractable vs. Total	-88.04	-101.3 to 74.75	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-76.58	-89.87 to 63.29	Yes	****	<0.0001
C-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	515.9	502.7 to 529.2	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Fracción extractable vs. Total	-138.9	-152.2 to -125.6	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-654.9	-668.2 to -641.6	Yes	****	<0.0001

c. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRACTABLES

- **Análisis de varianza para el contenido compuestos fenólicos extractables de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	10.08	<0.0001	****	Yes
Procedencia	3.303	<0.0001	****	Yes
Parte del fruto	86.60	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	50.87	42.84 to 58.91	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	252.6	-260.6 to 244.6	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	303.5	-311.5 to 295.4	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	24.65	16.62 to 32.68	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	553.6	-561.7 to 545.6	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	578.3	-586.3 to 570.3	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	31.16	23.13 to 39.19	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	4.94	-3.092 to 12.97	No	ns	0.3639
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	269.9	-277.9 to 261.9	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para el contenido de compuestos fenólicos extractables en las fracciones metanólicas y acetónicas**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	21.94	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	54.85	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	23.19	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
Solvente: metanólico					
H-Semilla vs. H-Pulpa	35.06	25.56 to 44.56	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-215	-224.5 to -205.5	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-250.1	-259.6 to -240.6	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	9.922	0.4230 to 19.42	Yes	*	0.0363
C-Semilla vs. C-Cáscara	-526.6	-536.1 to -517.1	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-536.6	-546.0 to -527.1	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	25.22	15.72 to 34.72	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-286.4	-295.9 to -276.9	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. C-Pulpa	0.078	-9.421 to 9.577	No	ns	>0.9999
Solvente: Acetona al 70%					
H-Semilla vs. H-Pulpa	15.81	6.311 to 25.31	Yes	***	0.0002
H-Semilla vs. H-Cáscara	-37.59	-47.09 to -28.09	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-53.4	-62.90 to -43.90	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	14.73	5.230 to 24.23	Yes	***	0.0006
C-Semilla vs. C-Cáscara	-27	-36.50 to -17.50	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-41.73	-51.23 to -32.23	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	5.943	-3.556 to 15.44	No	ns	0.429

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
H-Pulpa vs. C-Pulpa	4.862	-4.637 to 14.36	No	ns	0.6416
H-Cáscara vs. C-Cáscara	16.53	7.027 to 26.03	Yes	***	0.0001
Total extractable					
H-Semilla vs. H-Pulpa	50.87	41.37 to 60.37	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-252.6	-262.1 to -243.1	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-303.5	-313.0 to -294.0	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	24.65	15.15 to 34.15	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Cáscara	-553.6	-563.1 to -544.1	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-578.3	-587.8 to -568.8	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	31.16	21.66 to 40.66	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. C-Pulpa	4.94	-4.559 to 14.44	No	ns	0.6261
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-269.9	-279.4 to -260.4	Yes	****	<0.0001

d. CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS NO EXTRACTABLES

- **Análisis de varianza para el contenido no extractable de compuestos fenólicos de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	4.729	0.0026	**	Yes
Procedencia y Parte del fruto	16.57	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	75.90	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	6.962	-16.50 to 30.42	No	ns	0.9103

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
S:Huanuco vs. P:Huanuco	2.579	-5.644 to 10.80	No	ns	0.8903
S:Huanuco vs. C:Huanuco	-263.7	-272.0 to -255.5	Yes	****	<0.0001
P:Huanuco vs. C:Huanuco	-266.3	-274.5 to -258.1	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	-83.28	-106.7 to -59.82	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-90.24	-113.7 to -66.78	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	-30.68	-54.14 to -7.224	Yes	**	0.0088
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-81.57	-105.0 to -58.11	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-50.88	-74.34 to -27.43	Yes	***	0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	-22.02	-45.48 to 1.436	No	ns	0.0704
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-59.67	-83.13 to -36.21	Yes	****	<0.0001
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-20.31	-43.77 to 3.148	No	ns	0.1051

e. FLAVONOIDES TOTALES

- Analisis de varianza

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	7.845	<0.0001	****	Yes
Parte del fruto	86.73	<0.0001	****	Yes
Procedencia	5.404	<0.0001	****	Yes

- Prueba de comparación de Tukey

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
S:Huanuco vs. P:Huanuco	2.579	-5.644 to 10.80	No	ns	0.8903

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
S:Huanuco vs. C:Huanuco	-263.7	-272.0 to -255.5	Yes	****	<0.0001
P:Huanuco vs. C:Huanuco	-266.3	-274.5 to -258.1	Yes	****	<0.0001
P:Cajamarca vs. C:Cajamarca	-485	-493.3 to -476.8	Yes	****	<0.0001
S:Cajamarca vs. C:Cajamarca	-499.6	-507.9 to -491.4	Yes	****	<0.0001
S:Cajamarca vs. P:Cajamarca	-14.6	-22.83 to -6.381	Yes	***	0.0007
S:Huanuco vs. S:Cajamarca	-4.761	-12.98 to 3.462	No	ns	0.4231
C:Huanuco vs. C:Cajamarca	-240.7	-248.9 to -232.4	Yes	****	<0.0001
P:Huanuco vs. P:Cajamarca	-21.94	-30.17 to -13.72	Yes	****	<0.0001
S:Cajamarca vs. C:Cajamarca	-499.6	-507.9 to -491.4	Yes	****	<0.0001

f. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR EL METODO ABTS

- Analisis de varianza para la capacidad antioxidante total de dos lugares de procedencia

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	0.07322	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	0.1403	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	99.77	<0.0001	****	Yes

- Prueba de comparación de Tukey

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	80.28	71.86 to 88.71	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	-374	-382.5 to -365.6	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-454.3	-462.7 to -445.9	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	70.89	62.46 to 79.31	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-400.6	-409.0 to -392.1	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-471.4	-479.9 to -463.0	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	-3.232	-11.66 to 5.194	No	ns	0.7858
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-12.63	-21.05 to -4.202	Yes	**	0.0031
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-29.77	-38.19 to -21.34	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para capacidad antioxidante extractables, no extractable y total**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	20.90	<0.0001	****	Yes
Procedencia	42.41	<0.0001	****	Yes
Tipo de fracción (extract, no extract y total)	36.66	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
H-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	139.8	131.6 to 148.1	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-18.69	-26.94 to -10.44	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-158.5	-166.8 to -150.3	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	74.04	65.79 to 82.28	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Fracción extractable vs. Total	-11.44	-19.69 to -3.190	Yes	**	0.0048
Fracción no extractable vs. Total	-85.48	-93.72 to -77.23	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	518.5	510.3 to 526.8	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-16.36	-24.61 to -8.110	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-534.9	-543.1 to -526.6	Yes	****	<0.0001
C-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	163.3	155.1 to 171.6	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-8.544	-16.79 to -0.2961	Yes	*	0.0410
Fracción no extractable vs. Total	-171.9	-180.1 to -163.6	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	106.3	98.04 to 114.5	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-1.627	-9.875 to 6.621	No	ns	0.8802
Fracción no extractable vs. Total	-107.9	-116.2 to -99.67	Yes	****	<0.0001
C-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	566.1	557.8 to 574.3	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-7.467	-15.71 to 0.7809	No	ns	0.0825
Fracción no extractable vs. Total	-573.5	-581.8 to -565.3	Yes	****	<0.0001

g. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA FRACCIÓN EXTRACTABLE POR EL METODO ABTS

- **Análisis de varianza para la capacidad antioxidante total de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	0.06701	0.0025	**	Yes
Procedencia y Parte del fruto	0.3777	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	99.52	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	73.03	59.61 to 86.45	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	-376.4	-389.8 to -362.9	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-449.4	-462.8 to -436.0	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	63.97	50.55 to 77.39	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-401.6	-415.1 to -388.2	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-465.6	-479.0 to -452.2	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	-13.38	-26.80 to 0.03956	No	ns	0.0508
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-22.44	-35.86 to -9.019	Yes	**	0.0012
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-38.66	-52.08 to -25.24	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para la capacidad antioxidante de dos lugares de procedencia por medio de dos solventes: ácido metanólico y acetónico**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	21.35	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	49.06	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	29.56	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
Solvente: Ácido metanólico					
H-Semilla vs. H-Pulpa	58.26	47.30 to 69.23	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-363.3	-374.3 to -352.3	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-421.6	-432.5 to -410.6	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	50.17	39.20 to 61.13	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Cáscara	-392.4	-403.4 to -381.5	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-442.6	-453.6 to -431.6	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	-13	-23.96 to -2.029	Yes	*	0.0124
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-21.09	-32.06 to -10.13	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-42.14	-53.11 to -31.17	Yes	****	<0.0001
Solvente: Acetona al 70%					
H-Semilla vs. H-Pulpa	14.77	3.801 to 25.74	Yes	**	0.0033
H-Semilla vs. H-Cáscara	-13.06	-24.03 to -2.097	Yes	*	0.0118
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-27.83	-38.80 to -16.86	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	13.81	2.838 to 24.77	Yes	**	0.0068
C-Semilla vs. C-Cáscara	-9.199	-20.17 to 1.768	No	ns	0.1441
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-23	-33.97 to -12.04	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	-0.382	-11.35 to 10.59	No	ns	>0.9999
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-1.345	-12.31 to 9.622	No	ns	0.999
H-Cáscara vs. C-Cáscara	3.483	-7.484 to 14.45	No	ns	0.9288
Total extractable					
H-Semilla vs. H-Pulpa	73.03	62.06 to 84.00	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-376.4	-387.3 to -365.4	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-449.4	-460.4 to -438.4	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	63.97	53.00 to 74.94	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
C-Semilla vs. C-Cáscara	-401.6	-412.6 to -390.7	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-465.6	-476.6 to -454.6	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	-13.38	-24.35 to -2.413	Yes	**	0.0094
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-22.44	-33.41 to -11.47	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-38.66	-49.62 to -27.69	Yes	****	<0.0001

h. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA FRACCIÓN NO EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE ABTS

- **Análisis de varianza para capacidad antioxidante de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	0.1590	0.9653	ns	No
Procedencia y Parte del fruto	52.29	0.0004	***	Yes
Tipo de extracto	20.62	0.0330	*	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	7.255	-4.334 to 18.84	No	ns	0.3469
Huanuco:S vs. Huanuco:C	2.333	-9.256 to 13.92	No	ns	0.9814
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-4.922	-16.51 to 6.667	No	ns	0.712
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	6.917	-4.672 to 18.51	No	ns	0.3931
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	1.078	-10.51 to 12.67	No	ns	0.9995
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-5.839	-17.43 to 5.750	No	ns	0.5605
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	10.15	-1.441 to 21.74	No	ns	0.0996
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	9.81	-1.779 to 21.40	No	ns	0.1166
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	8.893	-2.696 to 20.48	No	ns	0.1766

i. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL POR EL MÉTODO DPPH

- **Análisis de varianza para la capacidad antioxidante total de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	13.08	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	6.474	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	80.26	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	48.94	33.24 to 64.63	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	-93.26	-108.9 to -77.56	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-142.2	-157.9 to -126.5	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	30.92	15.23 to 46.61	Yes	***	0.0003
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-264.4	-280.1 to -248.7	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-295.3	-311.0 to -279.6	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	9.027	-6.664 to 24.72	No	ns	0.4295
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-8.991	-24.68 to 6.700	No	ns	0.4335
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-162.1	-177.8 to -146.4	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para capacidad antioxidante extractables, no extractable y total**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	17.53	<0.0001	****	Yes
Procedencia	61.06	<0.0001	****	Yes
Tipo de fracción (extract, no extract y total)	21.23	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
H-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	26.13	16.75 to 35.52	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-25.24	-34.62 to 15.85	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-51.37	-60.76 to 41.99	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	21.28	11.89 to 30.66	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-3.200	-12.58 to 6.185	No	ns	0.6850
Fracción no extractable vs. Total	-24.48	-33.86 to 15.09	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	141.6	132.2 to 151.0	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-14.14	-23.52 to 4.754	Yes	**	0.0021
Fracción no extractable vs. Total	-155.7	-165.1 to 146.3	Yes	****	<0.0001
C-Semilla					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	37.75	28.36 to 47.13	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-14.92	-24.30 to 5.533	Yes	**	0.0012
Fracción no extractable vs. Total	-52.67	-62.05 to 43.28	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	27.67	18.28 to 37.05	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-4.499	-13.88 to 4.886	No	ns	0.4774
Fracción no extractable vs. Total	-32.17	-41.55 to 22.78	Yes	****	<0.0001
C-Cáscara					
Fracción extractable vs. Fracción no extractable	201.0	191.6 to 210.4	Yes	****	<0.0001
Fracción extractable vs. Total	-65.52	-74.90 to 56.13	Yes	****	<0.0001
Fracción no extractable vs. Total	-266.5	-275.9 to 257.1	Yes	****	<0.0001

j. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DPPH

- **Análisis de varianza para la capacidad antioxidante total de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	8.260	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	5.230	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	86.48	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	26.9	22.00 to 31.79	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Huanuco:C	-104.4	-109.3 to -99.46	Yes	****	<0.0001
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-131.3	-136.1 to -126.4	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	20.5	15.60 to 25.40	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-213.8	-218.7 to -208.9	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-234.3	-239.2 to -229.4	Yes	****	<0.0001
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	-1.293	-6.190 to 3.604	No	ns	0.9426
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-7.692	-12.59 to 2.795	Yes	**	0.0021
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-110.8	-115.7 to -105.9	Yes	****	<0.0001

- **Análisis de varianza para la capacidad antioxidante de dos lugares de procedencia por medio de dos solventes: metanólico y acetónico**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	22.95	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	55.04	<0.0001	****	Yes
Tipo de extracto	23.36	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
Solvente: Ácido metanólico					
H-Semilla vs. H-Pulpa	14.87	11.15 to 18.58	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-106.1	-109.8 to -102.4	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-121	-124.7 to -117.2	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	9.403	5.685 to 13.12	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Cáscara	-205.4	-209.1 to -201.7	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-214.8	-218.5 to -211.1	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	-1.839	-5.557 to 1.879	No	ns	0.6724
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-7.301	-11.02 to -3.583	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-101.2	-104.9 to -97.44	Yes	****	<0.0001
Solvente: Acetona al 70%					
H-Semilla vs. H-Pulpa	12.03	8.314 to 15.75	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	1.739	-1.979 to 5.457	No	ns	0.7212
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-10.29	-14.01 to -6.575	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Pulpa	11.1	7.377 to 14.81	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Cáscara	-8.408	-12.13 to -4.690	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-19.5	-23.22 to -15.79	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	0.546	-3.172 to 4.264	No	ns	0.9977
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-0.391	-4.109 to 3.327	No	ns	0.9995
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-9.601	-13.32 to -5.883	Yes	****	<0.0001
Total extractable					
H-Semilla vs. H-Pulpa	26.9	23.18 to 30.61	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. H-Cáscara	-104.4	-108.5 to -100.2	Yes	****	<0.0001
H-Pulpa vs. H-Cáscara	-131.3	-135.4 to -127.1	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
C-Semilla vs. C-Pulpa	20.5	16.78 to 24.22	Yes	****	<0.0001
C-Semilla vs. C-Cáscara	-213.8	-217.5 to -210.1	Yes	****	<0.0001
C-Pulpa vs. C-Cáscara	-234.3	-238.0 to -230.6	Yes	****	<0.0001
H-Semilla vs. C-Semilla	-1.293	-5.011 to 2.425	No	ns	0.8981
H-Pulpa vs. C-Pulpa	-7.692	-11.41 to -3.974	Yes	****	<0.0001
H-Cáscara vs. C-Cáscara	-110.8	-114.9 to -106.6	Yes	****	<0.0001

k. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE NO EXTRACTABLE POR EL MÉTODO DE DPPH

- **Análisis de varianza para capacidad antioxidante de dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	38.47	<0.0001	****	Yes
Procedencia y Parte del fruto	10.70	0.0002	***	Yes
Tipo de extracto	46.48	<0.0001	****	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Huanuco:P	22.04	6.915 to 37.16	Yes	**	0.0038
Huanuco:S vs. Huanuco:C	11.1	-4.025 to 26.22	No	ns	0.2091
Huanuco:P vs. Huanuco:C	-10.94	-26.06 to 4.185	No	ns	0.2203
Cajamarca:S vs. Cajamarca:P	10.42	-4.705 to 25.54	No	ns	0.2602
Cajamarca:S vs. Cajamarca:C	-50.6	-65.72 to -35.47	Yes	****	<0.0001
Cajamarca:P vs. Cajamarca:C	-61.02	-76.14 to -45.89	Yes	****	<0.0001

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
Huanuco:S vs. Cajamarca:S	10.32	-4.804 to 25.45	No	ns	0.2684
Huanuco:P vs. Cajamarca:P	-1.299	-16.42 to 13.83	No	ns	0.9997
Huanuco:C vs. Cajamarca:C	-51.38	-66.50 to -36.25	Yes	****	<0.0001

I. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

- **Análisis de varianza para Concentración Inhibitoria al 50 % (IC₅₀)** procedente de Huánuco

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	23.31	0.0920	ns	No
Parte del fruto	27.56	0.0649	ns	No
Bact. Patogena	1.415	0.5619	ns	No

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Semilla: <i>S. aureus</i>	0.2200	-5.047 to 5.487	No	ns	>0.9999
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Pulpa: <i>E. coli</i>	-2.260	-7.527 to 3.007	No	ns	0.7039
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Pulpa: <i>S. aureus</i>	1.110	-4.157 to 6.377	No	ns	0.9773
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Cáscara: <i>E. coli</i>	3.210	-2.057 to 8.477	No	ns	0.3727
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Cáscara: <i>S. aureus</i>	1.240	-4.027 to 6.507	No	ns	0.9639
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. Pulpa: <i>E. coli</i>	-2.480	-7.747 to 2.787	No	ns	0.6240
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. Pulpa: <i>S. aureus</i>	0.8900	-4.377 to 6.157	No	ns	0.9914
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. Cáscara: <i>E. coli</i>	2.990	-2.277 to 8.257	No	ns	0.4427

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold ?	Summary	Adjusted P Value
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. Cáscara: <i>S. aureus</i>	1.020	-4.247 to 6.287	No	ns	0.9843
Pulpa: <i>E. coli</i> vs. Pulpa: <i>S. aureus</i>	3.370	-1.897 to 8.637	No	ns	0.3264
Pulpa: <i>E. coli</i> vs. Cáscara: <i>E. coli</i>	5.470	0.2031 to 10.74	Yes	*	0.0402
Pulpa: <i>E. coli</i> vs. Cáscara: <i>S. aureus</i>	3.500	-1.767 to 8.767	No	ns	0.2917
Pulpa: <i>S. aureus</i> vs. Cáscara: <i>E. coli</i>	2.100	-3.167 to 7.367	No	ns	0.7595
Pulpa: <i>S. aureus</i> vs. Cáscara: <i>S. aureus</i>	0.1300	-5.137 to 5.397	No	ns	>0.9999
Cáscara: <i>E. coli</i> vs. Cáscara: <i>S. aureus</i>	-1.970	-7.237 to 3.297	No	ns	0.8019

- **Análisis de varianza para Concentración Inhibitoria al 50% (IC₅₀)** procedente de Cajamarca

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	3.916	0.0231	*	Yes
Parte del fruto	89.32	<0.0001	****	Yes
Bact. Patogena	2.283	0.0294	*	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Semilla: <i>S. aureus</i>	0.08000	-5.787 to 5.947	No	ns	>0.9999
Semilla: <i>E. coli</i> vs. pulpa: <i>E. coli</i>	-13.31	-19.18 to -7.443	Yes	****	<0.0001
Semilla: <i>E. coli</i> vs. pulpa: <i>S. aureus</i>	-6.200	-12.07 to -0.3333	Yes	*	0.0363
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Cascara: <i>E. coli</i>	9.200	3.333 to 15.07	Yes	**	0.0021
Semilla: <i>E. coli</i> vs. Cascara: <i>S. aureus</i>	9.490	3.623 to 15.36	Yes	**	0.0016

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. pulpa: <i>E. coli</i>	-13.39	-19.26 to -7.523	Yes	****	<0.0001
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. pulpa: <i>S. aureus</i>	-6.280	-12.15 to 0.4133	Yes	*	0.0336
Cascara: <i>E. coli</i>	9.120	3.253 to 14.99	Yes	**	0.0023
Semilla: <i>S. aureus</i> vs. Cascara: <i>S. aureus</i>	9.410	3.543 to 15.28	Yes	**	0.0017
pulpa: <i>E. coli</i> vs. pulpa: <i>S. aureus</i>	7.110	1.243 to 12.98	Yes	*	0.0150
pulpa: <i>E. coli</i> vs. Cascara: <i>E. coli</i>	22.51	16.64 to 28.38	Yes	****	<0.0001
pulpa: <i>E. coli</i> vs. Cascara: <i>S. aureus</i>	22.80	16.93 to 28.67	Yes	****	<0.0001
pulpa: <i>S. aureus</i> vs. Cascara <i>E. coli</i>	15.40	9.533 to 21.27	Yes	****	<0.0001
pulpa: <i>S. aureus</i> vs. Cascara: <i>S. aureus</i>	15.69	9.823 to 21.56	Yes	****	<0.0001
Cascara: <i>E. coli</i> vs. Cascara: <i>S. aureus</i>	0.2900	-5.577 to 6.157	No	ns	>0.9999

- **Análisis de varianza para Concentración Inhibitoria al 50% (IC₅₀) de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	5.419	0.0114	*	Yes
Parte del fruto y Procedencia	86.27	<0.0001	****	Yes
Bact. Patogena	1.435	0.0347	*	Yes

- **Prueba de comparación de Tukey**

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Semilla (C): <i>E. coli</i>	4.430	-1.554 to 10.41	No	ns	0.2982
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	4.510	-1.474 to 10.49	No	ns	0.2760

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-8.880	-14.86 to -2.896	Yes	***	0.0008
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	-1.770	-7.754 to 4.214	No	ns	0.9935
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Cáscara (C): <i>E. Coli</i>	13.63	7.646 to 19.61	Yes	****	<0.0001
Semilla (H): <i>E. coli</i> vs. Cáscara (C): <i>S. aureus</i>	13.92	7.936 to 19.90	Yes	****	<0.0001
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>E. Coli</i>	4.210	-1.774 to 10.19	No	ns	0.3651
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	4.290	-1.694 to 10.27	No	ns	0.3398
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-9.100	-15.08 to -3.116	Yes	***	0.0006
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	-1.990	-7.974 to 3.994	No	ns	0.9839
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>E. coli</i>	13.41	7.426 to 19.39	Yes	****	<0.0001
Semilla (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>S. Aureus</i>	13.70	7.716 to 19.68	Yes	****	<0.0001
Pulpa (H): <i>E. coli</i> vs. Semilla (C): <i>E. coli</i>	6.690	0.7057 to 12.67	Yes	*	0.0194
Pulpa (H): <i>E. coli</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	6.770	0.7857 to 12.75	Yes	*	0.0174
Pulpa (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-6.620	-12.60 to -0.6357	Yes	*	0.0214
Pulpa (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	0.4900	-5.494 to 6.474	No	ns	>0.9999
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>E. coli</i>	15.89	9.906 to 21.87	Yes	****	<0.0001
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>S. aureus</i>	16.18	10.20 to 22.16	Yes	****	<0.0001
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>E. coli</i>	3.320	-2.664 to 9.304	No	ns	0.6891
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	3.400	-2.584 to 9.384	No	ns	0.6595
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-9.990	-15.97 to -4.006	Yes	***	0.0002

«Continuación»

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95.00% CI of diff.	Below threshold?	Summary	Adjusted P Value
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	-2.880	-8.864 to 3.104	No	ns	0.8352
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>E. coli</i>	12.52	6.536 to 18.50	Yes	****	<0.0001
Pulpa (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>S. aureus</i>	12.81	6.826 to 18.79	Yes	****	<0.0001
Cáscara (H): <i>E. Coli</i> vs. Semilla (C): <i>E. coli</i>	1.220	-4.764 to 7.204	No	ns	0.9998
Cáscara (H): <i>E. coli</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	1.300	-4.684 to 7.284	No	ns	0.9996
Cáscara (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-12.09	-18.07 to -6.106	Yes	****	<0.0001
Cáscara (H): <i>E. coli</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	-4.980	-10.96 to 1.004	No	ns	0.1688
Cáscara (H): <i>E. coli</i> vs. Cáscara (C): <i>E. coli</i>	10.42	4.436 to 16.40	Yes	****	<0.0001
Cáscara (H): <i>E. coli</i> vs. Cáscara (C): <i>S. aureus</i>	10.71	4.726 to 16.69	Yes	****	<0.0001
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>E. coli</i>	3.190	-2.794 to 9.174	No	ns	0.7358
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Semilla (C): <i>S. aureus</i>	3.270	-2.714 to 9.254	No	ns	0.7073
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>E. coli</i>	-10.12	-16.10 to -4.136	Yes	***	0.0001
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Pulpa (C): <i>S. aureus</i>	-3.010	-8.994 to 2.974	No	ns	0.7959
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>E. coli</i>	12.39	6.406 to 18.37	Yes	****	<0.0001
Cáscara (H): <i>S. aureus</i> vs. Cáscara (C): <i>S. aureus</i>	12.68	6.696 to 18.66	Yes	****	<0.0001

• **Análisis de varianza para el parámetro k de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	1.555	0.9827	ns	No
Parte del fruto y Procedencia	42.91	0.0123	*	Yes
Bact. Patogena	0.1904	0.7763	ns	No

- **Análisis de varianza para el parámetro Y0 de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	8.265	0.6022	ns	No
Parte del fruto y Procedencia	37.03	0.0206	*	Yes
Bact. Patogena	0.9687	0.5169	ns	No

- **Análisis de varianza para el parámetro YM de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	4.219	<0.0001	****	Yes
Parte del fruto y Procedencia	94.11	<0.0001	****	Yes
Bact. Patogena	0.8547	<0.0001	****	Yes

m. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREBIÓTICA

- **Análisis de varianza para el parámetro k de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	9.512	0.0181	*	Yes
Parte del fruto	52.99	<0.0001	****	Yes
Bact. Probiótica	24.11	<0.0001	****	Yes

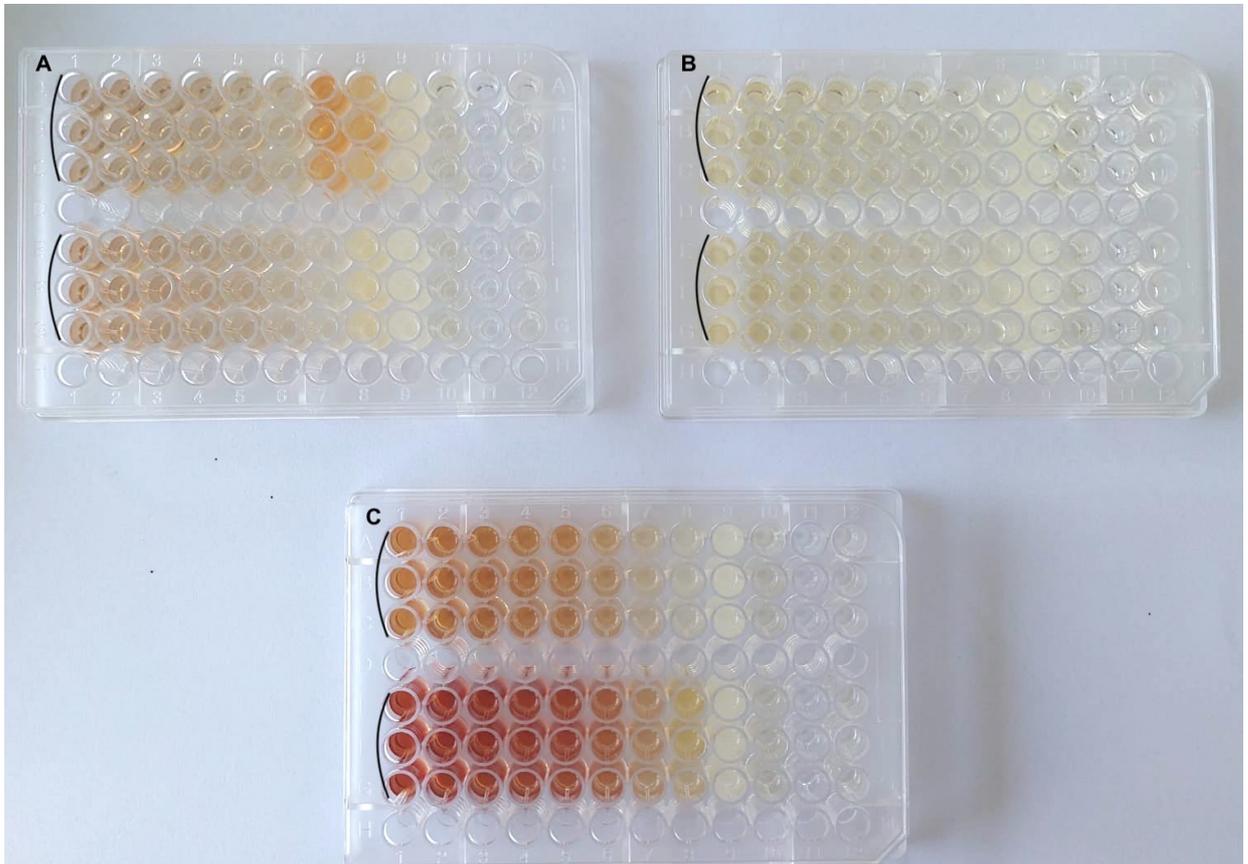
- **Análisis de varianza para el parámetro Y0 de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	31.02	0.0070	**	Yes
Parte del fruto y Procedencia	20.08	0.0439	*	Yes
Bact. Patogena	13.44	0.0060	**	Yes

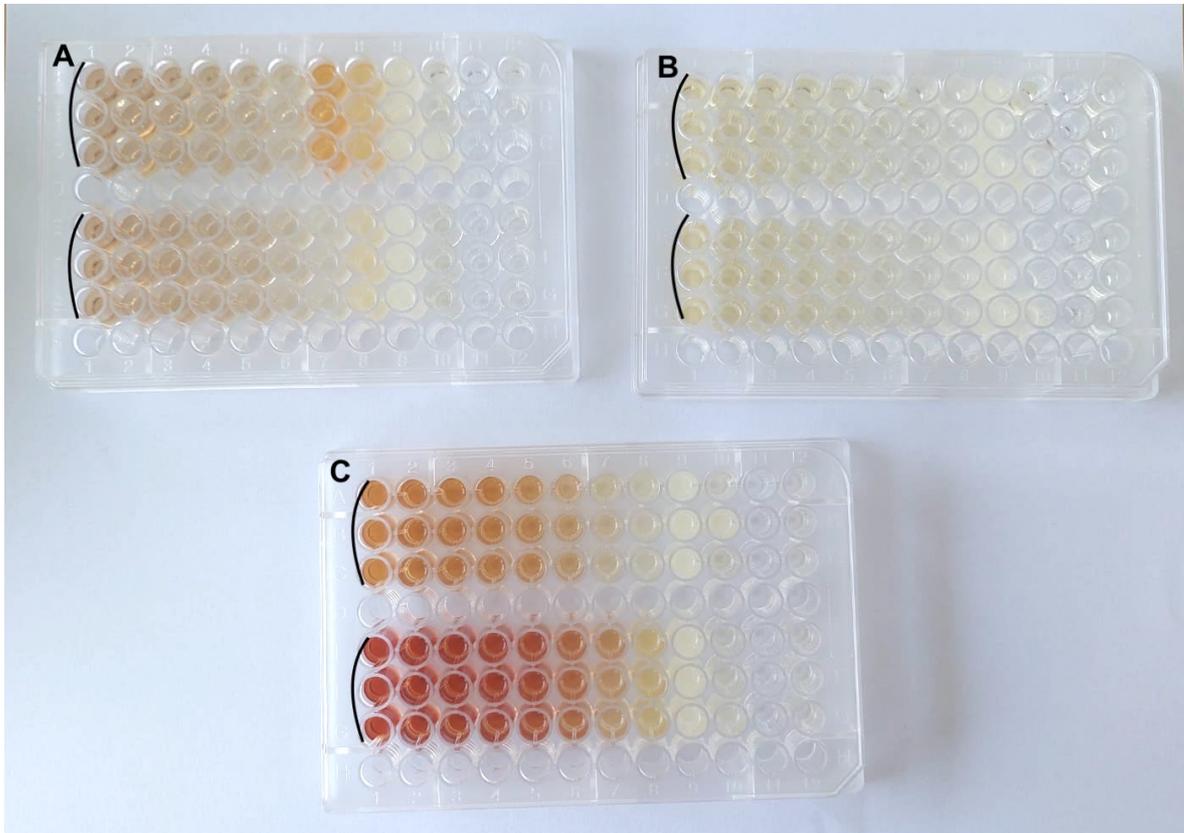
- **Análisis de varianza para el parámetro YM de los dos lugares de procedencia**

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	21.45	<0.0001	****	Yes
Parte del fruto y Procedencia	75.80	<0.0001	****	Yes
Bact. Patogena	1.919	<0.0001	****	Yes

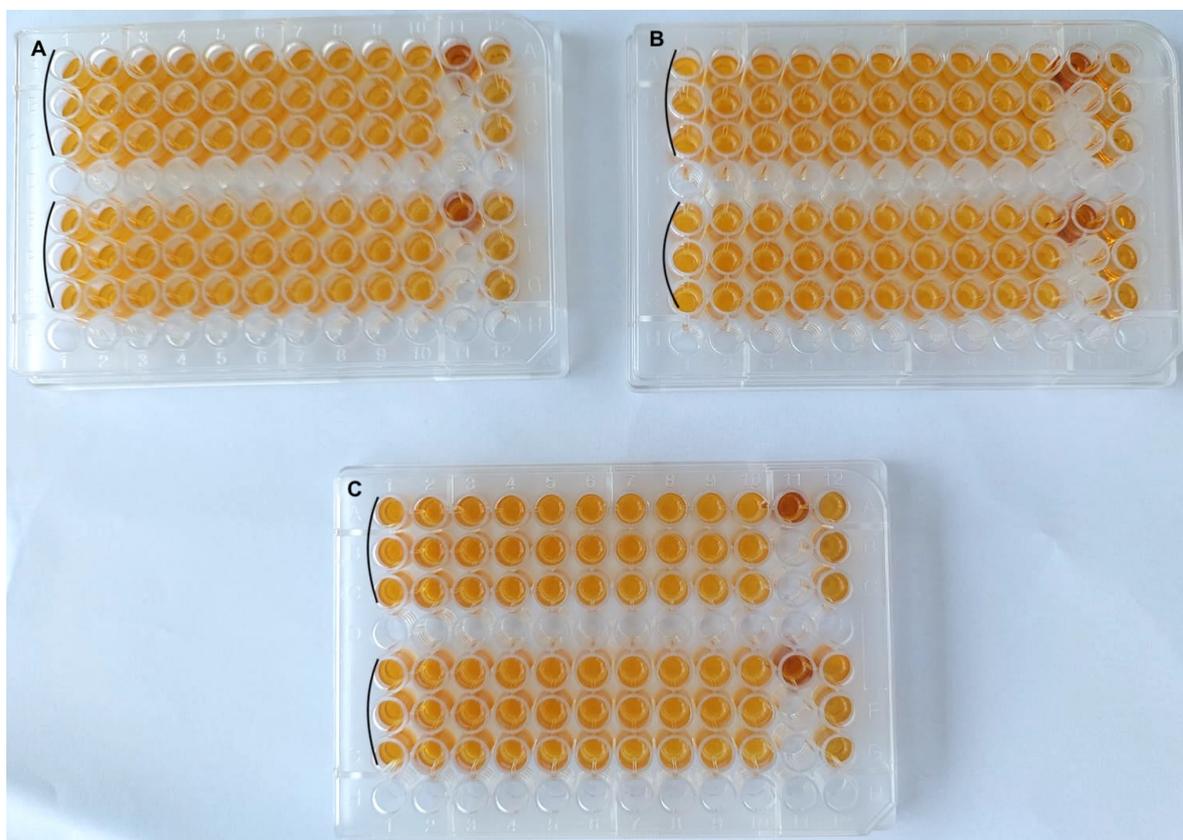
ANEXO 12: INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE *S. aureus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE



ANEXO 13: INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE *E. coli* A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE



ANEXO 14: CRECIMIENTO DE *L. plantarum* A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE



ANEXO 15: CRECIMIENTO DE *L. rhamnosus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTO DE SEMILLA (A), PULPA (B) Y CÁSCARA (C) DE SACHATOMATE

