

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, 31 de octubre de 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

La suscrita:

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO, con C.C. No. 1.075212.450 de Neiva, autora de la tesis titulada “Efecto de los tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos en productos procesados de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).”, presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para optar al título de Doctora en Agroindustria y Desarrollo agrícola sostenible;

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Firma: Jennifer Katiusca Castro Camacho

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “Efecto de los tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos en productos procesados de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CASTRO CAMACHO	JENNIFER KATIUSCA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
PASTRANA BONILLA	EDUARDO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Doctora en Agroindustria y Desarrollo agrícola sostenible.

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Doctorado en Agroindustria y Desarrollo agrícola sostenible.

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024

NÚMERO DE PÁGINAS: 262

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ☒ Fotografías ☐ Grabaciones en discos ☐ Ilustraciones en general ☒ Grabados ☐ Láminas ☐
 Litografías ☐ Mapas ☐ Música impresa ☐ Planos ☐ Retratos ☐ Sin ilustraciones ☐ Tablas o Cuadros ☒

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: **N/A**

MATERIAL ANEXO: **N/A**

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser **LAUREADAS** o **Meritoria**):



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Tomate de árbol</u>	<u>Tree tomato</u>	6. <u>Técnicas de secado</u>	<u>Drying techniques</u>
2. <u>Antocianinas totales</u>	<u>Total anthocyanins</u>	7. <u>Curvas de secado</u>	<u>Drying curves</u>
3. <u>Capacidad antioxidante</u>	<u>Antioxidant capacity</u>	8. <u>FTIR</u>	<u>FTIR</u>
4. <u>Carotenos totales</u>	<u>Total carotenes</u>		
5. <u>Polifenoles totales</u>	<u>Total polyphenols</u>		

RESUMEN DEL CONTENIDO:

En esta tesis doctoral se muestran diez capítulos de una investigación encaminada hacia la evaluación del efecto de cinco tecnologías de procesamiento térmico, sobre algunos compuestos bioactivos, presentes en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

En los capítulos 2 y 3 se hicieron revisiones acerca de las investigaciones que usan técnicas instrumentales para identificación y cuantificación de compuestos bioactivos en tomate de árbol, así como los principales procesos térmicos y los efectos de su aplicación sobre los compuestos fitoquímicos presentes en los frutos, teniendo en cuenta la información reportada en bases de datos científicas. En el capítulo 4 se presenta la adaptación de la Norma técnica colombiana de terminología y definiciones para el fruto, y una detallada caracterización morfológica y de madurez de los frutos en estado fresco para tres variedades de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), cultivadas en Colombia.

En el capítulo 5 se hizo una investigación teniendo en cuenta el análisis proximal para la cuantificación porcentual de grasas, proteínas, cenizas, humedad, carbohidratos, así como el contenido calórico y la actividad de agua de cada tratamiento evaluado. Seguidamente, en el capítulo 6, se valora el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos: Color: coordenadas CIELab, hue, cromaticidad, cambio de color; pH, sólidos solubles totales SST y %Acidez, de cada uno de los tratamientos estudiados. Continuando, en el capítulo 7 se evaluó tres factores de calidad sensorial: "Color", "Aroma" y "Sabor y Textura", así como una calificación total para cada tratamiento que conforma las cinco tecnologías evaluadas: Pulpas, Osmodeshidratación, Secado por aire caliente, Secado pulpa en lámina y Fruta confitada. Se pudo encontrar cual es el tratamiento más aceptado por los jueces evaluadores. En el capítulo 8 se describen y plasman las curvas de secado y las variables que intervienen hasta obtener productos con contenidos de humedad en base seca final que disminuyen la probabilidad de deterioro del producto obtenido en cada tratamiento.

En el capítulo 9 se realizó una comparación del comportamiento de cada uno de los sesenta tratamientos que hacen parte del diseño experimental de la Tesis, encontrando la técnica que más conserva los seis compuestos bioactivos estudiados: Polifenoles totales, Capacidad antioxidante, Antocianinas totales, Ácido ascórbico, Carotenoides totales y Vitamina E. Por último, en el capítulo 10 se desagregó, de manera descriptiva algunos



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

compuestos fitoquímicos encontrados en los tratamientos, utilizando la técnica de muestreo reflectancia total atenuada usada en espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.

Se encontró que el tratamiento que retiene la mayor cantidad de compuestos bioactivos es T233-SAC, es decir, mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad púrpura, sometido a secado por aire caliente, con una temperatura de secado de cincuenta grados Celsius. Mediante la divulgación de este documento se busca ofrecer información académica relevante, generando nuevos conocimientos y fortalecimiento a la comunidad científica en esta línea de investigación.

ABSTRACT:

This doctoral thesis presents ten chapters of research aimed at evaluating the effect of five thermal processing technologies on certain bioactive compounds found in processed products of tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt).

In chapters 2 and 3 reviews were made about the research that uses instrumental techniques for the identification and quantification of bioactive compounds in tree tomato, as well as the main thermal processes and the effects of their application on the phytochemical compounds present in the fruits, considering the information reported in scientific databases. Chapter 4 shows the adaptation of the Colombian Technical Standard of terminology and definitions for the fruit, and a detailed morphological and maturity characterization of fresh fruits for three varieties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt) grown in Colombia.

In the chapter 5, an investigation was carried out considering the proximate analysis for the percentage quantification of fats, proteins, ash, moisture, carbohydrates, as well as the caloric content and water activity of each treatment evaluated. Next, in chapter 6, the behavior of some physicochemical parameters is evaluated: Color: CIELab coordinates, hue, chromaticity, color change; pH, total soluble solids TSS and % Acidity, of each of the treatments studied. Continuing, in chapter 7, three sensory quality factors were evaluated: "Color", "Aroma" and "Taste and Texture", as well as a total score for each treatment that makes up the five technologies evaluated: Pulps, Osmodehydration, Hot air drying, Pulp drying in sheet and Candied fruit. It was possible to find which is the most accepted treatment by the evaluating judges. Chapter 8 describes and captures the drying curves and the variables involved until obtaining products with final dry basis moisture contents that reduce the probability of deterioration of the product obtained in each treatment.

In chapter 9, a comparison was made of the behavior of each of the sixty treatments that are part of the experimental design of the Thesis, finding the technique that best preserves the six bioactive compounds studied: Total polyphenols, Antioxidant capacity, Total anthocyanins, Ascorbic acid, Total carotenoids and Vitamin E. Finally, in chapter 10, some phytochemicals found in the treatments were disaggregated in a descriptive way, using the attenuated total reflectance sampling technique used in Fourier transform infrared spectroscopy.

It was found that the treatment that retains the greatest number of bioactive compounds is T233-SAC, i.e., mesocarp plus endocarp of tree tomato, purple variety, subjected to hot air drying, with a drying temperature of fifty degrees Celsius. The purpose of this document is to provide relevant academic information, generating new knowledge and strengthening the scientific community in this line of research.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: REYNALDO EMILIO POLO LEDESMA PhD.

Firma: *R.EmiPoLe*

Nombre Jurado: CLAUDIA PATRICIA PÉREZ RODRÍGUEZ PhD.

Firma: *C. P. Rodríguez*

Nombre Jurado: RODOLFO HORACIO MASCHERONI PhD.

Firma: *R. H. Mascheroni*

Efecto de los tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos en productos procesados de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Jennifer Katiusca Castro Camacho

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Doctorado en Agroindustria y desarrollo agrícola sostenible
Neiva, Huila - Colombia
2024

Efecto de los tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos en productos procesados de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Jennifer Katiusca Castro Camacho

Tesis doctoral presentada como requisito parcial para optar por el título de
Doctora en Agroindustria y Desarrollo agrícola sostenible

Director
Eduardo Pastrana Bonilla PhD.
Ingeniero Agrícola

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Doctorado en Agroindustria y desarrollo agrícola sostenible
Neiva, Huila - Colombia
2024

Comisión Evaluadora

Claudia Patricia Pérez Rodríguez, PhD.
Universidad Nacional de Colombia – Colombia

Rodolfo Horacio Mascheroni, PhD.
Universidad Nacional de La Plata – Argentina

Reynaldo Emilio Polo Ledesma, PhD.
Universidad Surcolombiana – Colombia

Nota de Aceptación

APROBADA



Eduardo Pastrana Bonilla, PhD.
Universidad Surcolombiana, Colombia
Director Tesis Doctoral

Neiva, 23 de octubre de 2024

Copyright © 2024 por Jennifer Katusca Castro Camacho. Todos los derechos reservados.

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a:

A Dios, por cada ángel que llega a mí, para protegerme y brindarme calma y entusiasmo en momentos en que he sentido que pierdo la esperanza. ¡Los sueños sí se hacen realidad!

A mi familia, por su amor, paciencia, oraciones y apoyo incondicional, que me dieron la fuerza suficiente para culminar este proceso académico. Es increíble ver cómo ha aumentado el número de integrantes en ella y cómo me han permitido disfrutar de cada uno de ustedes. Son mi razón de seguir adelante cada día en este camino. A todos, los amo con cada fibra de mi ser.

A mis profesores, que en todos los escalones de mi formación han creído en mí y me han visto crecer en todos los aspectos de mi vida: Néstor Enrique Cerquera Peña, Eduardo Pastrana Bonilla y Alfredo Olaya Amaya, gracias por todo. Espero algún día retribuir a esta sociedad todo lo inculcado a lo largo de estos años por ustedes, mis mentores. Estarán en mi corazón siempre.

A mis estudiantes, por sentirse orgullosos de su profe, por cada risa, pregunta y por aventurarse al mundo de la investigación de mi mano. Estoy orgullosa de cada uno de ustedes y de todo lo que hemos alcanzado.

Agradecimientos

Se desea expresar mi gratitud infinita a:

Néstor Enrique Cerquera Peña, Ingeniero Agrícola, MSc en Ingeniería Agrícola, Profesor Titular del Área de Agroindustria del programa de Ingeniería Agrícola. Jefe de programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Surcolombiana, por todos sus valiosos aportes académicos, acompañamiento permanente e incondicional en cada etapa de esta investigación.

Eduardo Pastrana Bonilla, Ingeniero Agrícola, PhD en Ciencia de los alimentos, Profesor Titular del Área de Agroindustria del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana, director de la Tesis doctoral, por la orientación y apoyo permanente.

Alfredo Olaya Amaya, Licenciado en Biología, PhD en Recursos Hidráulicos, Profesor Asociado del Área de Adecuación de tierras del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana por todos sus aportes académicos y colaboración.

Doctores Claudia Patricia Pérez, Reynaldo Emilio Polo y Rodolfo Horacio Mascheroni, Jurados evaluadores de la Tesis Doctoral, por sus valiosas observaciones para poder culminar este proceso académico de manera exitosa.

María Alejandra Pinzón Cruz y Stiven Falla Useche Ingenieros Agroindustriales, Universidad Surcolombiana, por su valioso apoyo en trabajo de laboratorio.

Andrés Felipe Bahamón Monje, Ingeniero Agrícola, Magíster en Ciencia y Tecnología del Café, por su valioso acompañamiento y apoyo en trabajo de laboratorio.

Laboratorios Control de Calidad y Procesos Agroindustriales, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, por la colaboración en el préstamo de equipos y espacios físicos para el desarrollo de la investigación.

Laboratorios Bromatología y Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana, por la colaboración en el préstamo de equipos y espacios físicos para el desarrollo de la investigación.

Centro Surcolombiano de Investigación de Café, CESURCAFÉ, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, por la colaboración en el préstamo de equipos y espacios físicos para el desarrollo de la investigación.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera, mediante su ayuda y colaboración hicieron posible que esta tesis se pudiera realizar.

Resumen

En esta tesis doctoral se muestran diez capítulos de una investigación encaminada hacia la evaluación del efecto de cinco tecnologías de procesamiento térmico, sobre algunos compuestos bioactivos, presentes en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

En los capítulos 2 y 3 se hicieron revisiones acerca de las investigaciones que usan técnicas instrumentales para identificación y cuantificación de compuestos bioactivos en tomate de árbol, así como los principales procesos térmicos y los efectos de su aplicación sobre los compuestos fitoquímicos presentes en los frutos, teniendo en cuenta la información reportada en bases de datos científicas. En el capítulo 4 se presenta la adaptación de la Norma técnica colombiana de terminología y definiciones para el fruto, y una detallada caracterización morfológica y de madurez de los frutos en estado fresco para tres variedades de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), cultivadas en Colombia.

En el capítulo 5 se hizo una investigación teniendo en cuenta el análisis proximal para la cuantificación porcentual de grasas, proteínas, cenizas, humedad, carbohidratos, así como el contenido calórico y la actividad de agua de cada tratamiento evaluado. Seguidamente, en el capítulo 6, se valora el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos: Color: coordenadas CIELab, hue, cromaticidad, cambio de color; pH, sólidos solubles totales SST y %Acidez, de cada uno de los tratamientos estudiados. Continuando, en el capítulo 7 se evaluó tres factores de calidad sensorial: “Color”, “Aroma” y “Sabor y Textura”, así como una calificación total para cada tratamiento que conforma las cinco tecnologías evaluadas: Pulpas, Osmodeshidratación, Secado por aire caliente, Secado pulpa en lámina y Fruta confitada. Se pudo encontrar cual es el tratamiento más aceptado por los jueces evaluadores. En el capítulo 8 se describen y plasman las curvas de secado y las variables que intervienen hasta obtener productos con contenidos de humedad en base seca final que disminuyen la probabilidad de deterioro del producto obtenido en cada tratamiento.

En el capítulo 9 se realizó una comparación del comportamiento de cada uno de los sesenta tratamientos que hacen parte del diseño experimental de la Tesis, encontrando la técnica que más conserva los seis compuestos bioactivos estudiados: Polifenoles totales, Capacidad antioxidante, Antocianinas totales, Ácido ascórbico, Carotenoides totales y Vitamina E. Por último, en el capítulo 10 se desagregó, de manera descriptiva algunos compuestos fitoquímicos encontrados en los tratamientos, utilizando la técnica de muestreo reflectancia total atenuada usada en espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.

Se encontró que el tratamiento que retiene la mayor cantidad de compuestos bioactivos es T233-SAC, es decir, mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad púrpura, sometido a secado por aire caliente, con una temperatura de secado de cincuenta grados Celsius. Mediante la divulgación de este documento se busca ofrecer información académica relevante, generando nuevos conocimientos y fortalecimiento a la comunidad científica en esta línea de investigación.

Palabras clave: Tomate de árbol, antocianinas totales, Capacidad antioxidante, Carotenos totales, Polifenoles totales, Técnicas de secado, Curvas de secado y FTIR.

Abstract

This doctoral thesis presents ten chapters of research aimed at evaluating the effect of five thermal processing technologies on certain bioactive compounds found in processed products of tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt).

In chapters 2 and 3 reviews were made about the research that uses instrumental techniques for the identification and quantification of bioactive compounds in tree tomato, as well as the main thermal processes and the effects of their application on the phytochemical compounds present in the fruits, considering the information reported in scientific databases. Chapter 4 shows the adaptation of the Colombian Technical Standard of terminology and definitions for the fruit, and a detailed morphological and maturity characterization of fresh fruits for three varieties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt) grown in Colombia.

In the chapter 5, an investigation was carried out considering the proximate analysis for the percentage quantification of fats, proteins, ash, moisture, carbohydrates, as well as the caloric content and water activity of each treatment evaluated. Next, in chapter 6, the behavior of some physicochemical parameters is evaluated: Color: CIELab coordinates, hue, chromaticity, color change; pH, total soluble solids TSS and % Acidity, of each of the treatments studied. Continuing, in chapter 7, three sensory quality factors were evaluated: "Color", "Aroma" and "Taste and Texture", as well as a total score for each treatment that makes up the five technologies evaluated: Pulps, Osmodehydration, Hot air drying, Pulp drying in sheet and Candied fruit. It was possible to find which is the most accepted treatment by the evaluating judges. Chapter 8 describes and captures the drying curves and the variables involved until obtaining products with final dry basis moisture contents that reduce the probability of deterioration of the product obtained in each treatment.

In chapter 9, a comparison was made of the behavior of each of the sixty treatments that are part of the experimental design of the Thesis, finding the technique that best preserves the six bioactive compounds studied: Total polyphenols, Antioxidant capacity, Total anthocyanins, Ascorbic acid, Total carotenoids and Vitamin E. Finally, in chapter 10, some phytochemicals found in the treatments were disaggregated in a descriptive way, using the attenuated total reflectance sampling technique used in Fourier transform infrared spectroscopy.

It was found that the treatment that retains the greatest number of bioactive compounds is T233-SAC, i.e., mesocarp plus endocarp of tree tomato, purple variety, subjected to hot air drying, with a drying temperature of fifty degrees Celsius. The purpose of this document is to provide relevant academic information, generating new knowledge and strengthening the scientific community in this line of research.

Keywords: Tree tomato, total anthocyanins, Antioxidant capacity, Total carotenes, Total polyphenols, Drying techniques, Drying curves and FTIR.

Tabla de Contenidos

	Pág.
Capítulo 1. Metodología de la investigación.	1
1. Planteamiento del problema a investigar.	1
2. Objetivos.	3
2.1 Objetivo general.	3
2.2 Objetivos específicos.	3
3. Justificación.	4
4. Estrategias metodológicas.	5
5. Diseño experimental.	7
Referencias.	15
Capítulo 2. Metodologías para identificación de compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt).	21
Resumen.	21
1. Introducción.	21
2. El cultivo y sus problemas fitosanitarios.	22
3. Usos nutricionales y funcionales.	23
4. Análisis instrumental para determinación de compuestos bioactivos.	24
5. Compuestos fitoquímicos presentes en el fruto.	25
5.1 Proteínas.	26
5.2 Fibra dietaria total.	26
5.3 Pectina.	26
5.4 Ácido ascórbico.	26
5.5 Licopeno.	28
5.6 Antocianinas.	28
5.7 Capacidad antioxidante.	30
5.8 Fenoles totales.	31
5.9 Ácido gamma aminobutírico (GABA).	33
5.10 Contenido de minerales.	33
6. Conclusiones.	33
Referencias.	33
Capítulo 3. Principales tratamientos térmicos y sus efectos sobre el contenido de compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt).	44
Resumen.	44
1. Introducción.	44
2. Tratamientos previos.	45
2.1 Escaldado o blanqueado.	45
2.2 Obtención de pulpas.	45
3. Métodos para prolongar la vida útil.	47
3.1 Pasteurización.	47
3.2 Congelación.	48
3.3 Refrigeración.	48
3.4 Irradiación.	48

Continuación tabla de contenidos.

4. Tecnología de alimentos concentrados.	49
5. Secado.	50
5.1 Primera generación.	51
5.1.1 Secado de pulpa en lámina.	51
5.1.2 Secado por aire caliente.	53
5.2 Segunda generación.	54
5.2.1 Atomización.	54
5.3 Tercera generación.	55
5.3.1 Liofilización.	55
5.3.2 Deshidratación osmótica.	55
5.4 Cuarta generación.	57
5.4.1 Secado por microondas.	57
5.4.2 Secado por radiofrecuencia.	58
5.4.3 Secado por Ventana de refractancia.	58
5.5 Combinación de generaciones: Fruta confitada.	59
6. Conclusiones.	61
Referencias.	61
Capítulo 4. Estudio comparativo de algunas propiedades morfológicas y de madurez en frutos de tres variedades de Tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt), cultivados en Colombia.	70
Resumen.	70
1. Introducción.	70
2. Metodología.	72
2.1 Obtención de la materia prima.	72
2.2 Adaptación de terminología morfológica y estructural relacionadas con el fruto.	72
2.3 Dimensiones.	72
2.4 Análisis fisicoquímicos.	72
2.5 Comparación con la NTC 4105 (ICONTEC, 1997).	73
3. Resultados.	73
3.1 Adaptación de la NTC 4486 para terminología morfológica del tomate de árbol.	73
3.2 Determinación de algunas propiedades fisicoquímicas en tomate de árbol.	78
4. Conclusiones.	86
Referencias.	87
Capítulo 5. Caracterización proximal de productos procesados de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt).	90
Resumen.	90
1. Introducción.	90
2. Metodología.	91
2.1 Análisis proximal.	91
2.2 Análisis estadístico.	92
3. Resultados.	92
3.1 Caracterización proximal para obtención de pulpas.	92
3.2 Caracterización proximal para Deshidratación osmótica.	93

Continuación tabla de contenidos.

3.3 Caracterización proximal para Secado por aire caliente.	95
3.4 Caracterización proximal para Secado de pulpa en lámina.	96
3.5 Caracterización proximal para Fruta confitada.	97
3.6 Análisis comparativo para cada parámetro.	98
3.6.1 Proteína bruta, Pb (%).	98
3.6.2 Lípidos, L (%).	100
3.6.3 Carbohidratos, C (%).	101
3.6.4 Actividad de agua, Aw.	102
3.6.5 Humedad en base seca (%).	104
3.6.6 Cenizas (%).	106
3.6.7 Calorías (kcal*(100g) ⁻¹).	107
4. Conclusiones.	108
Referencias.	109
Capítulo 6. Efecto del procesamiento térmico sobre algunas propiedades fisicoquímicas de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt).	112
Resumen.	112
1. Introducción.	112
2. Metodología.	113
2.1 Color.	113
2.2 pH.	114
2.3 Sólidos solubles totales (°Brix).	114
2.4 Acidez titulable (%).	114
2.5 Relación de madurez.	114
2.6 Análisis estadístico.	114
3. Resultados.	114
3.1 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados en obtención de pulpas.	114
3.2 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para DO.	117
3.3 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para SAC.	118
3.4 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para SPL.	120
3.5 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para FC.	121
3.6 Análisis comparativo para cada parámetro.	122
3.6.1 Coordenadas de color.	122
3.6.2 pH.	130
3.6.3 Acidez titulable (%).	131
3.6.4 Sólidos solubles totales (°Brix).	132
3.6.5 Relación de madurez.	133
4. Conclusiones.	134
Referencias.	135
Capítulo 7. Aceptación sensorial de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt) sometido a diferentes técnicas de procesamiento térmico.	138
Resumen.	138
1. Introducción.	138
2. Metodología.	139
3. Resultados.	142

3.1 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de pulpas de tomate de árbol.	142
3.2 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol OD.	144
3.3 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.	146
3.4 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.	148
3.5 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol confitado.	150
3.6 Análisis comparativo para cada factor de calidad.	151
3.6.1 Color de la pulpa.	151
3.6.2 Aroma y sabor.	153
3.6.3 Textura.	154
3.6.4 Puntuación total.	155
4. Conclusiones.	156
Referencias.	156
Capítulo 8. Obtención de curvas de secado de Tomate árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt) mediante la aplicación de cuatro técnicas de procesamiento térmico.	159
Resumen.	159
1. Introducción.	159
2. Metodología.	161
2.1 Deshidratación Osmótica.	161
2.2 Secado por aire caliente.	162
2.3 Secado de pulpa en lámina.	164
2.4 Fruta confitada.	165
2.5 Parámetros asociados con el proceso de secado.	166
3. Resultados.	166
3.1 Osmodeshidratación del tomate de árbol.	167
3.2 Secado por aire caliente.	170
3.3 Secado de pulpa en lámina.	173
3.4 Frutas confitadas.	175
4. Conclusiones.	176
Referencias.	177
Capítulo 9. Análisis comparativo del comportamiento de los compuestos bioactivos en el procesamiento térmico del tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt).	181
Resumen.	181
1. Introducción.	181
2. Metodología.	182
2.1 Obtención del extracto.	183
2.2 Compuestos bioactivos.	183
2.2.1 Fenoles totales (PFT).	183
2.2.2 Capacidad antioxidante (CA).	183
2.2.3 Antocianinas totales (AT).	184
2.2.4 Ácido ascórbico (ÁA).	184

Continuación tabla de contenidos.

2.2.5 Carotenoides totales (CT).	184
2.2.6 Vitamina E (Vit E).	185
2.3 Análisis estadístico.	186
3. Resultados.	186
3.1 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos en pulpas de tomate de árbol.	186
3.2 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a DO.	188
3.3 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos para SAC.	189
3.4 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos SPL.	191
3.5 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos para FC.	192
3.6 Análisis de varianza y pruebas de comparación de medias y Tukey HSD 95% para los compuestos bioactivos evaluados.	193
4. Conclusiones.	204
Referencias.	204
Capítulo 10. Identificación de algunos compuestos fitoquímicos presentes en Tomate árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> Sendt) sometidos a procesamiento térmico, empleando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, ATR- FTIR.	207
Resumen.	207
1. Introducción.	207
2. Metodología.	209
2.1 Preparación de las muestras.	209
2.2 Análisis ATR-FTIR.	209
3. Resultados.	209
4. Conclusiones.	215
Referencias.	215
Discusión general.	219
Conclusiones generales.	221
Anexo A. Cumplimiento de resultados esperados: Fortalecimiento comunidad científica.	223
Vita.	231

Lista de tablas

	Pág.
Capítulo 1.	
Tabla 1. Nomenclatura utilizada para cada uno de los tratamientos de la investigación.	12
Capítulo 2.	
Tabla 2. Principales investigadores en análisis instrumental de alimentos.	25
Tabla 3. Principales investigadores del compuesto “Ácido ascórbico”.	27
Tabla 4. Principales investigadores del compuesto “Antocianina”.	29
Tabla 5. Principales investigadores de “Capacidad antioxidante”.	31
Tabla 6. Principales investigadores de “Polifenoles totales”.	32
Capítulo 3.	
Tabla 7. Principales investigadores de “Pulpas de fruta”.	46
Tabla 8. Principales investigadores de “Secado de pulpa en lámina”.	52
Tabla 9. Principales investigadores de “Secado por aire caliente”.	53
Tabla 10. Principales investigadores de “Deshidratación osmótica de frutas”.	56
Tabla 11. Principales investigadores de “Fruta confitada”.	60
Capítulo 4.	
Tabla 12. Propiedades físicas correspondientes a las tres variedades de tomate de árbol estudiadas.	81
Tabla 13. Características morfológicas para las tres variedades de tomate de árbol estudiadas.	82
Tabla 14. Coordenadas de color de la pulpa del tomate para las tres variedades.	84
Tabla 15. Parámetros químicos evaluados a los frutos frescos de tomate de árbol en sus tres variedades.	85
Capítulo 5.	
Tabla 16. Parámetros evaluados en el análisis proximal de pulpas.	92
Tabla 17. Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos Osmodeshidratados.	94
Tabla 18. Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos sometidos a secado por aire caliente.	96
Tabla 19. Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.	97
Tabla 20. Parámetros evaluados en el análisis proximal de fruta confitada.	98
Tabla 21. Análisis de varianza de la variable “Proteína bruta, Pb (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	98
Tabla 22. Análisis de varianza de la variable “Lípidos, L (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	100
Tabla 23. Análisis de varianza de la variable “Carbohidratos, C (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	101
Tabla 24. Análisis de varianza de la variable “Actividad de agua (Aw)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	103
Tabla 25. Análisis de varianza de la variable “Humedad en base seca (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	105
Tabla 26. Análisis de varianza de la variable “Cenizas” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	106

Continuación lista de tablas.

Tabla 27.	Análisis de varianza de la variable “Calorías” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	108
Capítulo 6.		
Tabla 28.	Parámetros fisicoquímicos de pulpas estudiadas.	115
Tabla 29.	Parámetros fisicoquímicos en tratamientos osmódeshidratados.	117
Tabla 30.	Parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a secado por aire caliente.	119
Tabla 31.	Parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.	121
Tabla 32.	Parámetros fisicoquímicos en fruta confitada.	122
Tabla 33.	Análisis de varianza de la coordenada “L” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	122
Tabla 34.	Análisis de varianza de la coordenada “a*” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	124
Tabla 35.	Análisis de varianza de la coordenada “b*” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	125
Tabla 36.	Análisis de varianza de la coordenada “h (hue)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	126
Tabla 37.	Análisis de varianza de la variable “Cromaticidad” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	127
Tabla 38.	Análisis de varianza de la variable “ΔE” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	129
Tabla 39.	Análisis de varianza de la variable “pH” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	130
Tabla 40.	Análisis de varianza de la variable “Acidez titulable (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	131
Tabla 41.	Análisis de varianza de la variable “Sólidos solubles totales (°Brix)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	132
Tabla 42.	Análisis de varianza de la variable “Relación de madurez, Rm” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	133
Capítulo 7.		
Tabla 43.	Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de pulpa de tomate de árbol.	140
Tabla 44.	Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a deshidratación osmótica.	140
Tabla 45.	Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol secado por aire caliente.	141
Tabla 46.	Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de pulpa de tomate de árbol secado en lámina.	141
Tabla 47.	Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol confitado.	142
Tabla 48.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.	143

Continuación lista de tablas.

Tabla 49.	Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.	144
Tabla 50.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol osmodeshidratado.	145
Tabla 51.	Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol osmodeshidratado.	146
Tabla 52.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol sometidos a secado por aire caliente.	147
Tabla 53.	Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.	148
Tabla 54.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol sometidos a secado de pulpa en lámina.	149
Tabla 55.	Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado pulpa en lámina.	150
Tabla 56.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.	150
Tabla 57.	Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.	151
Tabla 58.	Análisis de varianza para el factor de calidad “Color de la pulpa” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	152
Tabla 59.	Análisis de varianza para el factor de calidad “Aroma y sabor” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	153
Tabla 60.	Análisis de varianza para el factor de calidad “Textura” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	154
Tabla 61.	Análisis de varianza para el factor de calidad “Puntuación total calificada” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	155
Capítulo 8.		
Tabla 62.	Resultados de variables asociadas a la vida útil del producto para las materias primas.	167
Tabla 63.	Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol osmodeshidratado.	167
Tabla 64.	Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol sometido secado por aire caliente.	171
Tabla 65.	Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol, sometido a secado de pulpa en lámina.	174
Tabla 66.	Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol confitado.	176

Continuación lista de tablas.

Capítulo 9.

Tabla 67.	Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en pulpas de tomate de árbol.	186
Tabla 68.	Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos osmodeshidratados.	188
Tabla 69.	Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a secado por aire caliente.	190
Tabla 70.	Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.	192
Tabla 71.	Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en fruta confitada.	193
Tabla 72.	Análisis de varianza para el parámetro “Polifenoles totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	193
Tabla 73.	Análisis de varianza para el parámetro “Capacidad antioxidante” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	195
Tabla 74.	Análisis de varianza para el parámetro “Antocianinas totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	197
Tabla 75.	Análisis de varianza para el parámetro “Ácido ascórbico” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	199
Tabla 76.	Análisis de varianza para el parámetro “Carotenoides totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	200
Tabla 77.	Análisis de varianza para el parámetro “Vitamina E” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	202

Capítulo 10

Tabla 78.	Picos de absorbancia primaria para algunos compuestos presentes en frutos de tomate de árbol.	210
-----------	---	-----

Discusión general

Tabla 79.	Caracterización del Tratamiento T233-SAC.	220
-----------	---	-----

Lista de figuras

	Pág.
Capítulo 1.	
Figura 1. Diseño de la investigación.	5
Figura 2. Métodos analíticos implementados durante la investigación.	6
Figura 3. Procesos térmicos evaluados en la investigación.	7
Figura 4. Diagrama obtención, procesamiento y evaluación de pulpas.	8
Figura 5. Diagrama de proceso para deshidratación osmótica.	9
Figura 6. Diagrama de proceso para secado por aire caliente.	10
Figura 7. Diagrama de proceso para secado de pulpa en lámina.	11
Figura 8. Diagrama de proceso para fruta confitada.	12
Capítulo 2.	
Figura 9. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Análisis instrumental”.	24
Figura 10. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Ácido ascórbico”.	27
Figura 11. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Antocianinas totales”.	29
Figura 12. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Capacidad antioxidante”.	30
Figura 13. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Polifenoles totales”.	32
Capítulo 3.	
Figura 14. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Pulpas de fruta”.	47
Figura 15. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Secado de pulpa en lámina”.	52
Figura 16. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Secado por aire caliente”.	54
Figura 17. Número publicaciones y países investigadores en la temática “Deshidratación osmótica de frutas”.	57
Figura 18. Número publicaciones y países investigadores en la temática “fruta confitada”.	60
Capítulo 4.	
Figura 19. Terminología morfológica y estructural propuesta para tomate de árbol amarillo.	74
Figura 20. Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol amarillo.	75
Figura 21. Terminología morfológica y estructural para tomate de árbol rojo.	76
Figura 22. Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol rojo.	76
Figura 23. Terminología morfológica y estructural propuesta para tomate de árbol púrpura.	77
Figura 24. Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol púrpura.	78
Figura 25. Descripción morfológica del tomate de árbol color amarillo.	79
Figura 26. Descripción morfológica del tomate de árbol rojo.	79
Figura 27. Descripción morfológica del tomate de árbol color púrpura.	80

Continuación lista de figuras.

Figura 28.	Comparación de propiedades físicas evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol.	82
Figura 29.	Comparación de características morfológicas evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol.	83
Figura 30.	Comparación de las coordenadas de color evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol.	84
Figura 31.	Comparación de parámetros químicos evaluados en las tres variedades de tomate de árbol.	86
Capítulo 5.		
Figura 32.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de proteína bruta (%), de todos los tratamientos evaluados.	99
Figura 33.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de proteína bruta (%).	99
Figura 34.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de lípidos (%), de todos los tratamientos evaluados.	100
Figura 35.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de lípidos (%).	101
Figura 36.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de carbohidratos (%), de todos los tratamientos evaluados.	102
Figura 37.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para la actividad de agua (A_w), de todos los tratamientos evaluados.	103
Figura 38.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y la actividad de agua (A_w).	104
Figura 39.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de humedad en base seca (%), de todos los tratamientos evaluados.	105
Figura 40.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de cenizas (%), de todos los tratamientos evaluados.	106
Figura 41.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de cenizas (%).	107
Figura 42.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de calorías ($\text{kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$), de todos los tratamientos evaluados.	108
Capítulo 6.		
Figura 43.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “L”.	123
Figura 44.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “a*”.	124
Figura 45.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “b*”.	126
Figura 46.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada “h (hue)”.	127
Figura 47.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Cromaticidad”.	128
Figura 48.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Razón de cambio del color (ΔE)”.	129
Figura 49.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “pH”.	130
Figura 50.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Acidez titulable (%)”.	131
Figura 51.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para la variable “Sólidos solubles totales (°Brix)” de todos los tratamientos evaluados.	132
Figura 52.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Relación de madurez”.	134

Continuación lista de figuras.

Capítulo 7.

Figura 53.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.	143
Figura 54.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol osmodeshidratado.	146
Figura 55.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.	148
Figura 56.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado pulpa en lámina.	149
Figura 57.	Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.	151
Figura 58.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el factor de calidad “Color de la pulpa”.	152
Figura 59.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Aroma y sabor” de todos los tratamientos evaluados.	153
Figura 60.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Textura” de todos los tratamientos evaluados.	155
Figura 61.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Puntuación total calificada” de todos los tratamientos evaluados.	156

Capítulo 8.

Figura 62.	Tecnología deshidratación osmótica.	162
Figura 63.	Equipo de secado estático en bandeja con flujo de aire horizontal.	163
Figura 64.	Tecnología secado por aire caliente.	164
Figura 65.	Tecnología secado de pulpa en lámina.	165
Figura 66.	Tecnología fruta confitada.	166
Figura 67.	Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Amarilla osmodeshidratado.	169
Figura 68.	Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Roja osmodeshidratado.	169
Figura 69.	Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Púrpura osmodeshidratado.	170
Figura 70.	Curvas de secado para tomate de árbol variedad Amarilla sometido a secado por aire caliente.	172
Figura 71.	Curvas de secado para tomate de árbol variedad Roja sometido a secado por aire caliente.	173
Figura 72.	Curvas de secado para tomate de árbol variedad Púrpura sometido a secado por aire caliente.	173
Figura 73.	Curvas de secado para tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.	175
Figura 74.	Curvas de secado para tomate de árbol confitado.	176

Capítulo 9.

Figura 75.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Polifenoles totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	194
Figura 76.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Polifenoles totales”.	195
Figura 77.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Capacidad antioxidante” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	196
Figura 78.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Capacidad antioxidante”.	196

Continuación lista de figuras.

Figura 79.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Antocianinas totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	197
Figura 80.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Antocianinas totales”.	198
Figura 81.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Ácido ascórbico” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	199
Figura 82.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Ácido ascórbico”.	200
Figura 83.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Carotenoides totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	201
Figura 84.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Carotenoides totales”.	201
Figura 85.	Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Vitamina E” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.	202
Figura 86.	Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Vitamina E”.	203
Capítulo 10.		
Figura 87.	ATR-FTIR para tratamientos pulpas de tomate de árbol.	211
Figura 88.	ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a deshidratación osmótica.	212
Figura 89.	ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a secado con aire caliente.	213
Figura 90.	ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.	213
Figura 91.	ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol confitados.	214
Figura 92.	ATR-FTIR Comparación para tratamientos de tomate de árbol en las diferentes tecnologías.	215
Anexo A.		
Figura 93.	Constancia de calificación “Meritoria” a tres trabajos de grado dirigidos, expedido por el Decano de la Facultad de Ingeniería.	223
Figura 94.	Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Falla-Useche et al. (2023).	224
Figura 95.	Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Forero et al. (2023).	225
Figura 96.	Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Córdoba et al. (2023).	226
Figura 97.	Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Fiesco et al. (2023).	227
Figura 98.	Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Pinzón et al. (2023).	228
Figura 99.	Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Vargas et al. (2023).	229
Figura 100.	Certificado ponencia oral realizada en el Seminario público “Investigaciones sobre ciencia y tecnología en el sector agrario”, 2021.	230

Capítulo 1

Metodología de la investigación.

En este Capítulo se presenta: el planteamiento del problema a investigar, la pregunta problema, los objetivos de la tesis doctoral, la justificación, las estrategias metodológicas, y el diseño experimental establecido para el desarrollo del trabajo de investigación.

1. Planteamiento del problema a investigar.

En la actualidad hay una creciente demanda de alimentos nutritivos y terapéuticos basados en compuestos biológicos y fitoquímicos que generan expectativa en el mejoramiento de la calidad de vida del consumidor, reduciendo el riesgo de enfermedades y promoviendo su tratamiento con métodos alternativos (Jiménez, 2013); cuando los componentes de los alimentos o partes del mismo aportan un beneficio adicional para la salud incluso para la prevención y tratamiento de enfermedades se concluye que el alimento posee una “Propiedad nutracéutica” (Luengo, 2007); el consumo de material vegetal entre ellos de frutas, generan la reducción del riesgo de enfermedades crónicas (Birute, et al., 2009); es así como, la ingesta de frutas atrae la atención de la comunidad científica, debido a que los compuestos bioactivos presentes, muestran beneficios en la prevención de las dolencias humanas (Machado y Schieber, 2010).

Acorde a lo consolidado por Meza y Manzano (2009), el tomate de árbol posee cualidades nutricionales, especialmente por promover la reducción de colesterol, debido a su alto contenido de fibra, β -Caroteno (provitamina A), vitamina B6, vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E, hierro, potasio, magnesio, fósforo con un contenido de nitrógeno y aminoácidos libres muy alto y su bajo nivel de calorías; fortalece el sistema inmunológico y la visión, además de funcionar como antioxidante y buena fuente de pectina (Chalampiente y Prado, 2005); estos compuestos poseen efectos antimicrobianos lo que indica que las frutas tienen una función de protección frente a los agentes patógenos (Ayala et al., 2011); lo que indica que la fruta presenta potencialidades para convertirse en un alimento funcional ya que además de nutrir, es capaz de producir de manera demostrada efectos metabólicos o fisiológicos que contribuyen a una buena salud física y a la reducción del riesgo de enfermedades (Ferreira y Luengo 2007).

Los principales usos de carácter terapéutico del tomate de árbol se documentan en investigaciones reportadas por Salazar-Lugo et al. (2016), quienes evaluaron el efecto del consumo del jugo sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, observando una disminución significativa de colesterol total y glucosa, sin alteraciones en la salud digestiva; la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, FAO (2006), citado por Guevara (2015), afirmó que el consumo de la fruta fresca fortalece el cerebro, contribuyendo al alivio de cefaleas severas y migrañas, así como una reducción en la tensión arterial; en Colombia y Ecuador se utilizan en el tratamiento de gripe, amigdalitis y en Jamaica y Bolivia para controlar problemas hepáticos (León y Juan, 2003; Reyes, 1993, citado por Álvarez et al., 2009); Alvarado et al. (2003) resumieron que en la medicina tradicional utilizan todas las

variedades comestibles de esta especie para curar heridas, llagas, afecciones en la piel, mordeduras de animales y como desparasitante. Reyes y Sanabria (1993) destacan usos terapéuticos para tratar diabetes, reumatismo y fiebre intestinal; Adicionalmente, los frutos poseen compuestos fitoquímicos útiles en la disminución de incidencia del cáncer y la inactivación de radicales libres producidos en el metabolismo celular (Estrella, 1994; Durán y Moreno, 2000).

Dentro de las investigaciones reportadas para tomate de árbol se destacan Aguirre-López et al. (2023) quienes caracterizaron los compuestos volátiles de diecisiete frutas exóticas colombianas. En la determinación de algunos compuestos bioactivos de productos procesados a base de tomate de árbol, Álvarez (2023) evaluó la actividad desinflamatoria de dichos compuestos en una simulación gastrointestinal; Centeno (2022), Delgado et al. (2022), Mera y Riascos (2017), Oscullo y Logroño (2022) y Tito (2019) centraron sus investigaciones en la capacidad antioxidante presente en el tomate de árbol sometido a diferentes procesos térmicos. Vásquez (2023) adicionalmente estudió el contenido de vitamina C en un néctar mixto a base de aguaymanto, tomate de árbol y piña; y Díaz y Chuquizuta (2022) adicionalmente evaluaron el efecto de los tratamientos térmicos sobre el color. Así mismo, Estupiñán y Herrera (2022) extrajeron flavonoides a partir de subproductos de tomate de árbol; Lancheros (2019) caracterizó pectinas presentes en el epicarpio del fruto; Rojas et al. (2017) evaluaron la capacidad de máxima retención de algunos compuestos bioactivos; Urbina (2019), Maldonado y Yanza (2013) enfocaron sus investigaciones en la determinación y cuantificación de α -Tocoferol y β -Caroteno en subproductos y frutos liofilizados.

Por otra parte, se han realizado algunas investigaciones encaminadas al diseño, elaboración y caracterización de productos alimentarios a base de tomate de árbol: Chávez (2022) diseñando mermelada; Estrella et al. (2020) con pulpas mixtas de tomate de árbol y naranjilla; Falla et al. (2024) con salsa étnica tipo “Chutney” para tres variedades de la fruta; López y Cabrera (2021) elaboraron y comercializaron helados a base de babaco y tomate de árbol; Pinzón et al. (2024) y Vargas et al. (2024) caracterizaron parámetros químicos y sensoriales de gomas funcionales con ingredientes de interés nutricional, entre ellos tomate de árbol. En la misma línea de productos transformados Buitron y Ruales (2023), Castro et al. (2022) y Encalada (2021), con bebidas funcionales a base de tomate árbol. Por otra parte, Guevara (2022) evaluó un kéfir con lactosuero saborizado de aguaymanto y tomate de árbol y Moreno (2023) formuló y elaboró coladas con materias primas autóctonas del departamento del Chocó, Colombia.

De igual manera se reportan algunos resultados en la aplicación de procesamiento térmico a la fruta. Martínez (2012) analizó el efecto de la concentración y la temperatura en la deshidratación osmótica de tomate de árbol; de manera similar, Torres et al. (2014) aplicó secado osmótico y obtuvo un producto de humedad intermedia de tomate de árbol, mientras que Tigreros (2023) centró su investigación en evaluar el efecto de las condiciones de escaldado con microondas sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color encontrando que el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides,

actividad antioxidante, luminosidad, croma e índice de amarillamiento, siendo este trabajo de grado el más recientemente publicado en una línea afín a la investigación doctoral.

Si bien, en los últimos años se ha aumentado el número de investigaciones reportadas en las diferentes fuentes de consulta, como bases de datos especializadas y repositorios institucionales de alto impacto, aún son escasos los reportes con metodologías que socialicen ampliamente la existencia de investigaciones en las que se estudien procesos térmicos, que permitan conservar la mayoría de los beneficios nutraceuticos equivalentes a consumir las frutas en estado fresco, garantizando el adecuado control tanto en la duración del proceso como en la temperatura aplicada al producto. Los beneficios aportados por el consumo en fresco del tomate de árbol se ven disminuidos en países que presentan una estacionalidad muy marcada, debido a que los cambios del clima no permiten encontrar disponibilidad de la fruta fresca todo el año.

Los productos deshidratados son utilizados en la formulación de alimentos para deportistas, cereales de desayuno o en postres. No obstante, es fundamental la optimización de las condiciones de operación de los métodos térmicos para conseguir, no solamente la máxima eficacia y un suficiente control del proceso, sino también, determinadas características en el producto final relacionadas con los compuestos bioactivos, el color, la textura, la actividad del agua y el valor nutritivo. Por lo anterior, en la presente tesis se plantea dar respuesta al siguiente interrogante:

¿Cuál de los procesos térmicos evaluados retiene la mayor cantidad de compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol procesado?

Si se conoce la variación de las características fisicoquímicas, sensoriales y del contenido de compuestos bioactivos frente a los tratamientos térmicos, entonces se determinarán los tiempos y temperaturas óptimos para retener la mayor concentración de sustancias benéficas presentes en el tomate de árbol.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de cinco tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos presentes en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt)

2.2 Objetivos específicos

- Determinar compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la parte comestible de *Cyphomandra betacea* Sendt.
- Analizar el efecto de las temperaturas de proceso sobre propiedades fisicoquímicas y sensoriales en *Cyphomandra betacea* Sendt.
- Estudiar la cinética de los métodos térmicos implementados y su influencia sobre compuestos bioactivos.

- Establecer la técnica que conserve la mayor cantidad de compuestos bioactivos en el tomate de árbol procesado.

3. Justificación

El sector agrícola colombiano requiere ser más competitivo y para ello debe buscar nuevas y más alternativas de aprovechamiento, proceso y transformación de materias primas que le permitan acceder a nuevos mercados tanto nacionales como internacionales. El consumidor de hoy se ha tornado más exigente y selectivo a la hora de escoger sus alimentos. La cultura de los productos con alto valor nutritivo, saludables, con antioxidantes e inocuos está ganando terreno en el mercado. Es por ello que es prioritario investigar más a fondo el efecto de los tratamientos de conservación sobre la calidad nutricional, sensorial y nutraceutica de los alimentos, para encontrar cuáles tratamientos son los más adecuados a la hora de conservar en mayor medida las características iniciales del producto en estado fresco.

Con esta tesis doctoral se pretendió evaluar el efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre los compuestos bioactivos en productos procesados del tomate de árbol. Este tipo de investigación conlleva a obtener técnicas enfocadas en la retención de la mayor cantidad de compuestos bioactivos en alimentos transformados a base de *Cyphomandra betacea* Sendt, que aporten un alto contenido nutraceutico, con características organolépticas deseables para el consumidor y que permitan el fortalecimiento de nuevos mercados, conforme a las apuestas productivas de la Región Surcolombiana y del territorio Nacional.

En la fase experimental de la investigación se realizó una identificación detallada de la terminología morfológica y de componentes, en las principales variedades estudiadas, que no se había realizado hasta el momento. También se obtuvieron productos procesados térmicamente, con técnicas de secado que no están reportadas en las bases de datos científicas para el tomate de árbol, como son: secado de pulpa en lámina y frutas confitadas; y, en general, se muestran cinco procesos para las tres variedades de la fruta, clasificadas por color: amarillo, rojo y púrpura. En ese mismo sentido, se presentan los resultados obtenidos para: la cuantificación de seis compuestos bioactivos de interés nutricional, caracterización fisicoquímica, proximal, evaluación sensorial y aplicación de una técnica de análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, implementada en cada uno de los tratamientos estudiados. Las caracterizaciones realizadas y descritas en este documento final de la tesis, estarán disponibles en el repositorio de la Universidad Surcolombiana, lo que permitirá ofrecer información académica relevante, generando nuevos conocimientos y fortalecimiento a la comunidad científica.

Además, esta línea de investigación fortalece el trabajo que se viene adelantando en el “Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible ADAS”, el programa de pregrado Ingeniería agroindustrial y el grupo de investigación “Hidroingeniería y desarrollo agropecuario GHIDA” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad

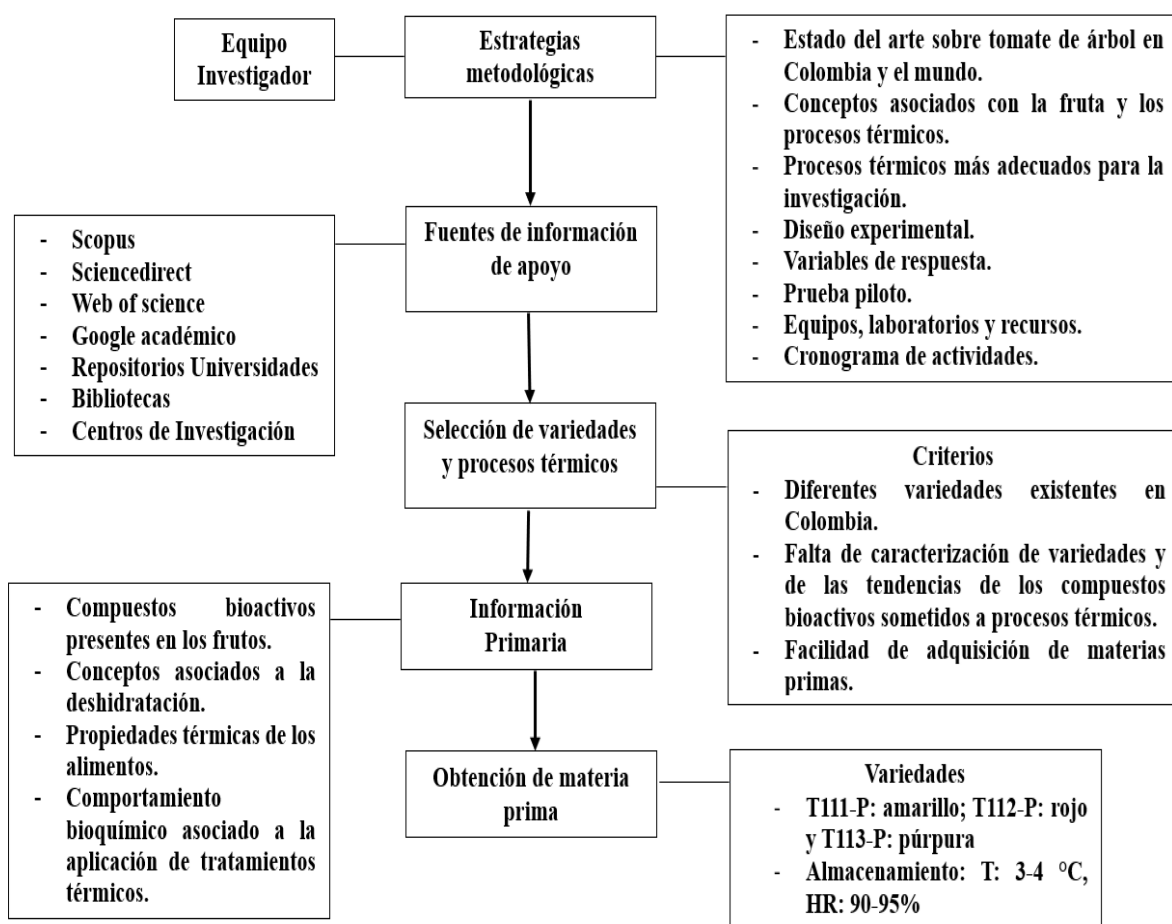
Surcolombiana, orientada a la búsqueda de tecnologías agroindustriales que generen valor agregado a los productos del campo, de la región y el país.

4. Estrategias metodológicas

En la figura 1 se indica, a través de un diagrama, el diseño de la investigación adelantado para lograr los objetivos específicos propuestos. En este se resume algunas estrategias implementadas en la investigación doctoral.

Figura 1.

Diseño de la investigación.



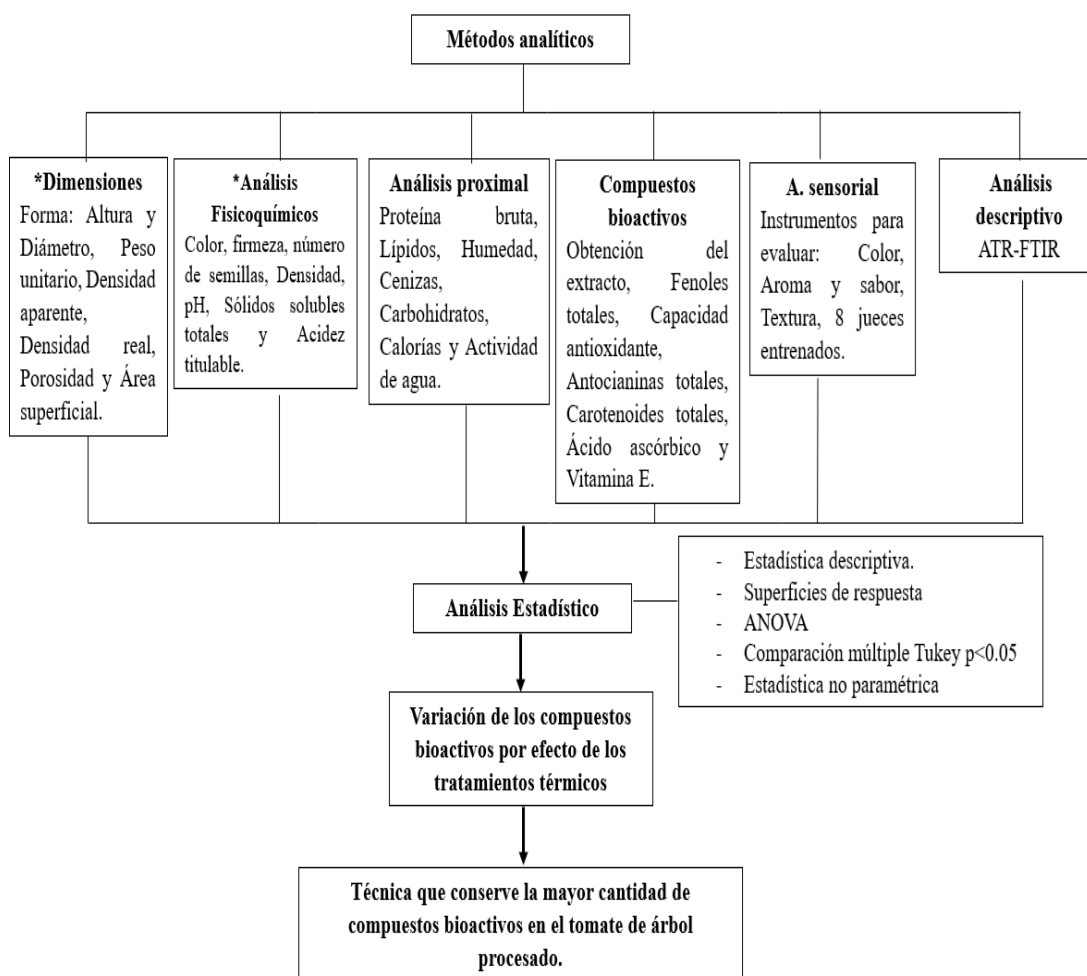
El equipo investigador conformado por la tesista y el director, de manera permanente realizaron una revisión sobre el estado del arte referente a investigaciones relacionadas con tomate de árbol. Para lograrlo se revisaron las bases de datos científicas: Scopus, Sciencedirect, Web of Science, y Google académico; algunos Centros de Investigación de la Universidad Surcolombiana y de la Universidad Nacional de Colombia, Biblioteca y los Repositorios disponibles de algunas Universidades en Latinoamérica con

líneas de investigación afines a la tesis y al producto evaluado. Realizar esta revisión continuamente permitió identificar la información primaria que conllevó a la ejecución de la investigación, centrándose en adquirir conocimientos en temas como: las condiciones del cultivo de tomate de árbol, la terminología y conceptos relacionados al fruto, el contenido de compuestos bioactivos, el comportamiento de los mismos frente a la aplicación de procesos térmicos, así como los protocolos de determinación y análisis para cada parámetro propuesto.

Posteriormente, se indagó acerca de la disponibilidad de equipos, laboratorios y reactivos en las instalaciones de la Universidad Surcolombiana, Sede Central Neiva, Huila, Colombia, que estuvieran disponibles para plantear el diseño experimental. Por último, se estableció que se trabajaría con las tres variedades predominantes según clasificación por color: amarillo, rojo y púrpura.

Figura 2.

Métodos analíticos implementados durante la investigación.



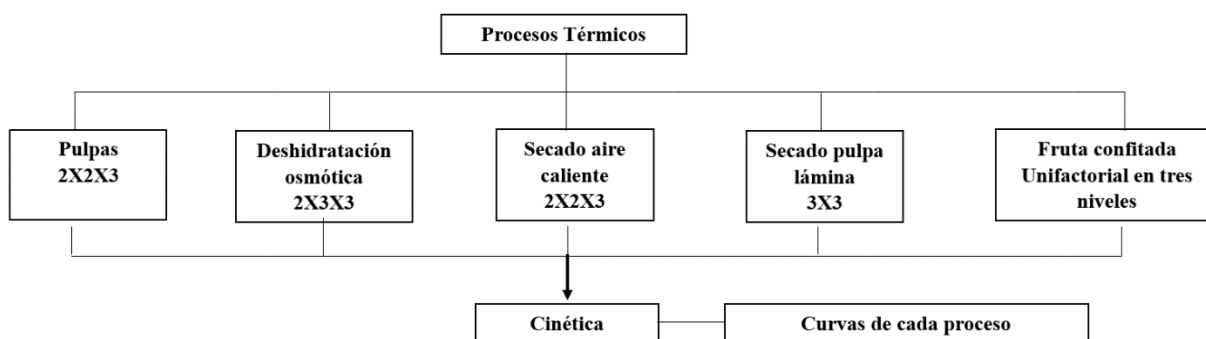
A continuación, se procedió a establecer los diferentes métodos analíticos en seis grupos diferenciados: Dimensiones de los frutos, análisis de parámetros fisicoquímicos, análisis proximal, algunos compuestos bioactivos, análisis sensorial y análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, ATR-FTIR, que permitieron encontrar la solución a la pregunta e hipótesis de investigación de la Tesis doctoral. Las pruebas que se realizaron para el total de tratamientos se resumen en la figura 2.

5. Diseño experimental

Esta tesis se ejecutó teniendo en cuenta cinco técnicas de procesamiento térmico aplicadas a tres variedades de tomate de árbol: tomate de árbol amarillo (T111-P), tomate de árbol rojo (T112-P) y tomate de árbol púrpura (T113-P). El diseño experimental implementado en cada técnica se describe a continuación y se resume en la figura 3:

Figura 3.

Procesos térmicos evaluados en la investigación.



En la figura 3 se presentan las cinco tecnologías que se evaluaron, el diseño experimental factorial empleado en cada una de ellas se desagrega a continuación, las pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Surcolombiana, ubicada en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia, con una altitud de 442 msnm.

- Obtención y evaluación de pulpas (P)

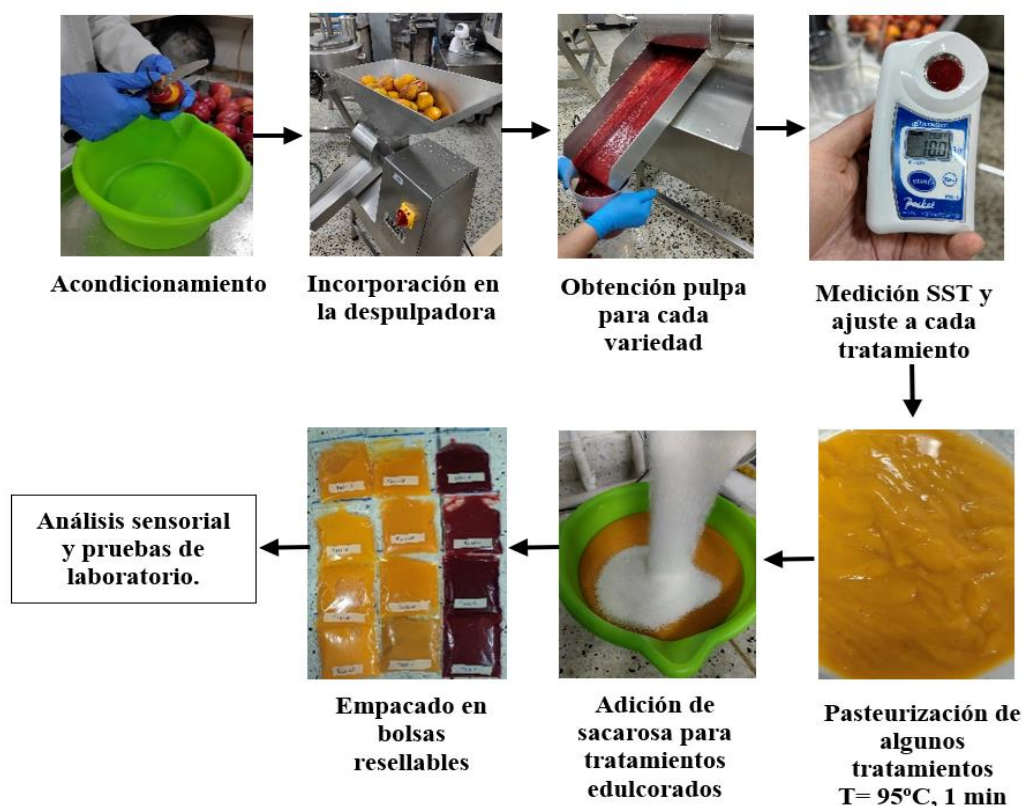
Se realizó un diseño multifactorial con estructura 2x2x3, en donde el Factor 1 correspondió al tratamiento térmico de pasteurización (dos niveles: sin pasteurizar y pasteurizada), Factor 2 tipo de pulpa (dos niveles: no edulcorada y edulcorada) y Factor 3 variedad de la fruta (tres niveles: amarillo, rojo y púrpura), con 4 repeticiones. En este procesamiento se fijaron los tratamientos de control: T111-P, T112-P y T113-P, que se estudiaron y fueron objeto de comparación con los otros procesos térmicos propuestos en toda la investigación.

Para el tratamiento térmico de pasteurización la pulpa fue calentada hasta 95°C manteniendo esta temperatura durante un periodo de un minuto, y procediendo a continuación a su enfriamiento rápido. Para el tratamiento de pulpa edulcorada, a cada una de las pulpas se le ajustaron los sólidos solubles desde su contenido inicial hasta 40 °Brix,

adicionado sacarosa. El diagrama del proceso seguido para este tratamiento se presenta en la figura 4.

Figura 4.

Diagrama obtención, procesamiento y evaluación de pulpas.



- **Deshidratación osmótica (DO)**

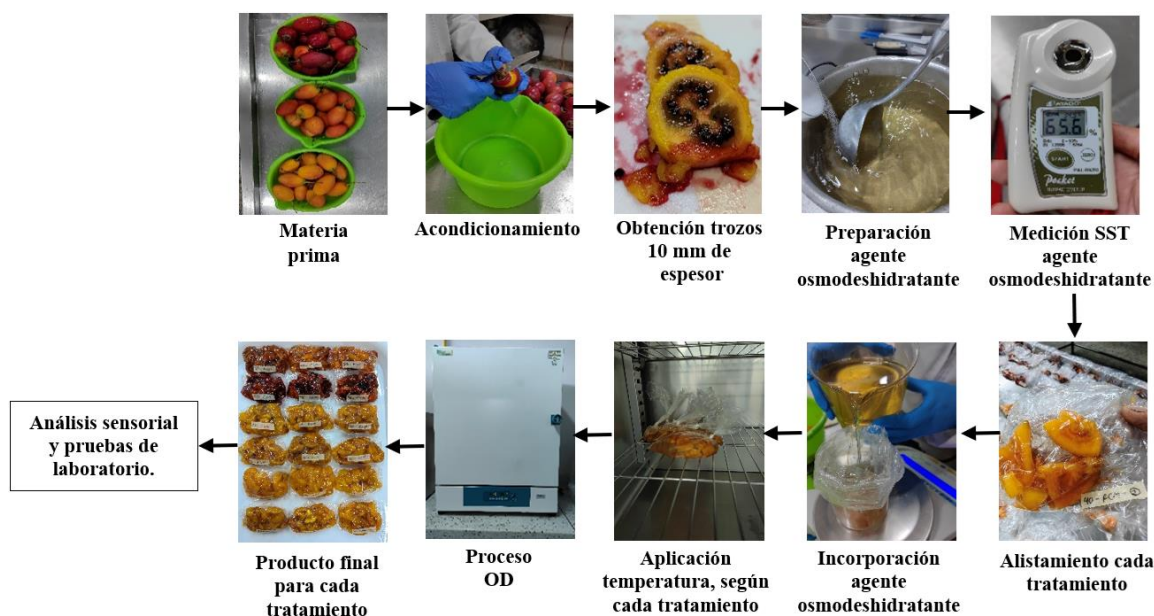
Para este protocolo se trabajó un diseño experimental multifactorial de estructura 2X3X3, en donde el Factor 1 corresponde al componente de fruta a deshidratar (dos niveles: mesocarpio y mesocarpio + endocarpio), Factor 2 temperatura de deshidratación (tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 3 variedad de la fruta (tres niveles: amarillo, rojo y púrpura), con 3 repeticiones.

La fruta se cortó en trozos homogéneos, de aproximadamente 10 mm de espesor. Las muestras experimentales tuvieron un peso aproximado de 20 g de fruta en trozos. Se preparó el jarabe con una concentración de 65 °Brix, conforme a lo sugerido por Pinzón et al. (2011). La fruta a deshidratar y el jarabe se depositaron en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) calibre 7 con dimensiones de 0,15 m x 0,40 m, en total se dosificó la fruta y el jarabe en ocho bolsas para cada una de las temperaturas establecidas, como se aprecia en la Figura 5. La relación Fruta: Jarabe fue 1:5, y durante las primeras siete (7) horas, cada hora se tomó una muestra (bolsa) de cada tratamiento y temperatura, se le retiró

el jarabe, se secó la fruta con el papel absorbente, se pesó la fruta y se determinaron los sólidos solubles a la fruta y al jarabe. A una octava muestra, de todos los tratamientos, se le dejó en el proceso de secado hasta completar veinticuatro (24) horas, y se le realizó el mismo procedimiento de las otras muestras. Los tratamientos se realizaron a presión atmosférica, sin agitación ni recirculación, en una estufa con temperatura constante, marca Lab Companion.

Figura 5.

Diagrama de proceso para deshidratación osmótica.



- Secado por aire caliente (SAC)

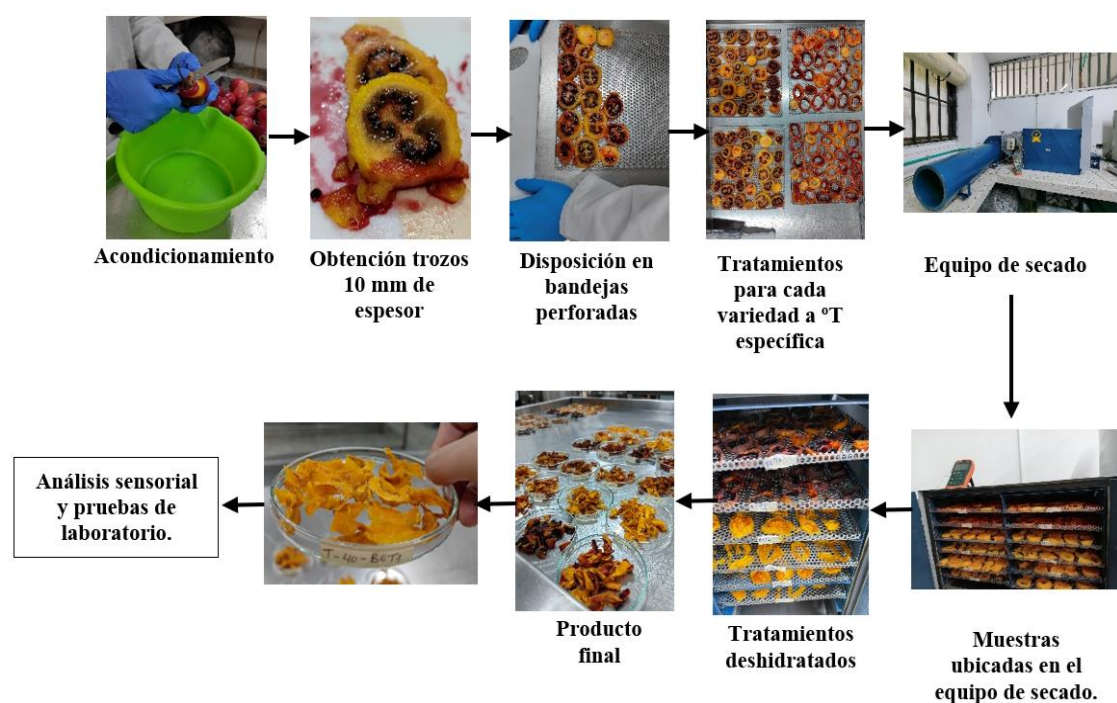
Para el secado convectivo y sus efectos sobre los compuestos bioactivos, se estableció un diseño experimental multifactorial de estructura 2X3X3, en donde el Factor 1 corresponde al componente de fruta a deshidratar (dos niveles: mesocarpio y mesocarpio + endocarpio), Factor 2 temperatura de deshidratación (tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 3 variedad de la fruta (tres niveles: amarillo, rojo y púrpura), con 3 repeticiones.

El producto a secar se cortó en trozos homogéneos de aproximadamente 10 mm de espesor, se esparció en una sola capa de manera uniforme en bandejas de acero perforadas, con dimensiones de 0,30m x 0,265m x 0,015m, con abertura de la malla de 54%, calibre 23, pertenecientes al equipo de secado tipo estático, con flujo de aire horizontal, paralelo a la disposición de las bandejas; con velocidad del aire de $5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, como se presenta en la Figura 6. Para monitorear la cinética del secado de cada tratamiento se pesó la capa de fruta (g) y se midió el espesor de las muestras (mm) con un calibrador pie de rey, antes de iniciar el proceso de secado, y a continuación de acuerdo a los siguientes tiempos de secado: cada 30 minutos durante las tres primeras horas de secado; cada hora durante las horas

siguientes, hasta lograr un contenido de humedad en base húmeda final del 12% o menor, o en su defecto, hasta cuando las variaciones de peso en las muestras fueron mínimas.

Figura 6.

Diagrama de proceso para secado por aire caliente.



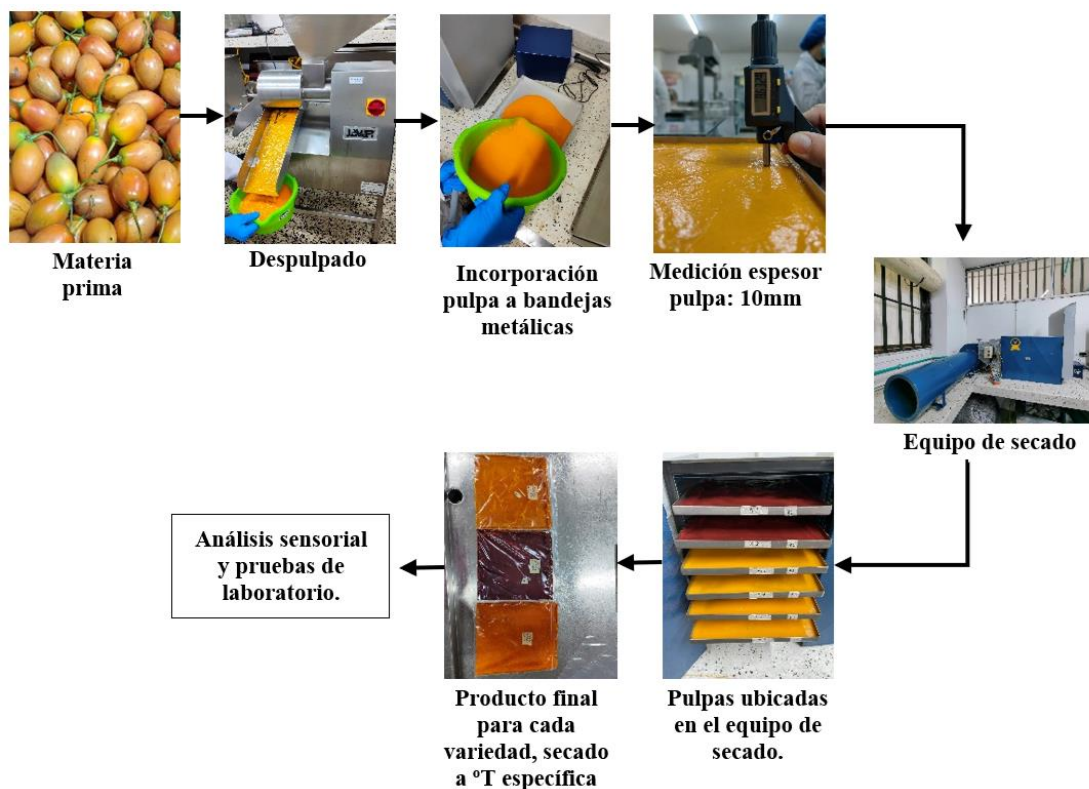
- Secado de pulpa en lámina (SPL)

Se elaboró conforme a lo estudiado por Cerquera (2006), utilizando un diseño experimental bifactorial de estructura 3X3, en donde el Factor 1 corresponde a la temperatura de deshidratación (tres niveles: tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 2 variedad de la fruta (tres niveles: amarillo, rojo y púrpura), con 3 repeticiones.

Se utilizó el equipo de secado estático, obteniendo las curvas de secado con aire forzado para diferentes condiciones de temperatura con una velocidad del aire de $5,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Así mismo, para analizar la cinética de secado se procedió de forma similar a lo descrito para la técnica de secado por aire caliente, como se aprecia en la Figura 7. La pulpa a secar se esparció de manera uniforme sobre la bandeja lisa con de aproximadamente 10 mm de espesor, bandejas con dimensiones de 0,30m x 0,265m x 0,015m, calibre 18, pertenecientes al equipo de secado tipo estático, con flujo de aire horizontal, paralelo a la disposición de las bandejas.

Figura 7.

Diagrama de proceso para secado de pulpa en lámina.



- **Fruta confitada (FC)**

Se efectuó un diseño completamente al azar de tres niveles que corresponden a la variedad de la fruta: amarillo, rojo y púrpura, con 3 repeticiones.

Se determinó el contenido de humedad en base húmeda inicial, se extrajo el mesocarpio cortándolo en trozos de aproximadamente 10 mm. Se preparó el jarabe de azúcar con una concentración de 35 °Brix, con adición de 0.5% de ácido cítrico y se calentó hasta punto de ebullición. Seguidamente se pesaron los trozos de fruta y se sumergieron en el jarabe con una relación fruta: jarabe de 1:1, dejando reposar durante 2 horas. Al final de esta etapa, se escurrió el almíbar, y se pesó la fruta. Al jarabe resultante se le agregó más sacarosa, para lograr una concentración de 50 °Brix, y de nuevo calentándolo hasta llegar a ebullición; se agregó este jarabe a la fruta obtenida en el paso anterior y se dejó en reposo por un nuevo período de 2 horas.

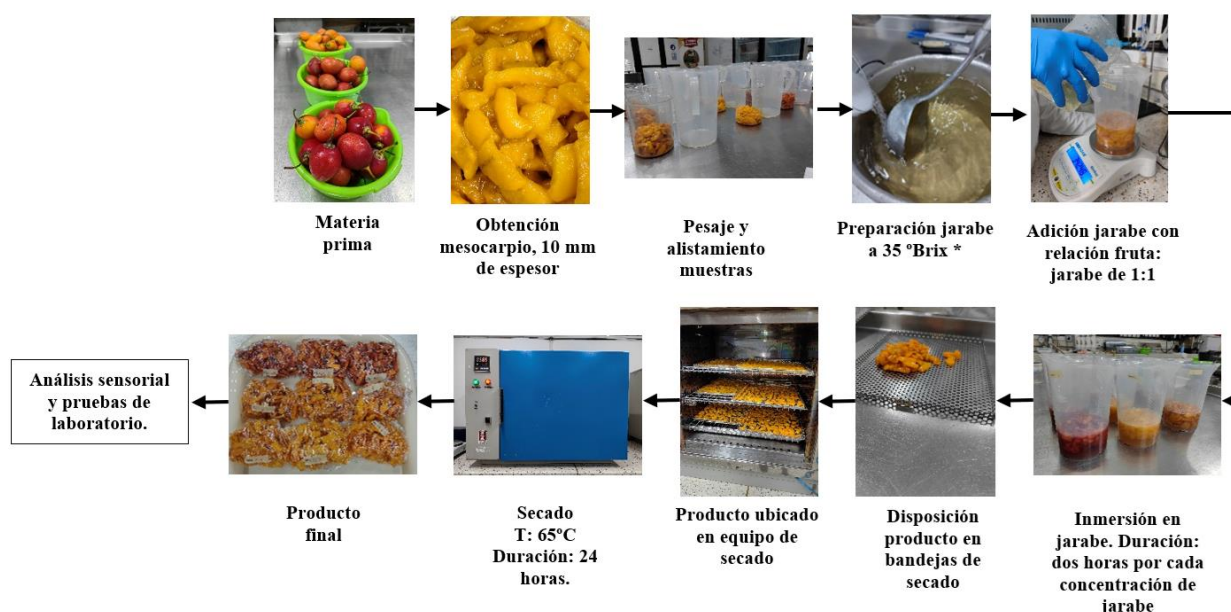
El proceso descrito se repitió con una concentración del jarabe de 60 °Brix, y con una concentración de 70 °Brix. En cada uno de los pasos en los que se retiró el jarabe de la fruta, esta fue debidamente pesada para, con esta información, posteriormente realizar las respectivas curvas. Se pesó la fruta resultante del proceso anterior y se sometió a secado a

una temperatura de 65 °C durante 24 horas, en un equipo secador con aire caliente. Transcurridas las 24 horas se pesó nuevamente la fruta.

Como último paso, se preparó un nuevo jarabe de concentración 70 °Brix, calentándolo hasta ebullición y seguidamente se vació sobre la fruta y se dejó reposar por 2 horas. Se sacó la fruta del recipiente de concentración y se pasó por un cernidor para eliminar el exceso de jarabe, para pesar la fruta y determinar la humedad final del producto. El proceso seguido para este tratamiento se presenta a continuación en la Figura 8.

Figura 8.

Diagrama de proceso para fruta confitada.



- **Nomenclatura para cada uno de los tratamientos, correspondiente al diseño experimental establecido.**

A continuación, en la Tabla 1, se presenta la nomenclatura empleada para cada uno de los tratamientos durante el desarrollo de la investigación, y su equivalente en el análisis estadístico con Statgraphics.

Tabla 1.

Nomenclatura utilizada para cada uno de los tratamientos de la investigación.

Tratamiento	Nomenclatura Statgraphics	Descripción
T111-P	P-T (°25)-NE-Amarillo	Pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad Amarilla.
T112-P	P-T (°25)-NE-Rojo	Pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad Roja.

Continuación tabla 1.

T113-P	P-T (°25)-NE-Purpura	Pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad Púrpura.
T121-P	P-T (°25)-E-Amarillo	Pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad Amarilla.
T122-P	P-T (°25)-E- Rojo	Pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad Roja.
T123-P	P-T (°25)-E-Púrpura	Pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad Púrpura.
T211-P	P-T (°65-70)-NE- Amarillo	Pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad Amarilla.
T212-P	P-T (°65-70)-NE-Rojo	Pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad Roja.
T213-P	P-T (°65-70)-NE-Púrpura	Pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad Púrpura.
T221-P	P-T (°65-70)-E-Amarillo	Pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad Amarilla.
T222-P	P-T (°65-70)-E-Rojo	Pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad Roja.
T223-P	P-T (°65-70)-E-Púrpura	Pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad Púrpura.
T111-DO	DO-T (°30)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Amarilla.
T112-DO	DO-T (°30)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Roja.
T113-DO	DO-T (°30)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Púrpura.
T121-DO	DO-T (°40)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Amarilla.
T122-DO	DO-T (°40)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Roja.
T123-DO	DO-T (°40)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Púrpura.
T131-DO	DO-T (°50)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Amarilla.
T132-DO	DO-T (°50)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Roja.
T133-DO	DO-T (°50)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Púrpura.
T211-DO	DO-T (°30)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Amarilla.
T212-DO	DO-T (°30)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Roja.

Continuación tabla 1.

T213-DO	DO-T (°30)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 30 °C, variedad Púrpura.
T221-DO	DO-T (°40)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Amarilla.
T222-DO	DO-T (°40)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Roja.
T223-DO	DO-T (°40)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 40 °C, variedad Púrpura.
T231-DO	DO-T (°50)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Amarilla.
T232-DO	DO-T (°50)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Roja.
T233-DO	DO-T (°50)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a osmodeshidratación a 50 °C, variedad Púrpura.
T111-SAC	SAC-T (°30)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Amarilla.
T112-SAC	SAC-T (°30)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Roja.
T113-SAC	SAC-T (°30)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Púrpura.
T121-SAC	SAC-T (°40)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Amarilla.
T122-SAC	SAC-T (°40)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Roja.
T123-SAC	SAC-T (°40)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Púrpura.
T131-SAC	SAC-T (°50)-M-Amarillo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Amarilla.
T132-SAC	SAC-T (°50)-M-Rojo	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Roja.
T133-SAC	SAC-T (°50)-M-Púrpura	Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Púrpura.
T211-SAC	SAC-T (°30)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Amarilla.
T212-SAC	SAC-T (°30)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Roja.
T213-SAC	SAC-T (°30)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad Púrpura.
T221-SAC	SAC-T (°40)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Amarilla.
T222-SAC	SAC-T (°40)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Roja.
T223-SAC	SAC-T (°40)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad Púrpura.

Continuación tabla 1.

T231-SAC	SAC-T (°50)-MS-Amarillo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Amarilla.
T232-SAC	SAC-T (°50)-MS-Rojo	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Roja.
T233-SAC	SAC-T (°50)-MS-Púrpura	Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad Púrpura.
T11-SPL	SPL-T (°30)-Amarillo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad Amarilla.
T12-SPL	SPL-T (°30)-Rojo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad Roja.
T13-SPL	SPL-T (°30)-Púrpura	Pulpa, sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad Púrpura.
T21-SPL	SPL-T (°40)-Amarillo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad Amarilla.
T22-SPL	SPL-T (°40)-Rojo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad Roja.
T23-SPL	SPL-T (°40)-Púrpura	Pulpa, sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad Púrpura.
T31-SPL	SPL-T (°50)-Amarillo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad Amarilla.
T32-SPL	SPL-T (°50)-Rojo	Pulpa, sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad Roja.
T33-SPL	SPL-T (°50)-Púrpura	Pulpa, sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad Púrpura.
T1-FC	FC-N/A-Amarillo	Fruta confitada, variedad Amarilla.
T2-FC	FC-N/A-Rojo	Fruta confitada, variedad Roja.
T3-FC	FC-N/A-Púrpura	Fruta confitada, variedad Púrpura.

Referencias

- Aguirre-López, A., López-Calvo, M., López-Calvo, S., y Taborda-Ocampo, G. (2023). Compuestos orgánicos volátiles presentes en el aroma de 17 frutas exóticas en Colombia: revisión. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9498730>
- Alvarado, A., Arroyo, A. G., Fournier, A. T., Sánchez, C., Villalta, M y Garro, G. (2003). Aspectos biológicos, usos agrícolas y medicinales del “tomate de palo” (*Cyphomandra betacea*). *Revista Tecnología en Marcha*. Volumen 16, número 4, p. 60-72. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1493
- Álvarez, I. S. (2023). Evaluación de la actividad antiinflamatoria de los compuestos bioactivos del tomate (*Solanum betaceum*), liberados durante la simulación de la digestión gastroduodenal in vitro (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato).

Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Maestría en Ciencia de los Alimentos). <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37196>

- Álvarez, R., Manzano, J., Materano, W y Valera, A. (2009). Caracterización química y sensorial del vino artesanal de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt). Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317-9152, Volumen 9, número 2, p. 436-441. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308591>
- Ayala, J., Vega, V., Rosas, C., Palafox, H., Villa, J., Wasim, M., Dávila, J y González, D. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit by products as a source of food additives. Food Research International 44 (7), p. 1866 – 1874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Birute, A., Juárez, E., Sieiro, E., Romero, L y Silencio J. L. (2009). Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber. Revista mexicana de pediatría, volumen 76 número 3. México, p. 136-145. <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2009/sp093h.pdf>
- Buitron, F., y Ruales, J. (2023). Desarrollo de una bebida soluble antioxidante con base en tomate de árbol (*Solanum betaceae*) para deportistas. Cedamaz, 13(1), 1-7. DOI: <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1721>
- Castro, N. L. M., Fernández, M. C., Carpio, E. R. V., Coello, W. M. E., & Bravo, V. P. B. (2022). Diseño de una bebida a base de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) y cascarilla de *Theobroma cacao* L (cacao). CIENCIA UNEMI, 15(40), 122-132. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp122-132p>
- Centeno, L. (2022). Efecto del deshidratado sobre la capacidad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum* cav.). <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7063>
- Cerquera, N. E. (2006). Determinación de variables de secado y diseño de un prototipo para deshidratación de pulpa de fruta en lámina. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia, p. 164. <https://repositorio.unal.edu.co/discover>
- Chalampunte, D y Prado, P. (2005) Caracterización morfoagronómica y molecular de la colección de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt) del banco de germoplasma del INIAP, Ecuador. Informe final de tesis, previa obtención del título de Ingeniera Agropecuaria. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, p. 157. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/488>
- Chávez, M. F. (2022). Evaluación fisicoquímica, sensorial y reológica de la mermelada de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2449>

- Delgado, I. S. Á., Chamorro, R. D. V., y Usca, I. R. T. (2022). Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Revista de Investigación Talentos, 9(2), 127-135. DOI: <https://doi.org/10.33789/talentos.9.2.175>
- Díaz, K., y Chuquizuta S. C. (2022). Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la capacidad antioxidante y el color del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado: Effect of temperature and drying time on the antioxidant capacity and color of dehydrated tree tomato (*Cyphomandra betacea*). Revista Ciencia Norandina, 5(1), 39-50. DOI: <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2021v5n1p39>
- Durán, M. G. y Moreno, M. J. (2000). Evaluación de algunas mezclas de solventes en la extracción de carotenoides de pericarpio de tamarillo. Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Volumen 3, número 1, p. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120009487646>
- Encalada, L. F. (2021). Elaboración de una bebida instantánea a base de suero de leche, pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y harina de maíz, mediante secado por aspersión. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37648/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Estrella, E. (1994). Plantas medicinales amazónicas: realidad y perspectivas. Recuperado el 28 de diciembre de 2016 de <https://es.scribd.com/doc/25020038/PLANTAS-MEDICINALES-AMAZONICAS>, p. 290.
- Estrella, M. Á. E., Abad, C., Ibarra, R. A. T., y Morocho, J. C. I. (2020). Formulación y evaluación de una pulpa mixta de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y naranjilla (*Solanum quitoense* L), con conservación química y térmica, en la parroquia Santa Rosa, Cantón El Chaco, Provincia de Napo. Revista Amazónica. Ciencia Y Tecnología, 9(2), 30-42. DOI: <https://doi.org/10.59410/RACYT-v09n02ep03-0131>
- Estupiñán Gutiérrez, C., y Herrera Rodríguez, L. V. (2022). Extracción de flavonoides a partir de los residuos del tomate de árbol. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9028>
- Falla, S. F., Forero, M. J., y Castro, J. K. (2024). Diseño, formulación y evaluación fisicoquímica de salsa Chutney a base de tres variedades de Tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia. Perspectivas de la investigación e innovación de la Ingeniería Agroindustrial en América Latina, 35. <https://www.redunia.org/wp-content/uploads/2024/02/ISBN-PERSPECTIVAS-1.pdf>

- Ferreira, I.J., y Luengo, E. (2007). La dieta como concepto terapéutico. Conceptos de alimento funcional y de nutraceutico. Situación actual de los alimentos funcionales y nutraceuticos. Aspectos legales. Capítulo del libro “Alimentos funcionales y nutraceuticos”, p. 1-11. <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- Guevara, H. M. (2022). Estudio de la actividad biológica y preferencia del Kéfir de lactosuero con aguaymanto (*Physalis peruviana*) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2737>
- Guevara, M. (2015). Formulación y diseño de una planta agroindustrial para la elaboración de tres productos a base de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas, Ecuador, p. 224. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4170/1/UDLA-EC-TIAG-2015-06%28S%29.pdf>
- Jiménez, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Nutrición Hospitalaria volumen 28, número 5, p. 1413 – 1421. DOI: <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6673>
- Lancheros Escobar, G. L. (2019). Caracterización de pectina de cáscara de tomate de árbol (*Solanum betacea*) para potencial uso alimentario. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/737
- León F., Juan F. (2003). El nutritivo y curativo tomate de árbol. Revista Desafío. SENACYT-FUNDACYT, Numero 7, ISSN: 13901397. Quito, Ecuador, p. 40-42.
- López, C. F., y Cabrera, F. B. (2021). Elaboración y comercialización de helados de crema a partir de dos frutos de la zona andina: babaco y tomate de árbol. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20613>
- Luengo, E. (2007). Alimentos funcionales y nutraceuticos. Sociedad Española de cardiología, Sección de cardiología preventiva y rehabilitación, España, p. 93. <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- Machado, S y Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera Indica L.*). Federal University of Viçosa, Department of Health and Nutrition, Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. Chapter 34. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00034-7>

- Maldonado, L. Y., y Yanza, E. G. (2013). Determinación del contenido de α -Tocoferol y β -Caroteno en el zumo y el liofilizado de tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Cav Sendt*). BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS, 10(2), 28-35. DOI: <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2012.82>
- Martínez Barrera, C. A. (2012). Efecto de la concentración y la temperatura en la deshidratación osmótica de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos). <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3158>
- Mera David, D. F., y Riascos Jojoa, E. F. (2017). Caracterización fisicoquímica y determinación de actividad antioxidante de cáscara de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/9471>
- Meza, N. y Manzano J. (2009). Características del fruto tomate de árbol (*Cyphomandra betacea (Cav.) Sent*) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Pampanito, Estado Trujillo. Venezuela. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308209>
- Moreno, M. (2023). Formulación y desarrollo de "coladas" vegetales de elevado valor nutricional a partir de materias primas autóctonas del departamento del Chocó (Colombia). Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/196524>
- Oscullo, P. D. C., y Logroño, F. A. N. (2022). Efecto de la cocción sobre la capacidad antioxidante del tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*). DOI: : <https://doi.org/10.53313/gwj51016>
- Pinzón, M., Vargas, L., y Castro, J. (2024). Desarrollo y Caracterización química de gomas comestibles con ingredientes de interés nutricional. Perspectivas de la investigación e innovación de la Ingeniería Agroindustrial en América Latina, 39. <https://www.redunia.org/wp-content/uploads/2024/02/ISBN-PERSPECTIVAS-1.pdf>
- Pinzón, M. I., Villa, C. C., y Nieto, J. A. (2011). Cambios de color y perfil aromático en soluciones osmóticas usadas en deshidratación osmótica de tomate de árbol. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 121-129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612011000200014&script=sci_arttext
- Reyes, R y Sanabria O. L. (1993). Tomate de árbol, *Cyphomandra betaceae (Cav) Sendt*. Etnobotánica No. 2. Consultado el 20 de diciembre de 2016 http://www.ibiologia.unam.mx/jardin/gela/page_13.html.
- Rojas Benites, D. S., Repo de Carrasco, R., y Encina Zelada, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar

- de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Revista de la Sociedad Química del Perú, 83(2), 174-186. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2017000200004&script=sci_arttext&tlng=pt
- Salazar-Lugo, R., Barahona, A., Ortiz, K., Chávez, C., Freire, P., Méndez, J., Bermeo, B., Santamaría, M., Salas, H., Oleas, M. (2016). Efecto del consumo de jugo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, Ecuador. Archivos latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Volumen 66, número 2, Ecuador, p. 121-127. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000200004
- Tigeros, J. A. (2023). Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja (Master's dissertation, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85235>
- Tito Pillaca, M. C. (2019). Evaluación comparativa de la capacidad antioxidante del fruto liofilizado de *Solanum betaceum* cav. (tomate de árbol) variedades rojo, amarillo y rojo-morado; y formulación de una crema antioxidante. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3675>
- Torres, A., Guinand, J., y Ineichen, E. (2014). Aplicación de secado osmótico para la obtención de un producto de humedad intermedia de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Revista de la Facultad de Agronomía, 40(3), 10-10. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/download/8672/8546
- Urbina Calero, W. R. (2019). Obtención de un extracto rico en carotenoides con capacidad antioxidante a escala de banco a partir de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería Bioquímica). <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30542/1/BQ%20205.pdf>
- Vargas, L., Pinzón, M., y Castro, J. (2024). Desarrollo y análisis de atributos físico-texturales de gomas comestibles con ingredientes de interés nutricional. Perspectivas de la investigación e innovación de la Ingeniería Agroindustrial en América Latina, 109. <https://www.redunia.org/wp-content/uploads/2024/02/ISBN-PERSPECTIVAS-1.pdf>
- Vásquez, N. L. (2023). Evaluación del Contenido de Vitamina C y Capacidad Antioxidante de un Néctar Mixto a partir de Zumos de Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*.) y Piña (*Ananas comosus*). <http://www.repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/379>

Capítulo 2

Metodologías para identificación de compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Resumen

En este capítulo se presentan las técnicas que se utilizan para la determinación de los compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), usando el sistema de detección espectrofotométrico UV – vis, y los valores identificados para cada uno de ellos, teniendo como base la información reportada en investigaciones publicadas, y algunas estadísticas bibliométricas sobre tendencias de investigación a nivel internacional respecto a compuestos bioactivos de interés en esta tesis doctoral.

Palabras clave: espectrofotometría UV-vis, análisis instrumentales, compuestos fitoquímicos.

1. Introducción

La identificación y caracterización de compuestos bioactivos presentes en frutas y hortalizas generan un campo de investigación de gran importancia, en razón a su potencial actividad biológica, con el objetivo de establecer posibles fuentes de ingredientes funcionales (Morales, 2012).

El tomate de árbol posee alto contenido de fibra, β -Caroteno, piridoxina, ácido ascórbico, vitamina E, pectina, hierro, potasio, magnesio, fósforo, alto contenido de aminoácidos libres y antioxidantes, y bajo nivel de calorías (Meza y Manzano 2009; Chalampunte y Prado, 2005). Es una fruta que presenta potencialidades para convertirse en un alimento funcional ya que además de nutrir, es capaz de producir, de manera demostrada, efectos metabólicos o fisiológicos que contribuyen a una buena salud física y a la reducción del riesgo de enfermedades (Ferreira y Luengo 2007).

Para la determinación de los compuestos presentes se deben seguir tres etapas: extracción, separación analítica y detección (Gómez, 2010). Para la caracterización y cuantificación de sustancias presentes en el producto a evaluar se utilizan técnicas de separación y sistemas de detección (García, 2016). Estos sistemas de detección se clasifican en detectores ópticos, electroquímicos y otros que abarcan la espectrometría de masas y radiometría (Gómez, 2009).

El detector óptico más utilizado para estudiar los compuestos bioactivos es el espectrofotómetro ultravioleta – visible (UV-vis), el cual es considerado un detector universal, en razón a que una gran cantidad de moléculas se absorben en una región del espectro electromagnético que comprende el intervalo entre los 200 y 800 nm (Quirantes, 2012; García, 2016). Dentro de las ventajas de utilización de este sistema se destaca que su detección es muy robusta siendo una herramienta muy útil para análisis cuantitativos; requiere patrones estándares específicos, y su bajo costo comparado con otros sistemas, su

rapidez y sencillez en el análisis, hace que su uso sea ampliamente extendido (Bélanger et al., 1997; Antolín y Meneses, 2000).

En este capítulo se muestran algunos de los protocolos empleados para evaluar la presencia y estabilidad de los compuestos bioactivos presentes en *Cyphomandra betacea* Sendt, utilizando sistema de detección UV – vis y los métodos oficiales de análisis de la Association of Official Analytical Chemists AOAC (1998). Adicionalmente, se presentan algunas estadísticas bibliométricas relacionadas con los compuestos bioactivos de interés en esta investigación doctoral.

2. El cultivo y sus problemas fitosanitarios

El tomate de árbol es originario de la zona oriental de los Andes y pertenece al grupo de los frutos semiácidos, conocido comercialmente como “tamarillo” (León y Viteri, 2004). Este cultivo es considerado una oportunidad o apuesta productiva, debido a su versatilidad para ser utilizado en la industria de alimentos (Villegas, 2012). La fruta posee cualidades físicas, nutritivas y organolépticas muy importantes para las unidades productivas de Colombia. Existen áreas cultivables en dieciocho departamentos del territorio nacional, con presencia en pisos térmicos frío, templado y cálido (Portilla, 2013).

Conforme a lo reportado por Acosta-Quezada et al. (2016) se diferencian cinco grupos para clasificar los frutos en cuanto a tamaño y forma: naranja, naranja puntiagudo, púrpura, rojo y rojo cónico. Para el año 2013, la producción de tomate de árbol ascendió a 161748 ton., convirtiendo a Colombia en el segundo productor de Suramérica, en donde Ecuador ocupa el primer lugar (Cámara de comercio de Bogotá, 2015). A pesar de su gran potencial y aceptación, el desarrollo del cultivo en cuanto al área sembrada es de 9223 ha, que es considerado como bajo (Agronet, 2011). Esta situación se debe a que no existe una homogeneidad en el material biológico semilla, ya que los agricultores hacen su propia selección con especies locales (Lagos et al., 2013), ocasionando problemas de adaptación por un descontrolado cruzamiento entre las variedades, reflejando problemas de diversidad de tamaño y forma de los frutos (Lobo, 2000).

Los problemas fitosanitarios a los que se enfrenta este cultivo son amplios, en razón a la evolución asociada entre los cultivares y los agentes patógenos, a la baja selección del mejor material genético y al desconocimiento de origen de las semillas utilizadas en los cultivos (Lagos, 2008, citado por Lagos et al., 2013). Según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuaria INIAP (2008), en Ecuador las afectaciones a las que se expone el fruto por acción de microorganismos son antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), fusariosis (*Fusarium oxysporum*) y mancha anillada (*Phoma*).

Para las variedades vegetales existentes en Colombia, se han generado reportes de investigaciones acerca de otras enfermedades características de estos cultivos. Estas fueron consolidadas por López-Cardona y Castaño-Zapata (2013), y abarca estudios como los mostrados por Buriticá (1999); Ayala (2009); Ayala et al. (2010) y Rodríguez (2009) quienes plantean como enfermedad a la Mancha anillada (*Phoma* sp. Sacc.), y propusieron

otros dos patógenos que ocasionan la Antracnosis de los frutos causando pérdidas considerables (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. y *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds), además de virosis causada por el Virus de la papa Y (PVY) y el Virus de malformación en la hoja de Tamarillo (TaLMV); Cenicilla (García et al., 2008), causada por *Oidium* sp. Link, la cual afecta al cultivo en períodos secos y cálidos; en el ámbito de las enfermedades causada por nemátodos se destaca “Nudo de la raíz (*Meloidogyne* sp. Goeldi)”, que destruye lentamente los cultivares en las zonas productoras (Tamayo, 2001; Tamayo, 2003).

En lo concerniente a enfermedades de origen bacteriano, se resalta la *Ralstonia solanacearum* (Smith) publicada por Carreño et al. (2007), como causante de la “Dormidera”, una enfermedad importante en el país debido a que limita el aumento del área sembrada del cultivo y a la magnitud de pérdidas que ocasiona, si no es controlada (Bernal y Díaz, 2003). Por último, el insecto que más ataca directamente al fruto es el “Chinche foliado (*Leptoglossus zonatus*)” aumentando las pérdidas postcosecha debido a su asociación de deterioro con la antracnosis, generando lesiones circulares de color negro que pueden llegar a cubrir todo el fruto (Revelo, 2011).

3. Usos nutricionales y funcionales

En la actualidad hay una creciente demanda de alimentos nutritivos y terapéuticos basados en compuestos biológicos y fitoquímicos que generan expectativa en el mejoramiento de la calidad de vida del consumidor, reduciendo el riesgo de enfermedades y promoviendo su tratamiento con métodos alternativos (Jiménez, 2013).

Cuando los componentes de los alimentos o partes del mismo aportan un beneficio adicional para la salud incluso para la prevención y tratamiento de enfermedades se concluye que el alimento posee una “Propiedad nutraceutica” (Luengo, 2007). El consumo de material vegetal entre ellos de frutas, generan la reducción del riesgo de enfermedades crónicas (Birute et al., 2009). La ingesta de frutas atrae la atención de la comunidad científica, debido a que los compuestos bioactivos presentes muestran beneficios en la prevención de las dolencias humanas (Machado y Schieber, 2010). Estos compuestos poseen efectos antimicrobianos lo que indica que las frutas tienen una función de protección frente a los agentes patógenos (Ayala et al., 2011).

Los principales usos de carácter terapéutico del tomate de árbol se documentan en investigaciones reportadas por Salazar-Lugo et al. (2016), quienes evaluaron el efecto del consumo del jugo sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, observando una disminución significativa de colesterol total y glucosa, sin alteraciones en la salud digestiva; la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2006), citado por Guevara (2015), afirmó que el consumo de la fruta fresca fortalece el cerebro, contribuyendo al alivio de cefaleas severas y migrañas, así como una reducción en la tensión arterial; en Colombia y Ecuador se utilizan en el tratamiento de gripe, amigdalitis y en Jamaica y Bolivia para controlar problemas hepáticos (León y Juan, 2003; Reyes, 1993, citado por Álvarez et al., 2009);

Alvarado et al. (2003) resumieron que en la medicina tradicional utilizan todas las variedades comestibles de esta especie para curar heridas, llagas, como desparasitante, afecciones en la piel y mordeduras de animales. Reyes y Sanabria (1993) destacan usos terapéuticos para tratar diabetes, reumatismo y fiebre intestinal; Adicionalmente, los frutos poseen compuestos fitoquímicos útiles en la disminución de incidencia del cáncer y la inactivación de radicales libres producidos en el metabolismo celular (Estrella, 1994; Durán y Moreno, 2000).

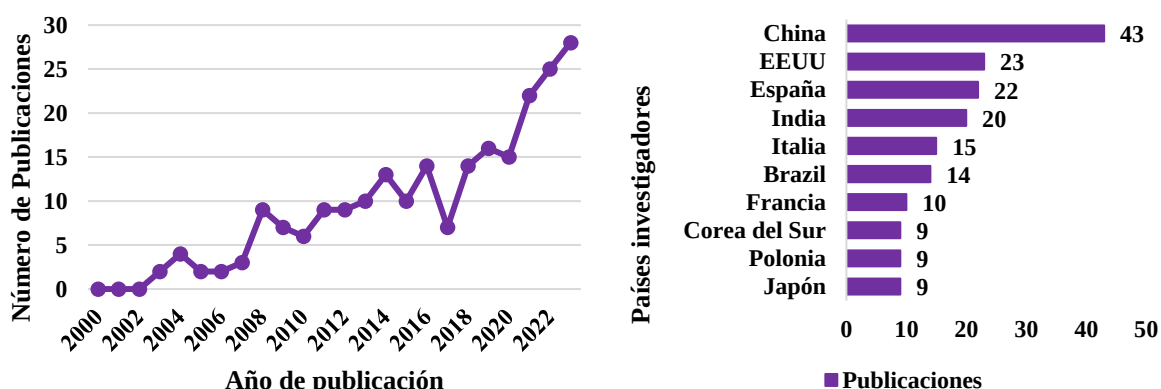
4. Análisis instrumental para determinación de compuestos bioactivos

Existen diferentes tipos de análisis aplicables a los alimentos entre ellos análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial. Allí, dentro del análisis fisicoquímico, se desagrega el análisis instrumental. De acuerdo con Zumbado (2021) las técnicas de análisis instrumental son una serie de métodos modernos para obtener información cualitativa y cuantitativa sobre composición y estructura de la materia, mediante el uso de equipos de medición sofisticados para la separación y determinación de compuestos químicos.

En la figura 9 se puede observar el número de publicaciones y los países investigadores, en relación a la búsqueda “Análisis instrumental” en un periodo comprendido entre los años 2000 y 2023. Esta información fue consultada en la base de datos Web of Science, WoS, y se destaca que el 52,9% de los artículos de investigación y revisión, han sido publicados en los últimos seis años. En general, la tasa de crecimiento anual en las publicaciones es de 13,4%. Respecto a los países investigadores, el 76,7% de las publicaciones reportadas hacen parte de este consolidado. En ese sentido China con un 18,9%, aporta sus resultados de las investigaciones, así como Estados Unidos con 10,1% y España con un 9,7%.

Figura 9.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Análisis instrumental”.



De forma complementaria, al revisar las estadísticas correspondientes a principales investigadores que se consolidan en la tabla 2, se observa que el 60% de los autores se encuentran adscritos, según su filiación, a Institutos ubicados en Japón como el Instituto

de Investigación Agrícola y Forestal de la Prefectura de Shizuoka y la Universidad de Shizuoka, seguido de China en un 20% en la Universidad de Xiamen y el Instituto de Tecnología de Nanjing, España y Australia con un 10% en las Universidades de La Rioja y Monash respectivamente.

Es importante resaltar que Jicheng Liu, es el autor que posee el mayor número de citas y sus tres publicaciones científicas hacen parte de las 43 publicaciones reportadas en WoS para China generando 2617 citas y un índice H de 27 para este autor en la temática “Análisis instrumental”. Seguidamente Vilanova, mar, presenta 2135 citas, aportando seis de las 22 publicaciones reportadas para España, con un índice H de 27 para este autor. Por último, dentro de los tres autores con mayor índice H se encuentra Sun, Yong-Xu con un total de 1938 citas, aportadas por sus cuatro publicaciones reportadas en investigaciones adelantadas en la Universidad de Xiamen, China. Sin embargo, ninguno de estos autores ha realizado investigaciones en Tomate de árbol.

Tabla 2.

Principales investigadores en análisis instrumental de alimentos

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Vilanova, mar	6	2135	27	Universidad de La Rioja
Sun, Yong-Xu	4	1938	25	Xiamen University
Oyoizumi, Tomoyasu	4	272	9	Shizuoka Prefectural Res Inst Agr & Forestry
Ikegaya, Atsushi	4	103	5	Shizuoka Prefectural Res Inst Agr & Forestry
Nagafuji, Akihiko	3	12	2	Shizuoka Prefectural Res Inst Agr & Forestry
Arai, Eiko	3	652	14	University of Shizuoka
Kosugi, Toru	3	69	4	Shizuoka Prefectural Res Inst Agr & Forestry
Yamazaki, Shigehiro	3	7	2	Shizuoka Prefectural Res Inst Agr & Forestry
Song, Lu yang	3	128	7	Monash University
Jicheng Liu	3	2617	27	Nanjing Institute of Technology

NP: número de publicaciones; NC: número de citas

5. Compuestos fitoquímicos presentes en el fruto

Los compuestos fitoquímicos más comunes presentes en frutas tropicales son las vitaminas C y E, carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietaria (Cárdenas et al., 2015). Los frutos de tomate de árbol contienen ácido ascórbico, provitamina A, carotenoides y vitamina B6, y posee una alta actividad antioxidante (Vasco et al., 2009; Acosta-Quezada et al., 2015; Espin et al., 2016, citados por Acosta-Quezada et al., 2016).

Las investigaciones que validan la presencia de este tipo de compuestos en el tomate de árbol, metodología de análisis instrumental y los valores encontrados en algunas variedades de la fruta, se describen a continuación:

5.1 Proteínas

Las proteínas son macromoléculas que realizan la mayoría de las funciones celulares. Hacen parte de la estructura básica de tejidos, desarrollan funciones metabólicas y de regulación, permitiendo la asimilación de nutrientes, transporte de oxígeno y lípidos en la sangre, eliminación de materiales tóxicos, así como la regulación de vitaminas liposolubles y minerales (González-Torres et al., 2007). Según Torres, (2012). Para la determinación de este parámetro, en Colombia se utiliza la norma técnica colombiana NTC 1055 basada en el método AOAC 954.01. El contenido de proteína en el fruto de tamarillo es de $1,78 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1}$ de parte comestible; para variedades cultivadas en Ecuador y Guatemala se registran valores de $1,50 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1}$ y $2,00 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Carrera, 2013; Avilés, 2012).

5.2 Fibra dietaria total

De acuerdo con Repo de Carrasco y Encina (2008), el tomate de árbol contiene alta cantidad de fibra y podría ser utilizado en alimentos nutraceuticos. Su importancia radica en que la fibra alimentaria aporta beneficios para la salud entre los que se resaltan la reducción del nivel de colesterol en sangre, protección contra diferentes enfermedades, como las cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. Los contenidos de fibra reportados para este fruto son $4,10 \text{ g} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Torres, 2012) y el método oficial utilizado para su análisis proximal es el AOAC 962.09.

5.3 Pectina

Las pectinas forman un grupo de polisacáridos ricos en ácido galacturónico y, en menor cantidad, ramnosa, arabinosa y galactosa (Rodríguez-Palenzuela et al., 1998). El método de extracción más utilizado es hidrólisis ácida (Páez et al., 2005). Las sustancias pécticas constituyen un factor determinante de la textura y firmeza, y por tanto de la calidad del producto. Para *Cyphomandra betacea* Sendt, Torres (2012) encontró un valor de $1,0 \text{ g}$ de Pectato de calcio $\cdot (100\text{g})^{-1}$ con un contenido de ácido galacturónico (AUA) de $86,16 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, grado de metoxilo de $11,06 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ y de esterificación (DE) de 71%. El uso de pectinas está muy desarrollado en la industria de transformación de frutas debido a su propiedad funcional de gelificación en medio ácido azucarado (INIAP, 2008).

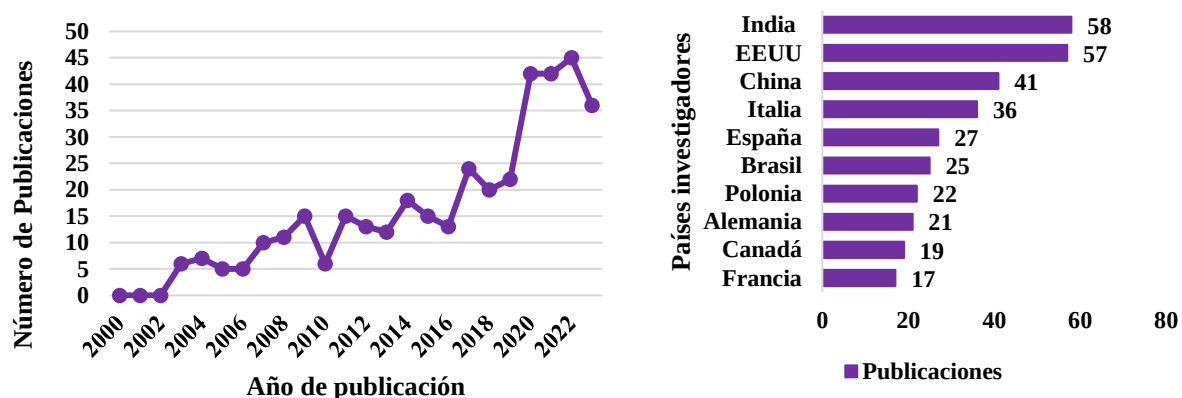
5.4 Ácido ascórbico

Es un nutriente esencial para los mamíferos, debido a que es necesario en las reacciones metabólicas (Avilés, 2012). Su determinación en laboratorio se hace por el método de titulación con 2,6 diclorofenol indofenol (James, 1995), expresado como $\text{mg ácido ascórbico} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$. Los valores encontrados para el tomate de árbol son de $23,32 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Torres, 2012); $16,09 \text{ mg ácido ascórbico} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Repo de Carrasco y Encina 2008); $29,00 \text{ mg ácido ascórbico} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Avilés, 2012). El ácido ascórbico o vitamina C es considerado un ácido orgánico y un antioxidante, hidrosoluble sensible al calor y a la oxidación. Debido a esto, los procesos térmicos deben ser cortos para evitar pérdidas considerables de este compuesto (Torres, 2006).

En la temática “Ácido ascórbico”, la figura 10 indica que el 54,2% de las publicaciones, fueron reportadas en los últimos seis años. La tasa de crecimiento anual de las publicaciones es de 8,9%, destacándose que los diez países que más publican conforman el 84,6% del total de publicaciones presentes en WoS. En cuanto a la tendencia de investigaciones adelantadas, India lidera con un 15,2%, Estados Unidos, 14,9% y China con un 10,7%.

Figura 10.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Ácido ascórbico”.



En cuanto a los principales investigadores, mostrados en la tabla 3, se observa que el 20% de los autores realizan investigaciones, según su filiación, en Países bajos, exactamente en la Universidad de Wageningen, al igual que Sudáfrica y España cada una con 20%, en la Universidad de Kwazulu Natal y Universidad de Granada respectivamente.

Tabla 3.

Principales investigadores del compuesto “Ácido ascórbico”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Amarowicz, Ryszard	3	11649	58	Polish Academy of Sciences
Brooks, Marianne Su-Ling	3	1795	24	Dalhousie University
Fernandez-Gutierrez, Alberto	3	14357	65	University of Granada
Dekker, Matthijs	3	8086	45	Wageningen University
Carretero, Antonio Segura	3	20445	75	University of Granada
Tesfay, Samson Z.	3	1353	20	University of Kwazulu Natal
Magwaza, Lembe S	3	2978	28	University of Kwazulu Natal
Mellidou, IFIGENEIA	3	1089	17	Hellen Agricultural Org
Saini, RAMESH KUMAR	3	4140	32	Konkuk University
Van Boekel, Martinus A.J.S.	3	13208	61	Wageningen University

Adicionalmente, de la tabla 3 sobresale el número de citas alcanzadas por el autor Carretero, Antonio, quien alcanza 20445 citas con tres publicaciones científicas en esta base de datos y un índice H de 75, seguido de Fernandez-Gutierrez, Alberto con 14357 citas, con un índice H de 65 y Van Boekel, Martinus A.J.S. quien suma 13208 citas y 61 de índice H, igualmente con tres publicaciones. No se reportan publicaciones relacionadas con el contenido de ácido ascórbico en tomate de árbol por parte de estos diez investigadores.

5.5 Licopeno

Es un carotenoide altamente lipofílico que se caracteriza por carecer de anillos cíclicos y poseer once dobles enlaces conjugados, de estructura sencilla con una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono (Nguyen y Schwartz, 1999 citado por Ordóñez et al., 2009). Según Cardona et al., (2006) el licopeno posee mayor poder antioxidante que el β -caroteno, y se utiliza en productos cosméticos con gran potencial comercial, que, además, brindan cuidado y prevención de enfermedades de la piel causadas por el alto nivel de contaminación del medio ambiente y la exposición directa a los rayos del sol. Para el tomate de árbol se encuentran valores reportados de $1,22 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (Torres, 2012) y la identificación de este compuesto se hace fundamentalmente por dos métodos: Cromatografía líquida de alta eficacia, HPLC (Lenucci et al., 2006) y la espectroscopía UV visible a 473 nm (Sánchez-Machado et al., 2012).

5.6 Antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos de color rojo, hidrosolubles, ampliamente distribuidos en las especies vegetales (Fennema, 1993 citado por Aguilera-Ortiz et al., 2011). Estos pigmentos están siendo incorporados como colorantes alimenticios, además de mejorar la apariencia total, son muy benéficos para la salud humana. Diversos estudios presentan evidencia científica que los extractos ricos en antocianinas pueden mejorar la agudeza visual, mostrar actividad antioxidante, atrapar radicales y actuar como agentes quimioprotectores (Aguilera-Ortiz et al., 2011). La cuantificación de antocianinas se efectúa por el método de pH diferencial (Pastrana, 2003; Pastrana-Bonilla et al., 2017 y Torres, 2012). Este es un procedimiento espectrofotométrico que se basa en la transformación estructural de las antocianinas con el cambio de pH (Torres, 2012) y midiendo la absorbancia de cada muestra a la longitud de onda máxima ($\lambda_{\text{max}}=515 \text{ nm}$) y a 700 nm (Pastrana, 2003). El contenido de antocianinas totales presente en el tamarillo es de $0,29 \text{ mg cianidina } 3\text{-glucósido} \cdot \text{g}^{-1}$, conforme a lo investigado por Torres (2012).

Al realizar la revisión de número de publicaciones y países investigadores en la temática antocianinas totales, se observa en la figura 11 que el 48,2% de las publicaciones, se dieron a conocer en los últimos seis años en WoS.

La tasa de crecimiento anual de las publicaciones es de 14,4%, haciendo énfasis en que los diez países que más publican conforman el 73,1% del total de publicaciones, siendo

Estados Unidos quien lidera este ranking con un 13,1%, seguido por Brasil y China con porcentajes de, 11,9% y 11,8% respectivamente.

Figura 11.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Antocianinas totales”.

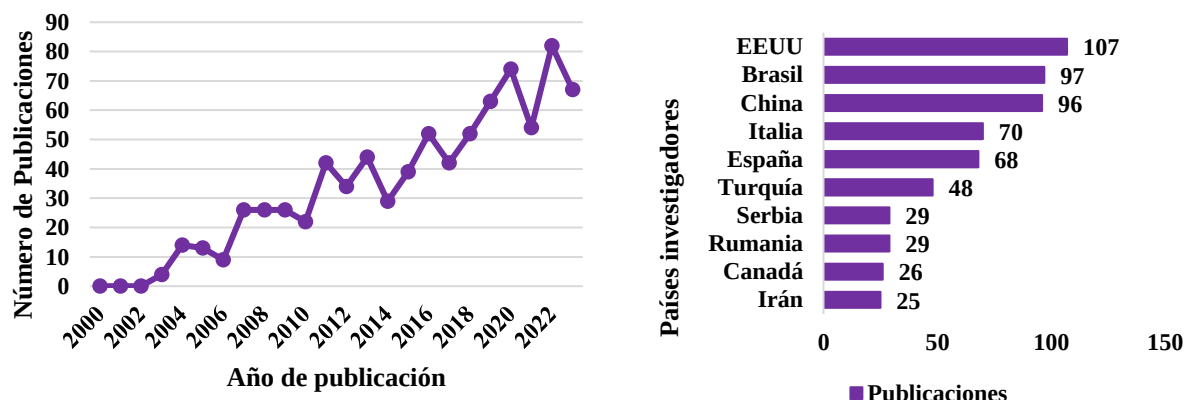


Tabla 4.

Principales investigadores del compuesto “Antocianina”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Ercisli, Sezai	19	11354	56	Ataturk University
Daniel Valero	13	9496	58	Universidad Miguel Hernández de Elche
Serrano, María	12	9313	57	Universidad Miguel Hernández de Elche
Poni, Stefano	11	4808	38	Catholic University of the Sacred Heart
Guillén, Fabian	11	6143	46	Universidad Miguel Hernández de Elche
Wang, S. Y.	10	1987	25	University at Weihai
Howard, Luke	10	18924	77	Brunel University
Castillo, Salvador	9	5362	43	Universidad Miguel Hernández de Elche
Veberic, Robert	9	7403	46	University of Ljubljana
Mikulic-Petkovsek, Maja	9	6426	42	University of Ljubljana

Revisando la información consolidada en la tabla 4, el 40% de los autores realizan investigaciones en la Universidad Miguel Hernández de Elche, España, la Universidad de Liubliana en Eslovenia con dos autores (20%) y el resto de Universidades, con un autor.

En cuanto al número de publicaciones, Ercisli, Sezai cuenta con 19 publicaciones, Daniel Valero con 13 y Serrano, María con 12. Sin embargo, el número de citaciones más alto en esta temática lo presenta Howard, Luke de la Universidad de Brunel, en Reino Unido, quien además tiene un índice de citación H de 77, el cual es el más alto en este escalafón de principales investigadores. Igualmente se evidenció que los autores no

reportan publicaciones respecto al contenido de antocianinas presentes en tomate de árbol, en ninguno de los diez casos.

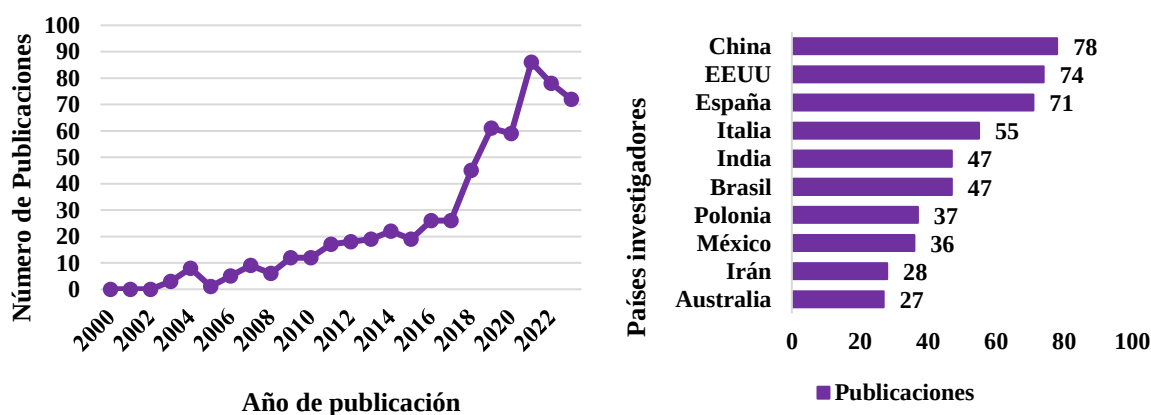
5.7 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es el resultado de la acción conjunta de diferentes antioxidantes presentes en los alimentos vegetales (Carrera, 2013). Estos procesos de manera celular están dados por mecanismos a través de los cuales la célula anula la reactividad e inhibe la generación de radicales libres (Avello y Suwalsky, 2006). Torres, (2012) encontró valores de EC_{50} $165 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DPPH}$; Repo de Carrasco y Encina (2008), 853 g equivalente trolox $\cdot \text{g}^{-1}$ de tejido DPPH y 838 g equivalente trolox $\cdot \text{g}^{-1}$ de tejido ABTS para el tomate de árbol en pulpa fresca. Pastrana (2004) y Lorente (2015), implementaron el ensayo de capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC), utilizando el método del radical catión $ABTS^{*+}$ (Ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzoatiazolin) -6-sulfónico). La absorbancia se mide a 734 nm en un espectrofotómetro UV/Visible y los resultados se deben expresar en milimoles de Trolox equivalente $(TE)^* (100 \text{ g})^{-1}$.

La figura 12 presenta las tendencias de publicaciones en la temática capacidad antioxidante según información recolectada y disponible en WoS. La tasa de crecimiento anual es de $16,34\%$ y, en los últimos seis años se han publicado el $66,4\%$ de los documentos científicos consolidados en esta base de datos. En coherencia con ello, los países investigadores que se encuentran en los diez primeros lugares conforman el $82,9\%$ del total de países que publican en este tópico, siendo China con un $12,9\%$ quien más aporta artículos científicos, seguido de Estados Unidos con $12,3\%$ y España con $11,8\%$ respectivamente.

Figura 12.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Capacidad antioxidante”.



En esa misma línea, se indica en la tabla 5 que, los principales investigadores tienen filiación con Universidades españolas, es decir, un 50% de ellos se encuentran adscritos principalmente a las Universidades de Granada, Sevilla o Europea del Atlántico. Adicionalmente, Italia, con un 30% y Ecuador e India con un 10% cada uno.

Tabla 5.
Principales investigadores de “Capacidad antioxidante”

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Giampieri, Francesca	10	12844	51	Universidad Europea del Atlántico
Battino, Maurizio	10	23567	72	Marche Polytechnic University
Mezzetti, Bruno	8	7294	44	Marche Polytechnic University
Alvarez-Suarez, Jose M	6	5512	39	Universidad San Francisco de Quito
Asuero, Agustin G.	6	3316	26	University of Sevilla
Quiles, José L.	5	10841	56	University of Granada
Gasparrini, Massimiliano	5	4028	37	Marche Polytechnic University
Forbes Hernandez, Tamara	5	5226	42	University of Granada
Saez-Plaza, Purificacion	4	613	6	University of Sevilla
Pandiselvam, R.	4	3414	33	Central Plantation Crops Research Institute

Por otra parte, al revisar las publicaciones del autor Álvarez-Suarez, José M, se pudo corroborar que, siendo un investigador adscrito a una Universidad ecuatoriana, ha centrado sus investigaciones en fresas (*Fragaria*), moras (*Rubus glaucus Benth*) y mieles, en todo lo relacionado a sus propiedades nutraceuticas. Respecto al número de publicaciones, es notoria la participación de Battino, Maurizio, quien ostenta 23567 citaciones y un índice de citación H de 72, y Giampieri, Francesca, también cuenta con 10 publicaciones, con un índice H y número de citaciones menor.

5.8 Fenoles totales

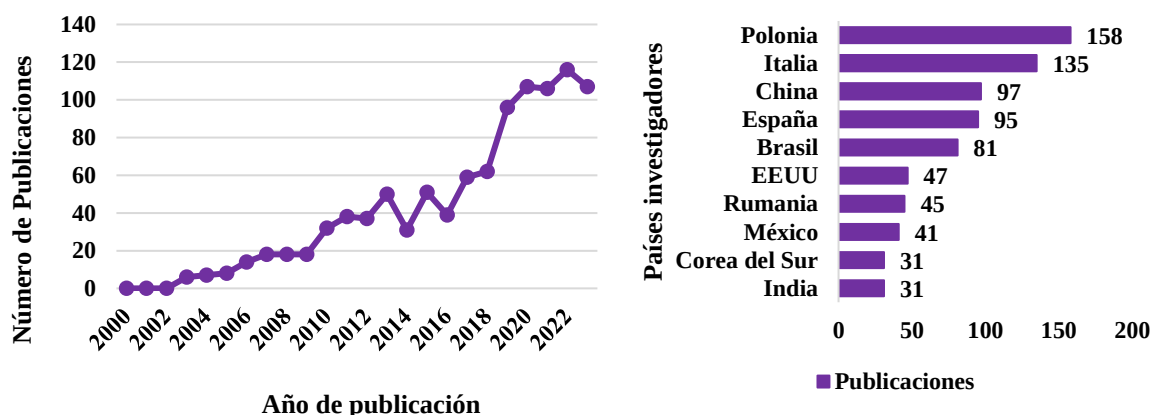
Los fenoles representan un numeroso grupo ampliamente distribuido en la naturaleza y son de vital importancia en la dieta humana (Gracia, 2007). El término polifenoles totales se refiere a la cuantificación analítica del contenido de todos los compuestos polifenólicos presentes en una muestra. Para cuantificar el contenido de dichos compuestos, se emplea el reactivo Folin-Ciocalteu el cual mide la capacidad que tienen los polifenoles para reducir el Mo (VI) a Mo (V). Como resultado de tal reducción, el reactivo, de color amarillo, adquiere un intenso color azul, el cual es cuantificado espectrofotométricamente a 765 nm (Martínez, Segovia y López, 2015). Para tomate de árbol, Torres (2012) encontró polifenoles con un valor de $1,39 \text{ mg ácido gálico} \cdot (100\text{g})^{-1}$ y Taninos de $0,40 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$; Repo de Carrasco y Encina (2008) encontraron fenoles totales $130 \text{ mg de equivalente ácido gálico} \cdot (100\text{g})^{-1}$.

Finalmente, la figura 13 indica la revisión bibliométrica para publicaciones asociadas al término polifenoles totales. La tasa de crecimiento anual de publicaciones científicas es de 14,71% siendo el año 2022 el que más publicaciones presenta con 116 publicaciones conformadas por artículos científicos y artículos de revisión. En los últimos seis años se han publicado el 58,2% del total de publicaciones disponibles para consulta en WoS. Agregando a lo anterior, que el 74,6% de las publicaciones son reportadas por los diez países que más publicaciones tienen en esta base de datos. Polonia encabeza el listado

con 158 publicaciones, equivalentes a un 15, 5%, Italia con 135 publicaciones y China con 97 publicaciones.

Figura 13.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Polifenoles totales”.



Respecto a la información presentada en la tabla 6, correspondiente a los principales investigadores en la temática polifenoles totales, el 30% de ellos poseen filiación con una Universidad ubicada en Polonia, dos países aportan investigadores cuya filiación es España o Corea del Sur y los restantes se ubican en universidades de Lituania, Israel y Jerusalén. En cuanto al número de publicaciones y citas, lidera Gorinstein, Shela con un total de 24 publicaciones y 10324 citas. En el caso de esta investigadora presenta el índice H más alto de los diez principales investigadores. En contraste con ello se encuentra Carbonell-Barrachina, Ángel A, quien, teniendo la mitad de las publicaciones, es decir 12, el número de citas es de 9473 y el índice H de 53. Por último, se aprecia que ninguno de estos investigadores ha publicado resultados científicos sobre tomate de árbol.

Tabla 6.

Principales investigadores de “Polifenoles totales”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Gorinstein, Shela	24	10324	56	Hebrew University of Jerusalem
Wojdyło, Aneta	18	7658	46	University of Wroclaw
Park, Yong Seo	16	3308	33	Mokpo National University
Hernández, Francisca	14	4038	37	Universidad Miguel Hernández de Elche
Trakhtenberg, S	14	4524	40	Kaplan Medical Center
Carbonell-Barrachina, Ángel A.	12	9473	53	Universidad Miguel Hernández de Elche
Hallmann, Ewelina	12	1616	22	Vytautas Magnus University
Jung, Soon-Teck	12	1359	20	Mokpo National University
Leontowicz, Hanna	11	3079	33	Warsaw University of Life Sciences
Drzewiecki, Jerzy	11	1139	18	Institute of Plant Breeding & Acclimatization

5.9 Ácido gamma aminobutírico (GABA)

Es un nutriente esencial que contiene beneficios notorios para la salud (Ding et al., 2016). Es esencial para el normal funcionamiento del cuerpo humano. Tiene varias funciones útiles: actúa como un tranquilizante debido a que es muy eficaz en la prevención del estrés y ansiedad, regula los impulsos nerviosos y ayuda a mantener el tono muscular, aumenta los niveles de hormonas de crecimiento, descompone las grasas corporales, es importante en la nutrición de los bebés, controla la presión arterial alta y es eficaz en la reducción de la artritis crónica (Kalueff y Nutt, 2007). Los estudios realizados por algunos investigadores afirman que existe presencia de este ácido en la composición del tomate de árbol (Lara, 2016; Crespo y Abad, 2007; Tabares y Velásquez, 2003; Sagñay, 2010), pero no se reportan los valores encontrados para este compuesto. Se mide mediante espectrofotometría UV a 254 nm, utilizando sílice modificado con norvancomicina, como estándar de referencia (Guillén, 2012).

5.10 Contenido de minerales

Los requerimientos en la dieta alimentaria de minerales en el ser humano varían desde pocos microgramos por día hasta un gramo por día (Fernández et al, 2007). Las frutas y hortalizas componen la fuente más económica de vitaminas y minerales (Avilán y Leal 1997). Torres, 2012 reporta los siguientes minerales en tomate de árbol: PO_4 : 331,32 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, Ca: 21,25 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, Mg: 21,18 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, K: 17,03 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, Fe: 7,44 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, Zn: 1,53 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$, Mn: 0,11 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$. Su identificación se efectúa con un espectrofotómetro de absorción atómica, de acuerdo a lo descrito en la AOAC 942.05.

6 Conclusiones

Se presentan algunos de los métodos empleados para evaluar la presencia y estabilidad de los compuestos bioactivos presentes en *Cyphomandra betacea* Sendt, utilizando el sistema de detección UV – vis y los métodos oficiales de análisis de la AOAC.

Cuantificar la variación en el contenido de los compuestos bioactivos en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), permitirá implementar y evaluar técnicas que posibiliten retener la mayor concentración de sustancias benéficas, incluso cuando sea sometido a procesos agroindustriales.

Referencias

- Acosta-Quezada, P. G., Riofrío-Cuenca, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. Journal Scientia Horticulturae Volumen, p. 216–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.045>
- Acosta-Quezada, P.G., Raigón, M.D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M.D., Plazas, M., Burneo, J.I., Figueroa, J.G., Vilanova, S., 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 Chem. 169, p. 327–335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.152>
- Agronet. (2011). Producción de tomate de árbol en el departamento de Nariño. Red de información y comunicación del Sector Agropecuario Colombiano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Bogotá, Colombia, p. 3.
- Aguilera-Ortiz, M., del Carmen Reza-Vargas, M., Chew-Madinaveita, R. G., y Meza-Velázquez, J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. BIOTecnia, 13(2), p. 16-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971155002>
- Alvarado, A., Arroyo, A. G., Fournier, A. T., Sánchez, C., Villalta, M y Garro, G. (2003). Aspectos biológicos, usos agrícolas y medicinales del “tomate de palo” (*Cyphomandra betacea*). Revista Tecnología en Marcha. Volumen 16, número 4, p. 60-72. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1493
- Álvarez, R., Manzano, J., Materano, W y Valera, A. (2009). Caracterización química y sensorial del vino artesanal de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendth). Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317-9152, Volumen 9, número 2, p. 436-441. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308591>
- Antolín, I. P., y Meneses, M. M. (2000). Application of UV-visible spectrophotometry to study of the thermal stability of edible vegetable oils. Grasas y Aceites, Vol 51(6), p. 424-428. DOI: <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i6.461>
- Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, Edited by Patricia Cunniff, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Avello, M., y Suwalsky, Mario. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. Atenea (Concepción), (494), p. 161-172. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Avilán, L y Leal, F. Y. (1997). Situación de la fruticultura en Venezuela: un análisis. Rev. Fac. Agron. UCV (Venezuela), 23(1), p. 1-30. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/11785/1/situaci%C3%B3n%20de%20la%20fruticultura.pdf>
- Avilés, K. (2012). Estudio del proceso de rehidratación de tomate de árbol deshidratado (*Solanum betaceum* Cav) variedad anaranjado gigante. Tesis de grado previa a la obtención del título de Bioquímico farmacéutico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, p. 100. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2017>

- Ayala, M. (2009). Caracterización del Potyvirus asociado a la virosis del tomate de árbol en Antioquia. Trabajo de grado presentado para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional, sede Medellín, p. 96. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/28050>
- Ayala M., González P, Gutiérrez P., Cotes J.M., Marín, M. (2010). Caracterización serológica y molecular de potyvirus asociados a la virosis del tomate de árbol en Antioquia (Colombia). Revista Acta biológica colombiana. Volumen 15 Número 3, p. 1-37. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2010000300011&script=sci_arttext
- Ayala, J., Vega, V., Rosas, C., Palafox, H., Villa, J., Wasim, M., Dávila, J y González, D. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. Food Research International 44 (7), p. 1866 – 1874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Bélanger, J., Bissonnette, M., y Paré, J. (1997). Chromatography: Principles and applications. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry Elsevier, Vol. 18, p. 1-35. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-9244\(97\)80010-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9244(97)80010-8)
- Bernal, J.A y Díaz, C.A. (2003). Tecnología para el cultivo del tomate de árbol. Manual Técnico 3. Ecorregión Andina Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia, p. 129. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13470>
- Birute, A., Juárez, E., Sieiro, E., Romero, L y Silencio J. L. (2009). Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber. Revista mexicana de pediatría, volumen 76 número 3. México, p. 136-145. https://www.researchgate.net/profile/Eva-Juarez-Hernandez/publication/311208787_Los_nutraceuticos_Lo_que_es_conveniente_saber/links/583f4f9108a6da69680a25b0/Los-nutraceuticos-Lo-que-es-conveniente-saber.pdf
- Buriticá, P. (1999). Directorio de patógenos y enfermedades de las plantas de importancia económica en Colombia. Instituto Colombiana Agropecuario, ICA - Universidad Nacional de Colombia, Medellín. PRODUMEDIOS, Santafé de Bogotá, p. 329. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/80521?show=full>
- Cámara de comercio de Bogotá. (2015). Manual Tomate de Árbol. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial, Vicepresidencia fortalecimiento empresarial. Bogotá, Colombia, p. 50. <http://hdl.handle.net/11520/14308>
- Cárdenas, G., Arrazola, G., y Villalba M. (2015). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos, Revista Ingenium, volumen 17, número 33, p. 29-40. DOI: <https://doi.org/10.21500/01247492.2152>

- Cardona, E. M., Ríos, L. A. y Restrepo, G. M. (2006). Extraction of the carotenoid lycopene from chonto tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Vitae*, 13(2), p. 44-53. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169813258006.pdf>
- Carreño, N., Vargas, Á., Bernal, A. y Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. Una revisión. *Revista Agronomía Colombiana*, Volumen 25 número 2, p. 320-329. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180320296015.pdf>
- Carrera, P. (2013). Determinación de las propiedades fisicoquímicas del jugo de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav*) preparado a diferentes tiempos de cocción del fruto. Tesis de Grado para optar por el Título Profesional de Químico. Universidad Central de Ecuador, Quito, p. 115. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1880>
- Chalampunte, D y Prado, P. (2005). Caracterización morfoagronómica y molecular de la colección de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae (Cav.) Sendth*) del banco de germoplasma del INIAP, Ecuador. Informe final de tesis, previa obtención del título de Ingeniera Agropecuaria. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, p. 157. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/488>
- Crespo, M. J., y Abad, V. (2007). Estudio para la exportación de tomate de árbol producido en la provincia del Azuay, Universidad del Azuay, p. 109. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1569>
- Ding, J., Yang, T., Feng, H., Dong, M., Slavin, M. Xiong, S.B., Zhao S.M. (2016). Enhancing contents of gamma-aminobutyric acid (GABA) and other micronutrients in dehulled rice during germination under normoxic and hypoxic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64 (5), p. 1094–1102. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04859>
- Durán, M. G. y Moreno, M. J. (2000). Evaluación de algunas mezclas de solventes en la extracción de carotenoides de pericarpio de tamarillo. *Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Volumen 3, número 1, p. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120009487646>
- 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 Chem.* 194, p. 1073–1080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.131>

- Estrella, E. (1994). Plantas medicinales amazónicas: realidad y perspectivas. Recuperado el 28 de diciembre de 2016 de <https://es.scribd.com/doc/25020038/PLANTAS-MEDICINALES-AMAZONICAS>, p. 290.
- Fernández, V., Sulbarán, B., de Rodríguez, G. O., Nava, R., Delgado, J., Berradre, M., y Peña, J. (2007). Contenido mineral de la guanábana (*Annona muricata*) cultivada en el occidente de Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 41(1), p. 86 – 95. https://www.researchgate.net/profile/Betzabe-Sulbaran/publication/284704808_CONTENTIDO_MINERAL_DE_LA_GUANABANA_ANNONA_MURICATA_CULTIVADA_EN_EL_OCCIDENTE_DE_VENEZUELA/links/5656321108ae1ef92979e8b6/CONTENTIDO-MINERAL-DE-LA-GUANABANA-ANNONA-MURICATA-CULTIVADA-EN-EL-OCCIDENTE-DE-VENEZUELA.pdf
- Ferreira, I.J., y Luengo, E. (2007). La dieta como concepto terapéutico. Conceptos de alimento funcional y de nutraceutico. Situación actual de los alimentos funcionales y nutraceuticos. Aspectos legales. Capítulo del libro “Alimentos funcionales y nutraceuticos”, p. 1-11. <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- García, H., Brito, B., y Varela, N. (2008). Desarrollo tecnológico para el fortalecimiento del manejo postcosecha de frutales exóticos exportables de interés para los países andinos: uchuva (*Physalis peruviana* L.); granadilla (*Passiflora ligularis* L) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendt). Informe anual de seguimiento, Quito, Ecuador, p. 24-25. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33715>
- García, P. (2016). Utilización de técnicas analíticas avanzadas para la determinación de compuestos bioactivos en muestras vegetales. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, p. 463. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=56307>
- Gómez, A. M. (2009). Caracterización de alimentos funcionales mediante metodologías separativas avanzadas y aplicaciones a tecnología de alimentos. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, p. 405. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=69923>
- Gómez, M. (2010). Desarrollo y evaluación de estrategias analíticas para la caracterización de compuestos bioactivos en alimentos funcionales. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, p. 298. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/15467/19697508.pdf?sequence=1>
- González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J.G. y Nájera. H. (2007). Las proteínas en la nutrición. Revista Salud Pública y Nutrición. Volumen 8 No. 2,

abril-junio. Recuperado el 23 de enero de 2017 en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2007/spn072g.pdf>, p. 7

Gracia, M. J. (2007). Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en extractos naturales. Primer Verano de Introducción a la Investigación de la Universidad Autónoma de Querétaro, p. 4. https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/56_1UAQGarciaNava.pdf

Guevara, M. (2015). Formulación y diseño de una planta agroindustrial para la elaboración de tres productos a base de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas, Ecuador, p. 224. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4170/1/UDLA-EC-TIAG-2015-06%28S%29.pdf>

Guillén, V. (2012). Nuevas metodologías cromatográficas para el análisis de compuestos de interés medioambiental y agroalimentario: desarrollos en cromatografía líquida capilar, quiral y bidimensional. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España, p. 488. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=94933>

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuaria INIAP. (2008). Enfermedades, Nemátodos e insectos plaga del Tomate de Árbol (*Solanum betaceum Cav*): Una guía para su identificación en el campo. Secretaria nacional de Ciencia y Tecnología, Quito Ecuador, p. 30. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/513>

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuaria INIAP. (2008). “Estudio de las posibilidades agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav*): Desarrollo de productos agroindustriales con tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav*). Secretaria nacional de Ciencia y Tecnología, Quito Ecuador, p. 96. <https://studylib.es/doc/5590064/estudio-de-las-posibilidades-agroindustriales-del-tomate-...>

James, C. (1995). Analytical Chemistry of Foods. Blackie Academic & Professional. London, p. 23-24.

Jiménez, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Nutrición Hospitalaria volumen 28, número 5, p. 1413 – 1421. DOI: <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6673>

Kalueff, A.V y Nutt D.J. (2007). Role of GABA in anxiety and depression. Depression and Anxiety, 24 (7), p. 495–517. DOI: <https://doi.org/10.1002/da.20262>

- Lagos, L., Vallejo, F., Lagos, T y Duarte, D. (2013). Correlaciones genotípicas, fenotípicas y ambientales, y análisis de sendero en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendt.). Acta agronómica Volumen 62, Número 3, Universidad Nacional de Colombia, p. 217-224. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169929773005.pdf>
- Lara, E. (2016). Caracterización y microencapsulación de compuestos bioactivos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) variedad gigante anaranjado, Quito: Universidad de las Américas, p. 96. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6159>
- Lenucci, M., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., Dalessandro, G. (2006). Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 2606-2613. <https://doi.org/10.1021/jf052920c>
- León, J. y Viteri, P. (2004). Manual del cultivo del tomate de árbol. INIAP., Quito – Ecuador., Tecnigrava, p. 45. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/827>
- León F., Juan F. (2003). El nutritivo y curativo tomate de árbol. Revista Desafío. SENACYT-FUNDACYT, Numero 7, ISSN: 13901397. Quito, Ecuador, p. 40-42.
- Lobo, M. (2000). Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. En: Memorias 3º Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales, Manizales, Colombia, 15-17 de noviembre de 2000, p. 27 - 36. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/16771>
- López-Cardona, N y Castaño-Zapata, J. (2013). Etiología de la muerte descendente del tomate de árbol (*Solanum betaceum* (Cav.) Sendt.). Universidad de Caldas. Revista Agronomía. 21(1), p. 7-18. [http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia21\(1\)_2.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia21(1)_2.pdf)
- Lorente, S. (2015). Efecto de la adición de goma arábica en la actividad antioxidante y antiinflamatoria de extractos de acerola y kiwi liofilizados. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España, p. 41. <https://riunet.upv.es/handle/10251/55635>
- Luengo, E. (2007). Alimentos funcionales y nutraceuticos. Sociedad Española de cardiología, Sección de cardiología preventiva y rehabilitación, España, p. 93. <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- Machado, S y Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.). Federal University of Viçosa, Department of Health and Nutrition, Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. Chapter 34. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00034-7>

- Martínez, E. G., Segovia, I. F., y López, A. F. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Universidad politécnica de Valencia, España, p. 9. <https://riunet.upv.es/handle/10251/52056>
- Meza, N., y Manzano, J. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* Sendt) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. Revista Científica UDO Agrícola, 9(2), p. 289-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308209>
- Morales, P. (2012). Vegetales silvestres de uso alimentario: Determinación de compuestos bioactivos y valoración de la capacidad antioxidante. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España, p. 386. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=303057>
- Ordóñez, A. L., Balanza, M. E., Martín, F. R., y Flores, C. A. (2009). Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. Información tecnológica, 20(4), p. 31-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000400005>
- Páez, G., Marín, M., Mármol, Z., y Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). Revista de la Facultad de Agronomía, 22(3). https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-78182005000300004&script=sci_arttext
- Pastrana, E. (2003). Characterization of selected phenolic compounds in Georgia-Grown Muscadine Grapes. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree. Athens, Georgia, p 122. https://getd.libs.uga.edu/pdfs/pastrana-bonilla_eduardo_200305_phd.pdf
- Pastrana, E. (2004). Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la *Vitis rotundifolia* michx. Ingeniería y Región, 3, p. 29-38. <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/855>
- Pastrana-Bonilla, E., Akoh, C., y Cerquera, N. (2017). Identification and quantification of anthocyanins in muscadine grapes by HPLC and HPLC-MS. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12, No. 2, Pakistán, p. 626-631. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5665.pdf
- Portilla, A.E. (2013). Comportamiento agronómico y adaptabilidad de híbridos F1 de tomate de árbol *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth en la Región Alto Andina de Nariño, Colombia. Tesis de grado presentada como requisito parcial para obtener el grado de Magister en Ciencias Agrarias, con énfasis en Fitomejoramiento.

- Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, Colombia, p. 101.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21701>
- Quirantes, R. M. (2012). Caracterización y estudios metabólicos de compuestos fenólicos bioactivos mediante técnicas separativas acopladas a espectrometría de masas. Editorial de la Universidad de Granada. Tesis Doctoral publicada, España, p. 264. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=61683>
- Repo de Carrasco, R. y Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev. Soc. Quím. Perú [online]. 2008, vol.74, n.2, p. 108-124. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s1810-634x2008000200004&script=sci_arttext
- Revelo, V. (2011). Evaluación de la calidad postcosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, p. 166. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1037>
- Reyes, R., y Sanabria O. L. (1993). Tomate de árbol, *Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt. Etnobotánica No 2. Consultado el 20 de diciembre de 2016 <http://www.ibiologia.unam.mx/jardin/gela/page13.html>.
- Rodríguez, V. (2009). Identificación serológica y molecular de los agentes causales asociados a enfermedades virales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en cultivos del municipio de Córdoba (Nariño). Trabajo de grado. Universidad de Nariño, p. 89. <https://biblioteca.udenar.edu.co/atenea/81560.pdf>
- Rodríguez-Palenzuela, P., García, J., y de Blas, C. (1998). Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: enzimas y probióticos. Curso de Especialización FEDNA, 14, p. 227-240.
- Sagñay, M. (2010). Estudio Comparativo del Potencial Nutritivo de Dos Variedades de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.) deshidratado por Microondas a Tres Potencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, p. 120. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1917/1/56T00204.pdf>
- Salazar-Lugo, R., Barahona, A., Ortiz, K., Chávez, C., Freire, P., Méndez, J., Bermeo, B., Santamaría, M., Salas, H., Oleas, M. (2016). Efecto del consumo de jugo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, Ecuador. Archivos latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Volumen 66, número 2, Ecuador, p. 121-127. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000200004

- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Valenzuela-Sánchez, K. P., Escárcega-Galaz, A. A., Núñez-Gastélum, J. A., y Nydia, O. (2012). Extracción y cuantificación de licopeno en polvo de residuos de tomate. *Revista Latinoamericana de Química*, volumen 39, edición especial, p. 107. https://www.academia.edu/2277550/BQP_173_EXTRACCI%C3%93N_Y_CUANTIFICACI%C3%93N_DE_LICOPENO_EN_POLVO_DE_RESIDUOS_DE_TOMATE
- Tabares, C. T., y Velásquez, J. (2003). Estudio de la vida de anaquel del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) osmodeshidratado empacado en atmósferas modificadas, Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, p. 117. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2693/clauidatabaresalboreda.2003.pdf.pdf?sequence=1>
- Tamayo, P. (2001). Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia. *Boletín Técnico 12*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Regional 4, Centro de Investigación “La Selva” *Boletín Técnico 12*. Rionegro, Antioquia, p. 44. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1175>
- Tamayo, P. (2003). Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia. *Boletín Técnico 20*. Convenio Corpoica - Alcaldía de Medellín. Rionegro, Antioquia, p. 44. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1175>
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendt. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Vol. 62 N.º 4, 2012, p. 381-388. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222012000400010&script=sci_arttext
- Torres, N. (2006). Determinación del potencial nutritivo y nutraceutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis de grado, Riobamba, p. 67-76. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/921>
- Vasco, C., Ávila, 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.). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60, p. 278–288. DOI: <https://doi.org/10.1080/09637480903099618>

- Villegas, S. E. (2012). Evaluación del potencial nutritivo y nutracéutico de galletas elaboradas con amaranto, (*Amaranthus caudatus*) y tomate (*Solanum betaceum*) deshidratado como colorante y saborizante. Tesis de grado para obtener el título de Bioquímico farmacéutico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, p. 143. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2581>
- Web of Science. (2024). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>
- Zumbado, H. M. (2021). Análisis instrumental de los alimentos. Editorial Universitaria (Cuba). books.google.com

Capítulo 3

Principales tratamientos térmicos y sus efectos sobre el contenido de compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Resumen

En este capítulo se describen diferentes tecnologías para realizar el proceso de secado, conservación y prolongación de la vida útil de productos elaborados a partir de tomate de árbol. De igual forma, se reportan los valores cuantificados para compuestos bioactivos presentes en la fruta, y su grado de afectación por la aplicación de los tratamientos térmicos implementados, teniendo como base para esto la información obtenida en investigaciones publicadas y algunas estadísticas bibliométricas sobre tendencias de investigación a nivel internacional sobre las técnicas de secado estudiadas en esta tesis doctoral.

Palabras clave: Procesamiento térmico, tecnologías de secado, tratamiento térmico.

1. Introducción

El procesamiento térmico es una actividad clave para el sector agroindustrial, se basa en el calentamiento de los alimentos durante un periodo de tiempo y a una temperatura establecida, con el fin de garantizar o propender por la calidad microbiológica y fisicoquímica de un alimento, de tal manera que sea seguro para el consumidor (Múnera, 2009).

Un tratamiento térmico puede incluir calentamiento, enfriamiento, secado y congelación. Cualquier cambio de temperatura del producto dependerá en gran medida de sus propiedades térmicas (Mohsenin, 1986). Muchos de los productos agrícolas de origen vegetal o animal se someten a diversos tipos de procesos térmicos antes de ser de fácil acceso al consumidor. Los alimentos en mayor o menor grado son sensibles a la temperatura, es por esto que también se debe tratar de minimizar la degradación de las características propias de cada producto (Cerquera, 2006).

Estas técnicas han sido utilizadas desde que se conoce que los alimentos pueden ser preservados por este medio y que algunos materiales, a través del secado, pueden convertirse en buenos materiales estructurales. En la actualidad hay diversidad de productos que son tratados por varias razones: preservación, reducción de peso o volumen para su transporte, mejoramiento de su estabilidad dimensional, o como una etapa más de su procesamiento (Hernández y Quinto, 2005). El objetivo de este capítulo es revisar los principales tratamientos térmicos aplicados a los alimentos y sus efectos sobre los compuestos bioactivos presentes en tomate de árbol. Igualmente, se muestran algunas estadísticas de investigación bibliométrica de los últimos veinte años sobre las tendencias de investigación en los procesos térmicos implementados en la tesis doctoral.

2. Tratamientos previos

2.1 Escaldado o blanqueado

Según Aguilar et al. (1999) consiste en la inmersión del alimento en agua a temperaturas cercanas a punto de ebullición, durante un tiempo breve, con el fin de inactivar enzimas no deseadas. El tiempo de escaldado se constituye de acuerdo con la estabilidad térmica de la enzima que se desea inactivar y el efecto que el calor ejerce sobre la textura del producto (Arapa y Cahuana, 2015). La actividad enzimática sufre un incremento cuando aumenta la temperatura hasta alrededor de 50°C, donde alcanza un nivel máximo conocido como temperatura óptima para la acción enzimática. A temperaturas más altas se observa una considerable disminución en la actividad debido a la desnaturalización de su estructura proteínica (Mendoza y Herrera, 2012). González et al. (2016) encontraron que, para tomate de árbol, el proceso de escaldado óptimo se realiza a 95°C por un tiempo de 5 minutos, preservando el color, aumentando en tres (3) veces la capacidad antioxidante ($1625 \mu\text{mol TEC} \cdot (100\text{g})^{-1}$) y en un 26 % el β -caroteno, asegurando una buena calidad microbiológica. Orosco, (2017), en Perú, encontró que la temperatura influye significativamente en la cinética de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol, disminuyendo su concentración a medida que se aumenta las temperaturas de estudio en un intervalo entre 60 °C y 80 °C.

2.2 Obtención de pulpas

Una pulpa es un producto obtenido a partir de la maceración o trituración de la parte comestible de las frutas. Este puede estar tamizado o no y debe ser obtenido a partir de frutas sanas, frescas, maduras y limpias (Ministerio de Salud y Protección social, 2013). Esta pulpa se obtiene a partir de procesos tecnológicos que, dependiendo del tipo de equipo utilizado para su producción, extrae la mayoría del jugo, contenido en su parte comestible (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, 2013).

Se han realizado algunas investigaciones relacionadas con la obtención de pulpas a partir de tomate de árbol que buscan el posicionamiento de este tipo de productos en los mercados: Quintanilla (2012); Casquete (2020); Salazar (2023); Rivera (2022) desarrollaron planes para la exportación de la pulpa de tomate de árbol desde ciudades ubicadas en Ecuador, hacia Beijing-China, Estados Unidos, Montreal-Canadá. En el caso de Herrera y Angüisaca (2015) propusieron el diseño de una planta productora de pulpa de fruta derivada de mora y tomate de árbol en la ciudad de Cuenca; y Perrazo (2019) realizó un plan de negocio que busco la incursión de las pulpas congeladas de tomate de árbol orgánico que permitan el posicionamiento del producto en mercados especializados. Torres (2012) en Venezuela, estudió algunos compuestos bioactivos presentes en la pulpa. En su investigación dio a conocer que la pulpa de estos frutos posee $23,32 \text{ mg ácido ascórbico} \cdot 100\text{g}^{-1}$, $1,22 \text{ mg licopeno} \cdot 100\text{g}^{-1}$, polifenoles con $1,39 \text{ mg ácido gálico} \cdot 100\text{g}^{-1}$, taninos $0,40 \text{ mg catequina} \cdot 100\text{g}^{-1}$, antocianinas $0,29 \text{ mg cianidina 3-glucósido} \cdot \text{g}^{-1}$ y capacidad antioxidante con EC_{50} de $165\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ DPPH.

A continuación, en la tabla 7 se muestran los principales investigadores de la línea pulpas de fruta. Según esta información, el 60% de los autores están adscritos, según su

filiación, a universidades ubicadas en Brasil, seguido de China con un 20% y un 10% para Australia y Alemania.

De igual forma, se observa que Jiang, Yueming, es el autor que posee el mayor número de citaciones. Con 34 publicaciones científicas genera 24403 citaciones y un índice H de 83, en la temática “pulpa de fruta”, estando por encima de otros autores que, teniendo un número mayor de publicaciones en Web of Science, WoS, no superan las 3900 citaciones, como es el caso de Narain, Narendra con 2790 citaciones, Singh, Zora con 3836 citaciones y De Barros Vilas Boas, Eduardo V con 1577 citaciones.

Tabla 7.
Principales investigadores de “Pulpas de fruta”.

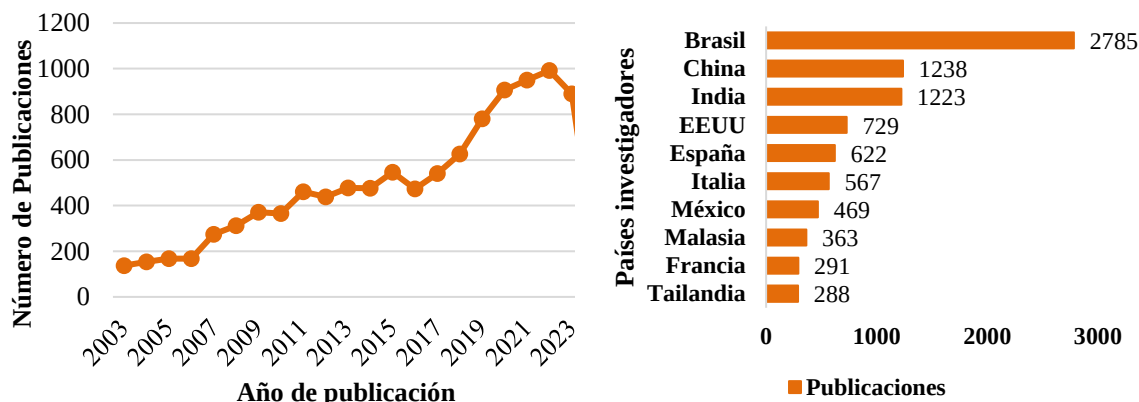
Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Narain, Narendra	44	2790	30	Universidade Federal de Sergipe
Singh, Zora	43	3836	36	Murdoch University
De Barros Vilas Boas, Eduardo V	41	1577	19	Universidade Federal de Lavras
Jiang, Yueming	34	24403	83	University of Chinese Academy of Sciences
Lajolo, Franco M	31	8444	51	Universidade de Sao Paulo
Lin, Hetong	30	4636	43	Fuzhou University
Mercadante, Adriana	30	7050	50	Universidade Estadual de Campinas
Jacomino, Angelo P	28	891	16	Universidade de Sao Paulo
Alves, Ricardo Elesbão	27	2248	20	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria
Carle, Reinhold	27	23874	81	University Hohenheim

El comportamiento es similar para otros autores y, en general, si se tiene en cuenta el índice H y el número de citaciones, existen variaciones en el orden jerárquico, destacando también el segundo lugar que sería ocupado por Carle, Reinhold, de la Universidad de Hohenheim con 23874 citaciones y un índice H de 81 y Lajolo, Franco M con 8444 citaciones y un índice H de 51. Aun cuando existen reportados investigadores de países suramericanos, no se evidencian investigaciones por parte de ellos, relacionadas con pulpas de tomate de árbol.

Al analizar la información de la figura 14 se estima que la información consultada en WoS en un periodo comprendido entre los años 2000 y 2023, se evidencia que el 50% de los artículos de investigación y revisión, han sido publicados en los últimos seis años, y la tasa de crecimiento anual en las publicaciones es del 2%. Respecto a los países investigadores, los diez países alcanzan el 80% de las publicaciones reportadas en WoS, de las cuales el 26%, es decir 2785 publicaciones, han sido artículos científicos y de revisión desarrollados por Brasil, 11,5% el equivalente a 1230 documentos reportados por China y 11,4% corresponde a 1223 documentos publicados por India.

Figura 14.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Pulpas de fruta”.



3. Métodos para prolongar la vida útil

3.1 Pasteurización

Se define como un tratamiento térmico específico al que se somete un alimento, generalmente líquido, empleando una temperatura inferior a 100 °C, durante un tiempo determinado con la finalidad de eliminar la mayoría de los microorganismos patógenos e inactivar ciertas enzimas sin llegar a alterar en forma considerable la estructura física, los componentes químicos y las propiedades organolépticas (Muyulema, 2006). Después de la operación de pasteurización, los productos tratados se enfrían de forma rápida y se sellan herméticamente con fines de seguridad alimentaria. La pasteurización no destruye las esporas de los microorganismos, ni elimina todas las células de microorganismos termofílicos (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, ICMSF, 1980).

En Colombia se ha estudiado el efecto de dos tratamientos térmicos sobre algunas propiedades fisicoquímicas y sensoriales del tamarillo, encontrando que, con un tratamiento a 60 °C durante 20 segundos, se obtiene un jugo similar al fresco en cuanto a las características evaluadas (Maca et al., 2012). Moreno, et al. (2003) en Venezuela, elaboraron cuatro néctares acondicionados con ácido ascórbico usando pasteurización a una temperatura de 60° C durante 30 minutos, encontraron que la formulación sin adición de ácido ascórbico fue la que sensorialmente mantuvo mayor aceptabilidad, con una vida útil de 14 a 21 días. En Perú, Rojas et al. (2017) evaluaron la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol, variedad amarilla, obteniendo como resultado que la mayor retención de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante se presenta en el néctar con un pH de 3,33; 13°Brix, dilución pulpa: agua 1:2,5 y una temperatura de pasteurización de 99,5°C por un minuto.

3.2 Congelación

Este proceso de conservación se presenta cuando existe una reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que comienzan a formarse cristales en un material alimenticio (Orrego, 2008). Los fenómenos que se presentan en el proceso de cristalización son de gran importancia en la congelación de los alimentos, en razón a que esta técnica incide sobre las propiedades organolépticas y de calidad, especialmente la textura y la capacidad de retención de agua de los tejidos (Barreiro y Sandoval, 2006). Se han realizado investigaciones con pulpas de tomate de árbol (Orrego, 2008) y lulo (Cardona et al., 2002; Giraldo-Gómez et al., 2010) sometidas a procesos de congelación, así como sus propiedades termofísicas. Sin embargo, no se reportan evaluaciones del efecto de las bajas temperaturas sobre los compuestos bioactivos.

3.3 Refrigeración

Parra (2007) define a la refrigeración como un procedimiento para conseguir una temperatura por debajo de la del medio ambiente de la zona donde se desea almacenar el producto, teniendo en cuenta que es necesario mantener la baja temperatura y para ello se requiere la extracción del calor del producto a refrigerar y la cesión de este calor a una zona temperatura más alta. En la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Márquez et al. (2014) evaluaron la etapa de postcosecha para establecer la evolución de la actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos en tomates de árbol comunes de coloración anaranjada. Los resultados obtenidos, no mostraron correlación positiva entre la capacidad antioxidante y la concentración de fenoles totales, sin embargo, los autores concluyen que esta fruta se clasifica en categoría de alta actividad antioxidante y muy buena concentración de compuestos fenólicos con respecto a otros frutos reportados en diversas investigaciones, lo cual potencia el consumo de esta especie como un alimento nutraceutico.

3.4 Irradiación

La irradiación es un método físico que busca prolongar los tiempos de comercialización y la inocuidad de los alimentos (Suárez, 2001). El proceso consiste en exponerlos, ya sea envasados o a granel, a una cantidad cuidadosamente controlada de radiaciones ionizantes durante un determinado tiempo, para conseguir características deseables (Parra, 2007). Se reportan limitaciones cuando se decide utilizar esta técnica, por lo que es prudente tener cuidado en su selección, en el diseño de sus instalaciones, así como en la operación y mantenimiento de éstas (Balderas y Nelson, 2007).

En Ecuador Viteri et al. (2011) desarrollaron una posible solución a los problemas postcosecha aplicando tecnología de radiación de luz ultravioleta (UV). Esta tecnología permitió disminuir el daño por contaminación microbiológica extendiendo la vida útil del tomate de árbol por 45 días; Abad (2014) estudió el efecto de la combinación de dos tratamientos no convencionales, irradiación con rayos gamma y la aplicación del recubrimiento comestible en la calidad postcosecha del tomate de árbol, obteniendo un efecto sinérgico en la preservación de la calidad de la fruta y mejorando las propiedades de firmeza, sólidos solubles, pH, tasa de respiración y apariencia interna.

4. Tecnología de alimentos concentrados

Guzmán (1991) resalta que la concentración o eliminación de agua se puede efectuar a través de evaporación, ósmosis inversa y crioconcentración. La evaporación es un método empleado para concentrar jugos de frutas. Los jugos presentan características diferentes, por eso es importante tener en cuenta los parámetros para determinar el proceso más idóneo. En este proceso muchos de los componentes son arrastrados por el vapor de agua, especialmente los aromas, que, de no ser recuperados y reincorporados al jugo, cuando este se reconstituya no tendrá sabor y aroma característicos de la fruta procesada (Ramírez, 2011).

El tomate de árbol se consume como jugo, conserva con almíbar, ensaladas de frutas, helados, jaleas, mermeladas, dulces, y en platos de carnes con sabores combinados (Meza y Manzano 2009). En este sentido, se implementa la unión de técnicas de evaporación y osmodeshidratación para retirar agua del producto, utilizando azúcar y concentrando con cocción, hasta un contenido de azúcares totales requeridos dependiendo del producto final deseado. El contenido de azúcar en una conserva está expresado en porcentaje de sólidos solubles o °Brix. Esta medida se obtiene directamente con un refractómetro a una temperatura del 20°C y se expresa en porcentaje de sacarosa (Ramírez, 2011).

En Colombia Cortés (2007) desarrolló una investigación centrada en la formulación y obtención de un producto tipo bocadillo, su estudio de mercado y grado de aceptación por parte de los consumidores; Tabares y Velásquez (2003) estudiaron la vida de anaquel de tomate de árbol osmodeshidratado en una atmósfera modificada, encontrando que las características fisicoquímicas evaluadas se conservaron mejor en una atmósfera con 1% o 5% de CO₂ y balance de N₂, sólo se evaluó sólidos, pH, acidez y ácido ascórbico; Villa et al. (2009) implementaron la reutilización de jarabes en la osmodeshidratación de tomate de árbol para revisar el comportamiento sobre la actividad de agua y estabilidad microbiológica, como resultado detectaron que las soluciones se pueden utilizar en siete ciclos manteniendo los parámetros objeto de estudio.

Chávez (2022) diseñó productos tipo mermelada a base de *Cyphomandra betacea* S., monitoreando las características fisicoquímicas, reológicas, sensoriales y de estabilidad durante el almacenamiento a diferentes temperaturas (40 °C, 50 °C y 60 °C), encontrando que una formulación con 50% de pulpa y 50% de azúcar sin pectina fue el mejor evaluado sensorialmente. Adicionalmente, se han diseñado productos tipo bebidas a partir de tomate de árbol, destacando las investigaciones adelantadas por Buitron y Ruales (2023); Castro et al. (2022); Encalada (2021), quienes desarrollaron bebidas que buscaban aumentar la ingesta de antioxidantes por parte de los consumidores.

En la Universidad Surcolombiana, Neiva - Colombia, se han realizado dos trabajos de grado en los que se formularon y elaboraron productos a partir de tomate de árbol: Vargas y Pinzón (2023) elaboraron gomas funcionales en donde uno de los tratamientos evaluados fue una mezcla de zanahoria y tomate de árbol, con buena aceptación sensorial.

Por otro lado, Forero y Falla (2023) diseñaron y formularon dos tipos de salsas, dulce y tipo chutney, utilizando como materia prima principal el tomate de árbol en tres de sus variedades: roja, amarilla y púrpura, encontrando que todos los productos elaborados fueron estables, cumpliendo con parámetros normativos y aceptados sensorialmente por los consumidores.

La crioconcentración es una tecnología que logra una alta concentración utilizando bajas temperatura en su proceso. Como resultado se obtienen líquidos que se caracterizan por poseer un alto grado de calidad nutricional y una excelente retención de compuestos termolábiles (Aguilar, 2021). No existe documentación en las bases de datos acerca de investigaciones científicas aplicando esta tecnología al tomate de árbol.

5. Secado

El secado es la operación por la que el agua contenida en un sólido o una disolución, generalmente concentrada, se transfieren a una fase fluida que los rodea debido a los gradientes de la actividad de agua entre ambas fases. La clasificación de los equipos y técnicas utilizadas para el secado dependen de las características físicas del producto húmedo y del procedimiento para transmitir el calor al sólido húmedo (Maupoey et al., 2001).

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece una clasificación de los secadores en cuatro grupos: secadores directos, que utilizan gases calientes en contacto con el producto húmedo para suministrar calor y arrastrar el líquido vaporizado; secadores indirectos en los cuales el calor es transmitido a través de la pared que lo contiene, permitiendo la eliminación del líquido vaporizado independientemente del medio calefactor; secadores por radiación con transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto, usualmente con infrarrojos; y secadores dieléctricos, que generan calor en el interior del propio sólido en función de un campo eléctrico de alta frecuencia que provoca una agitación de moléculas polares aportadoras de fricción generando el calor que se necesita para la evaporación (Maupoey et al., 2001).

Hernández y Moreno (2000) describieron la influencia de tres técnicas de secado: convección forzada, convección libre y secado a temperatura ambiente, sobre la cuantificación del contenido de carotenoides totales en pericarpios del fruto de tomate de árbol, acondicionados previamente con ácido cítrico en diferentes concentraciones. Encontraron que a temperatura ambiente y con una concentración de 0,50% ácido cítrico resultó la más adecuada.

A continuación, teniendo en cuenta lo planteado por Vega-Mercado et al. (2001) se desagregan las tecnologías de secado en cuatro generaciones, y sus respectivas investigaciones de interés en esta tesis doctoral:

5.1 Primera generación

Según Gacitúa (2019) y Vega-Mercado et al. (2001), en esta generación se incluye métodos antiguos como el secado solar, el ahumado de alimentos, especialmente en cárnicos, el secado en lecho fluidizado. En esta generación, se destaca el secado por convección forzada, el cual, en la mayoría de los casos, utiliza aire caliente como medio deshidratante. Este aire caliente fluye a través del producto dispuesto en bandejas o cintas transportadoras, retirando el agua desde la superficie del producto. Es utilizada en procesos continuos y es la técnica que más investigaciones reporta por considerarse apropiada para granos, frutas y verduras.

En esta investigación se hizo una búsqueda de información, centrándose en dos métodos a utilizar en la Tesis Doctoral: Secado de pulpa en lámina y secado por aire caliente. Los reportes de investigaciones donde aplican estas técnicas en la fruta estudiada y que se encuentran documentadas en las diferentes bases de datos científicas, se describen a continuación:

5.1.1 Secado de pulpa en lámina

En Venezuela, Cuevas (2012) desarrolló productos en lámina a partir de mezclas de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) - tomate de árbol (*Cyphomandra betacea Sendth*) y parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) – fresa (*Fragaria sp*). Dentro de los compuestos bioactivos evaluados para la mezcla que contiene *Cyphomandra betacea* se encuentran compuestos fenólicos totales ($161,49 \pm 3,63$, en % de ácido tánico) y capacidad antioxidante ($37,58 \pm 0,05$ en mg de ácido ascórbico* $100g^{-1}$), sin embargo, por ser matrices de alimentos obtenidas a partir de diferentes proporciones entre dos frutas, los contenidos de estos compuestos no son 100% aportados por el tomate de árbol.

La información presentada en la tabla 8 expone los principales investigadores en la temática secado de pulpa en lámina. Es relevante mencionar que el autor Neal, Tai-Shung Chung de la Universidad Nacional de Singapur, cuenta con sólo cinco publicaciones, sin embargo, es el autor que más número de citaciones reporta en WoS donde ostenta un valor de 58250 citaciones y un índice H de 122.

Por otra parte, en la tabla 8, se registran datos sobre investigadores con filiaciones en Suramérica, especialmente Venezuela y Argentina. Para el caso de Venezuela que cuenta con dos investigadores de la Universidad del Oriente, se pudo corroborar que Bracho, Nelson, enfocó sus investigaciones en productos de lámina a partir de mango (*Mangifera indica*), coroba (*Jessenia polycarpa*) y en productos piscícolas; no reporta investigaciones acerca de Tomate de árbol. Respecto a Corzo, O, se encontró que comparte coautorías con el anterior investigador y adicionalmente ha investigado en frutas como el melón (*Cucumis melo*). Respecto a la investigadora de Argentina Isabel Yeannes, Maria, se encontró que su línea de investigación se enfoca en productos pesqueros.

Tabla 8.

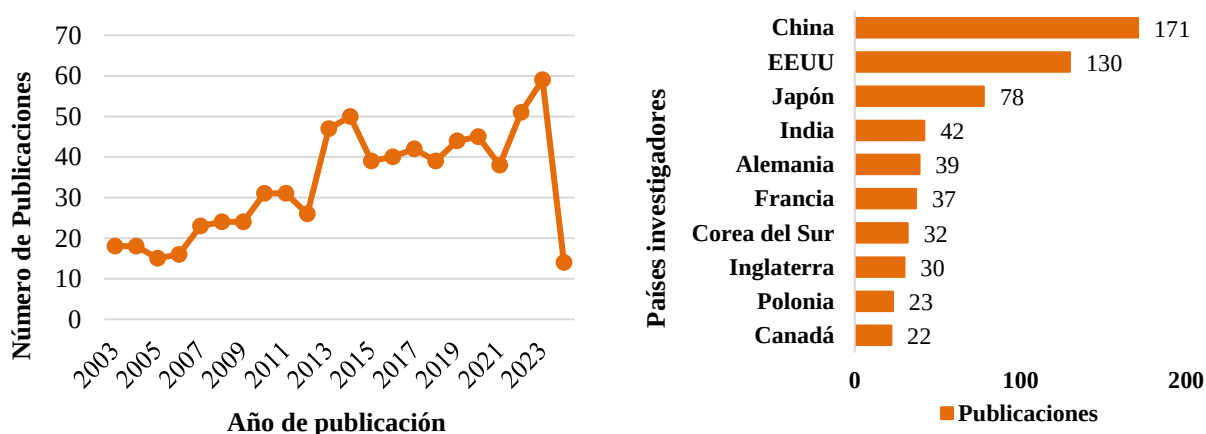
Principales investigadores de “Secado de pulpa en lámina”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Bracho, Nelson	18	682	14	Universidad del Oriente
Corzo, O	18	811	16	Universidad del Oriente
Nawrocka, Agnieszka	10	1502	25	Polish Academy of Sciences
Mis, Antoni	7	1059	18	Polish Academy of Sciences
Hoekstra, Folkert	6	7815	47	Wageningen University
Isabel Yeannes, Maria	6	480	12	National University of Mar del Plata
Wolkers, Wim	5	5577	42	University of Veterinary Medicine Hannover
Hung, Wei-Song	5	7118	43	National Taiwan University of Science & Technology
Szymanska-Chargot, Monika	5	2692	29	Polish Academy of Sciences
Neal, Tai-Shung Chung	5	58250	122	National University of Singapore

En cuanto a las tendencias restantes, el 30% de los investigadores poseen filiación con Polonia, haciendo que sus publicaciones hagan parte de las 23 publicaciones científicas reportadas.

Figura 15.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Secado de pulpa en lámina”.



En la figura 15 se observa que la tasa de crecimiento anual de artículos científicos y de revisión es de 5,8%, en donde China lidera el número de publicaciones con 171 documentos para un porcentaje de 23,8% de las publicaciones totales. El escalafón de los diez países investigadores contiene 604 publicaciones disponibles en WoS, es decir el 83,9% de las publicaciones con la temática secado de pulpa en lámina.

5.1.2 Secado por aire caliente

La utilización de secado por aire caliente ha reportado resultados de investigación por parte de Díaz (2021) quien investigó el efecto de la temperatura y el tiempo de secado sobre capacidad antioxidante, color y pérdida de humedad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) utilizando un secador con aire caliente, evaluando su comportamiento a diferentes temperaturas y tiempos de secado. Los resultados permitieron establecer que las características deseables se alcanzan realizando el proceso de secado durante 305 minutos a una temperatura de 57 °C.

Al revisar algunas estadísticas bibliométricas, se resumió la información acerca de los principales investigadores en la temática secado por aire caliente. La tabla 9 permite mostrar que el 60% de los investigadores poseen filiación en una Universidad ubicadas en China.

En cuanto al número de publicaciones científicas para la temática secado por aire caliente, se encuentra que el autor que posee mayor número de publicaciones y ocupa el primer lugar en número de citas e índice H, es Zhang, Min, con filiación en la Universidad de Jiangnan, con 29 publicaciones reportadas, un total de 24209 citaciones y un índice de citación H de 88. Teniendo en cuenta el índice H y el número de citaciones, también se destaca la información mostrada para el autor Mujumdar, Arun S, con 17181 citaciones y un índice H de 70, con filiación en la Universidad McGill de Canadá.

Tabla 9.

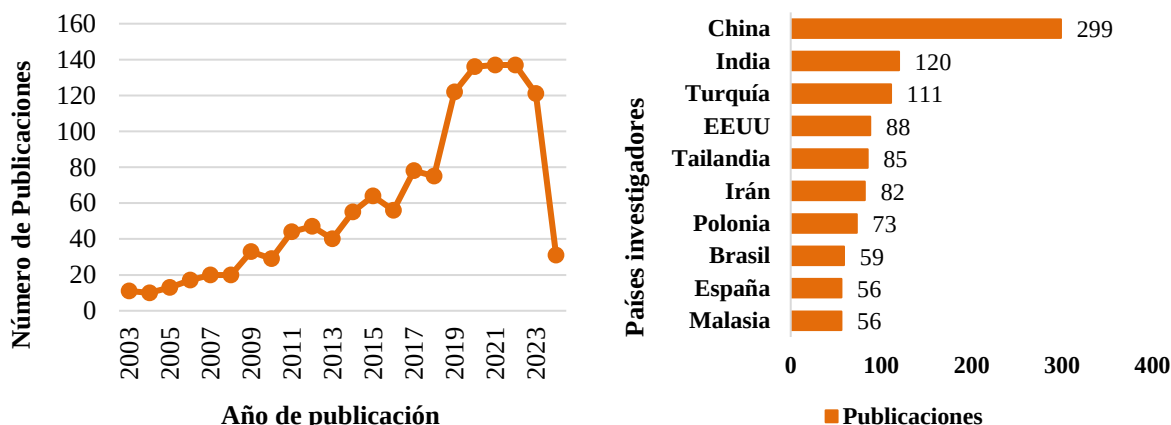
Principales investigadores de “Secado por aire caliente”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Zhang, Min	29	24209	88	Jiangnan University
Bi, Jinfeng	28	3572	34	Chinese Academy of Agricultural Sciences
Xiao, Hong Wei	25	5696	47	China Agricultural University
Mujumdar, Arun S.	23	17181	70	McGill University
Wu, Xinye	20	2509	28	Xiamen University
Figiel, Adam	19	3773	32	Wroclaw University
Yi, Jianyong	15	2126	29	Chinese Academy of Agricultural Sciences
Law, Chung Lim	14	3947	32	University of Nottingham Malaysia
Chen, Qin-Qin	14	2172	28	Lanzhou University
Zielinska, Magdalena	14	1473	20	University of Warmia & Mazury

Igual ocurre con la figura 16 en donde se aprecia que el país que más publicaciones reporta es China con 299 documentos científicos, es decir, el 23,1% de las publicaciones científicas disponibles en WoS con ese término de búsqueda. En segundo lugar, se encuentra India con 120 documentos para un 9,3% de publicaciones. La tasa de crecimiento anual de publicaciones es de 12,1% y, en los últimos seis años se han publicado el 58,6% de los documentos científicos disponibles para consulta.

Figura 16.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Secado por aire caliente”.



La agrupación conformada por los diez países investigadores que más publican en la temática secado por aire caliente constituye el 79,4 % de las publicaciones científicas.

5.2 Segunda generación

5.2.1 Atomización

Según Quintanilla y Toledo (2016) la atomización es un proceso de secado por arrastre, que consiste en que el producto está en contacto con un aire caliente cuya temperatura y humedad cambia durante su trayectoria en la cámara de secado, produciendo un secado instantáneo, pues al atomizarse el producto presenta una gran superficie expuesta al fluido secador. Durante el secado, las partículas flotan o se mueven en una corriente gaseosa, evitando el contacto con la superficie metálica caliente de las paredes de la cámara, con su consiguiente peligro de recalentamiento.

Quintanilla y Ramos (1986) determinaron la factibilidad técnica de aplicar los procesos de crioconcentración y secado por atomización a los jugos de tomate de árbol y lulo. Los productos deshidratados se sometieron a evaluación de jueces sensoriales, que concluyó que el producto poseía buen sabor, pero con pérdida de aroma. Yanza (2003) diseñó un equipo de secado por atomización también llamado de aspersión, donde el jugo de tomate de árbol se transformó en un producto pulverizado. Al evaluar las variables de secado se encontró que el contenido de azúcares y algunas propiedades reológicas de la pulpa, afectan la operación de secado disminuyendo su eficiencia.

Herrera (2018) evaluó el efecto de concentraciones de goma arábica y diferentes temperaturas de aire de secado por aspersión sobre el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante en pulpa de tomate de árbol. Estableció que el polvo atomizado de tomate de árbol presenta mejores características para una concentración de 8% de goma arábica y una temperatura de secado de 160 °C, en cuanto a humedad e higroscopicidad del producto final.

5.3 Tercera generación

5.3.1 Liofilización

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación y desorción para reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se afectan durante los procesos convencionales de secado (Ramírez – Navas, 2006). El proceso es también llamado criodesecación porque consiste primero en congelar un producto húmedo y luego en vaporizar directamente el hielo a baja presión (Gómez et al., 2003; Orrego, 2008).

Yanza y Maldonado (2012) determinaron el contenido de α – tocoferol y el β – caroteno en zumo fresco y liofilizado de tomate de árbol encontrando que sufren cambios considerables durante el proceso de liofilización del tomate de árbol, cultivado en Colombia. En Perú, Tito (2019) comparó la capacidad antioxidante de *Solanum betaceum* Cav liofilizado de las variedades rojo, amarillo, rojo-morado, encontrando que la variedad color “rojo – morado” presentó mayor capacidad antioxidante, para luego formular una crema antioxidante con un 5% del extracto, obteniendo excelente aceptación.

5.3.2 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica (DO) consiste en realizar inmersión de un producto alimenticio en una solución con una alta presión osmótica, generando un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, ocasionando el flujo de agua desde el interior del producto, para igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de las membranas de las células del vegetal (Zapata y Castro, 1999). Esta técnica permite modificar la composición de los alimentos a partir de la remoción de agua y de la incorporación de sólidos, constituyendo un instrumento interesante para la formulación y desarrollo de nuevos productos (Wais, 2011).

Martínez (2012) estudió el efecto de tres concentraciones de jarabes y cuatro temperaturas en la deshidratación osmótica del tomate de árbol, encontrando que el mejor comportamiento en la cinética del proceso se da con un jarabe concentrado a 60 °Brix y utilizando una temperatura de 55 °C. En esta investigación no se evaluaron compuestos bioactivos. López et al. (2018) comparó los parámetros fisicoquímicos de tomate de árbol osmodeshidratado con inmersión en un jarabe de 65 °Brix y ácido ascórbico frente a un testigo sin este proceso, almacenados en bolsas plásticas a 6 °C, encontrando que la vida útil del tomate de árbol sometido a deshidratación osmótica se puede conservar hasta 60 días, mientras que el no procesado solo 30 días. En estas investigaciones no hay información sobre identificación y cuantificación de compuestos bioactivos.

La revisión de algunas estadísticas bibliométricas para los principales investigadores que han publicado documentos científicos en el área “deshidratación osmótica de frutas” se encuentran resumidos en la tabla 10, que se muestra a continuación:

Tabla 10.

Principales investigadores de “Deshidratación osmótica de frutas”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Tylewicz, URSZULA	32	2251	30	University of Bologna
Rosa, Marco Dalla	30	6923	42	University of Bologna
Fernandes, Fabiano Andre N	29	7340	49	Universidade Federal do Ceará
Rodrigues, Sueli	28	7232	48	Universidade Federal do Ceará
Chiralt, Amparo	25	16895	79	Universitat Politècnica de Valencia
Fito-Suner, Pedro J.	23	6059	41	Universitat Politècnica de Valencia
Rocculi, Pietro	22	4526	31	University of Bologna
Lenart, Andrzej	19	2767	28	Warsaw University of Life Sciences
Hubinger, Miriam	19	9107	51	Universidade Estadual de Campinas
Mascheroni, Rodolfo Horacio	17	1722	25	National University of La Plata

En la tabla 10 se evidencia que en el grupo de los diez principales investigadores de esta línea se encuentra un 30% de ellos, con filiación en la Universidad de Bologna, Italia, y con el mismo porcentaje se encuentra Brasil, 20% con la Universidad Federal de Ceará y 10% con la Universidad Federal de Campinas. La Universidad Politécnica de Valencia, España con un 20% de los investigadores y las universidades restantes con filiaciones de Argentina y Polonia con un 10%, respectivamente.

Otro elemento interesante de evidenciar es que Chiralt, Amparo es la investigadora con mayor número de citaciones e índice H. Esta investigadora, con filiación en la Universidad Politécnica de Valencia, posee el mayor número de citaciones, alcanzando un valor de 16895 citaciones y un índice H de 79.

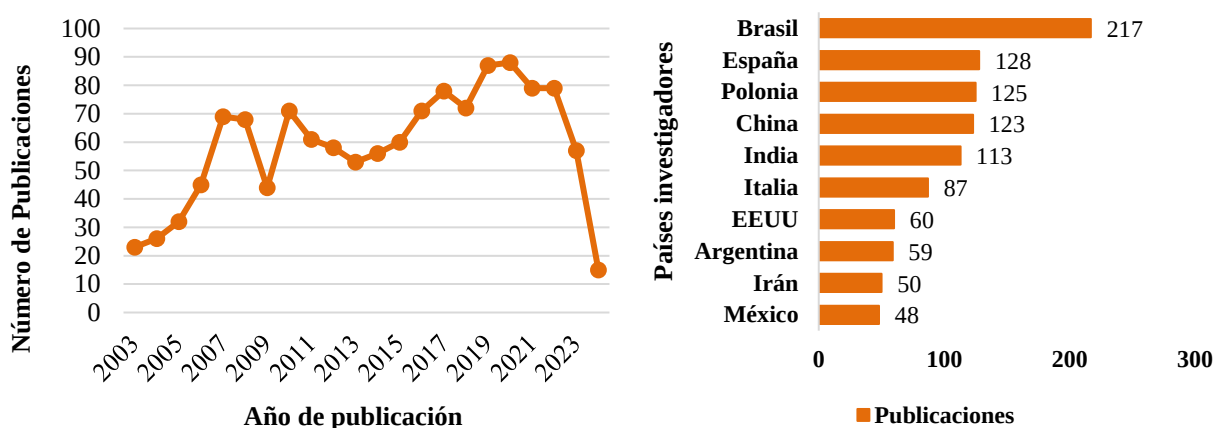
Para Suramérica, al revisar los perfiles de los investigadores, se encontró que no se reportan documentos científicos en deshidratación osmótica de tomate de árbol. Existen tres investigadores con filiación de Brasil: Hubinger, Miriam enfoca sus publicaciones en guayaba (*Psidium guajava* L.), melón (*Cucumis melo*), tomate de mesa (*Lycopersicum esculentum* Mill), papaya (*Carica papaya* L.), mango (*Mangifera indica*), fruta estrella (*Averrhoa carambola*), caju (*Anacardium occidentale*), entre otros; Rodrigues, Sueli, reporta resultados en melón (*Cucumis melo*), piña (*Ananas comosus*), fresa (*Fragaria*), banano (*Musa paradisiaca* L.), papaya (*Carica papaya* L.), pomoroso (*Syzygium malaccense*), entre otros; Fernandes, Fabiano Andre N reporta investigaciones en mango (*Mangifera indica*) principalmente. En el caso de Argentina, con filiación en la Universidad Nacional de La Plata, se encuentra el autor Mascheroni, Rodolfo Horacio con un número de citaciones de 1722 con sus documentos reportados en WoS. Dentro de las frutas que ha trabajado en sus investigaciones de osmodeshidratación y que están disponibles para consulta en Web of Science se encuentran calabaza o auyama (*Cucurbita moschata*), ciruela (*Prunus domestica*), durazno (*Prunus persica*), nectarina (*Prunus*

persica, variedad nucipersica), albaricoque (*Prunus armeniaca*), cereza (*Prunus cerasus*), frambuesa (*Rubus idaeus*), piña (*Ananas comosus*), entre otros.

Respecto al número de publicaciones y países investigadores, en la figura 17 se aprecia que Brasil lidera el listado de los diez países que más publicaciones reportan en WoS, correspondiente al 16,8% de los documentos científicos.

Figura 17.

Número publicaciones y países investigadores en la temática “Deshidratación osmótica de frutas”.



En segundo lugar, se encuentra España con 128 publicaciones, equivalente al 9,9% de las publicaciones y en tercer lugar Polonia con 125 publicaciones, con 9,7%. El grupo de países, mostrado en la figura 12, representan el 78,2% del total de publicaciones disponibles con la temática de búsqueda “deshidratación osmótica de frutas”. La tasa de crecimiento anual de publicaciones es de 4,4% y el número de publicaciones en los últimos seis años es de 462 documentos científicos, es decir un 35,8% del total de publicaciones reportadas en WoS, en esta línea de investigación.

5.4 Cuarta generación

5.4.1 Secado por microondas

Conforme a Chandrasekaran et al. (2013) el calentamiento por microondas se hace a través de la acción de un campo eléctrico oscilatorio que afecta las moléculas del agua, polarizándolas y causando una fricción interna, lo que conlleva a un calentamiento rápido y volumétrico debido a la alta frecuencia. Así mismo, Gupta y Wong (2007) afirman que existen diferentes tipos de calentamiento de alimentos que incluyen: secado, pasteurización, esterilización, descongelación, templado, horneado de materiales alimentarios, en general.

El secado por microondas tiene la ventaja de lograr velocidades de secado rápidas y mejorar la calidad de algunos productos alimenticios. Este proceso es muy útil durante la fase de velocidad decreciente en razón a que, en esta etapa, por efecto del calentamiento

volumétrico, se generan vapores en el interior del alimento, desarrollando un gradiente de presión interno que impulsa el agua al exterior, evitando la contracción de los materiales alimenticios durante el proceso de secado (Zhang et al., 2006). Tigreros (2023) evaluó el grado de inhibición de la actividad de peroxidasa, compuestos bioactivos y color en el fruto de tomate de árbol, variedad roja, sometido a escaldado con microondas a diferentes tiempos y potencias, la investigación demostró que se inactivó en un 90% la actividad enzimática de la peroxidasa, sin incidencias en el contenido de compuestos, excepto las vitaminas del complejo B y el color.

5.4.2 Secado por radiofrecuencia

Según Soto-Reyes et al. (2012), el calentamiento con microondas y el calentamiento con ondas de radiofrecuencia hacen parte del calentamiento dieléctrico. Ambos procesos permiten que la energía eléctrica sea convertida a radiación electromagnética de un tipo no ionizante, generando el calor a través de una interacción entre la energía electromagnética y un alimento.

Ramaswamy y Tang, (2008) plantean que una diferencia entre microondas y las ondas de radiofrecuencia es la región del espectro electromagnético en las que se establecen. El rango de frecuencia determinado para radiofrecuencia está entre 0,003 a 300 MHz mientras que para microondas se encuentran en el intervalo de 300 a 300,000 MHz. Adicionalmente, la utilización de calentamiento dieléctrico en vez de convección y conducción hace que los procesos se desarrollen en menor tiempo, tener mayor probabilidad de conservar el contenido de nutrientes y las características sensoriales de los alimentos (Campañone et al., 2012 y Salazar- González et al., 2012). No se encontraron documentos científicos acerca de la implementación de esta tecnología en tomate de árbol.

5.4.3 Secado por Ventana de refractancia

Conforme a lo investigado por Ormaza et al. (2016), el secado con ventana de refractancia utiliza energía infrarroja del agua, reduciendo los tiempos del proceso, lo que permite alcanzar bajas temperaturas en el producto, reduciendo el daño térmico del producto seco y permitiendo la deshidratación de líquidos y sólidos, así como la conservación de compuestos termolábiles como vitaminas y antioxidantes, transcurrido el proceso de secado.

Este método utilizado para secar productos, incluyendo jugos y purés, se implementa extendiendo el producto sobre una película de poliéster transparente mientras que la superficie inferior está en contacto con el agua caliente. Esta técnica de secado utiliza el agua caliente como medio de transferencia de calor, con temperaturas por debajo del punto de ebullición. Esta agua es reciclable y se puede reutilizar, en razón a que no entra en contacto con otras sustancias, haciendo eficiente térmicamente el sistema (Spolmann, 2019). No se evidenciaron publicaciones en bases de datos y repositorios acerca de esta tecnología aplicada a tomate de árbol.

5.5 Combinación de generaciones: Fruta confitada

Siguiendo las definiciones planteadas por el Ministerio de Salud y protección social, en la Resolución 3929 del 2013 y la Norma Técnica Colombiana NTC 695, 2013, se tiene que “frutas confitadas” son las frutas o partes de ellas que se someten a inmersión en jarabes de azúcares para contribuir a la prolongación de la vida útil de las mismas, con una presentación como producto seco o semiseco y en la cual se puede adicionar aditivos permitidos de grado alimentario.

Ampudia (2019) creó una línea de productos de confitería, enfocando su producción en gomas, caramelos blandos y deshidratados para tres frutas entre ellas tomate de árbol, determinó que, al realizar la evaluación sensorial por expertos entrenados, el confitado más aceptado en cuanto a apariencia olor y sabor fue la goma de tomate de árbol. En este trabajo de grado no evaluaron lo relacionado con compuestos bioactivos presentes en las frutas.

El tema de búsqueda “fruta confitada” en la base de datos WoS presenta un comportamiento de publicaciones con menor cantidad de documentos respecto a otros temas de búsquedas analizados en este documento y se muestra en la tabla 11. Sin embargo, los autores que evidencian mayor número de citas poseen valores superiores a las 11000 citas son: Coimbra, Manuel con un número de citas correspondiente a 12691 citas y un índice H de 58, con filiación en la Universidad de Aveiro, Portugal, seguido de Lindroos, Anna Karin, de la Universidad de Gothenburg, en Suecia con 12326 citas y un índice H de 40. En general, nueve de los diez autores reportan cinco publicaciones científicas en WoS para la línea de investigación estudiada.

En lo relacionado a la participación de las universidades y países, teniendo en cuenta la filiación de los autores, se encontró que el 40% de los investigadores están adscritos a Universidades o Institutos de investigación ubicados en Estados Unidos, seguido de un 30% que se encuentran en la Universidad de Aveiro, Portugal y el restante 30% en Suecia, Argentina y Arabia Saudita.

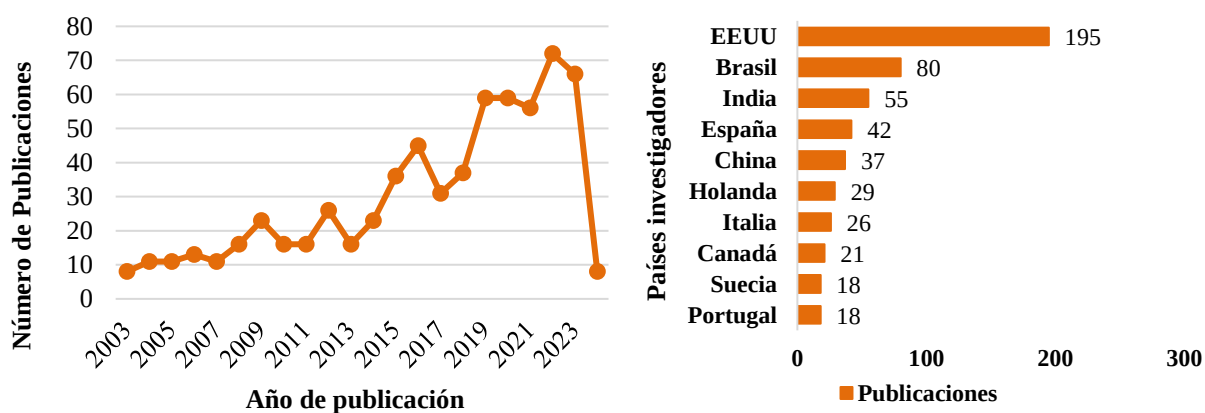
Enfocando el análisis en el reporte de documentos científicos publicados en esta base de datos, se pudo corroborar que los autores no han presentado artículos científicos o de revisión sobre tomate de árbol confitado. Analizando el perfil de investigadora de Schebor, Carolina, con filiación en la Universidad de Buenos Aires, Argentina, único país suramericano de los 10 principales investigadores, se encontró que ha centrado sus publicaciones en productos confitados a partir de grosella negra (*Ribes nigrum*), naranja (*Citrus sinensis*) y frambuesa (*Rubus idaeus*), principalmente.

Tabla 11.
Principales investigadores de “Fruta confitada”.

Autor	NP	NC	Índice H	Universidad
Schebor, Carolina	6	1014	19	University of Buenos Aires
Coimbra, Manuel	5	12691	58	Universidade de Aveiro
Nunes, Cláudia	5	2610	29	Universidade de Aveiro
Lindroos, Anna Karin	5	12326	40	University of Gothenburg
Al-Hazzaa, Hazzaa	5	7549	31	Princess Nourah Bint Abdulrahman University
Zakeri, Issa	5	2821	26	Drexel University
Bansal-Travers, Maansi	5	5594	38	Rosewell Pk Canc Inst
Harnack, Lisa	5	11469	59	University of Minnesota Twin Cities
Saraiva, Jorge Alexandre	5	8948	46	Universidade de Aveiro
Goniewicz, Maciej L	5	10650	47	Rosewell Pk Canc Inst

Revisando el consolidado de los diez países que más publican en la base de datos WoS y el número de publicaciones en el periodo comprendido entre 2003 y 2023, la figura 18 indica un avance positivo en la línea de investigación, la cual posee una tasa anual de crecimiento de 10,57%, con un 50% del total de publicaciones reportadas en los últimos seis años.

Figura 18.
Número publicaciones y países investigadores en la temática “fruta confitada”.



Los países que se muestran en la figura 13 conforman el 79,1% de las publicaciones totales reportadas, en las que Estados Unidos abarca el 29,6% con 195 publicaciones relacionadas con el término de búsqueda, siendo el país que ocupa el primer lugar del escalafón. En segundo lugar, se encuentra Brasil con 80 publicaciones y en tercer lugar se ubica India, con 55 publicaciones.

6. Conclusiones.

Se presentan las principales tecnologías para el procesamiento térmico y sus efectos sobre el contenido de algunos compuestos bioactivos presentes en *Cyphomandra betacea* Sendt, así como los investigadores que más publicaciones reportan en las diferentes tecnologías desarrolladas en la tesis doctoral. Conocer esta información permitirá establecer valores comparativos del contenido de algunos compuestos y bioactivos, entre lo reportado en los documentos científicos y lo encontrado en la fase experimental implementada en esta investigación.

Se evidenció que no se han reportado investigaciones científicas en algunas generaciones de tecnologías de secado y de concentración térmica para obtener nuevos productos a base de *Cyphomandra betacea* Sendt, lo cual permite plantear futuros proyectos que conlleven a generar nuevos conocimientos en esos métodos que aún no han sido implementados para tomate de árbol, en sus diferentes variedades.

Referencias

- Abad, J. (2014). Estudio del efecto de la combinación de dos tratamientos no convencionales, irradiación con rayos gamma y aplicación de un recubrimiento comestible, en la calidad poscosecha del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), Quito, Ecuador, p. 152. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/713>
- Aguilar, D. E. (2021). Estudio de crioconcentración en bloque asistida por centrifugación para zumos de tomate. <http://hdl.handle.net/2117/355558>
- Aguilar, C. N., Reyes, M., De la Garza, H., y Contreras-Esquivel, J. C. (1999). Aspectos bioquímicos de la relación entre el escaldado TB-TL y la textura de vegetales procesados. Journal of the Mexican Chemical Society, 43(2), p. 54 -62. <https://www.redalyc.org/pdf/475/47543104.pdf>
- Ampudia, E. Y. (2019). Creación de línea de productos de confitería: gomitas, caramelos suaves y deshidrataciones a base de tomate de árbol, tuna y granada dirigido a niños y adolescentes. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10531>
- Arapa, A., y Cahuana, D. (2015). Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado en la capacidad antioxidante de la pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum* dunal) y carambola (*Averrhoa carambola* L.), Puerto Maldonado, Perú, p. 91. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/244>
- Balderas, R., y Nelson, P. (2007). Aplicación de la Irradiación a la Industria Alimenticia y Análisis de Riesgos. In International Joint Meeting Contribution of Nuclear Energy to the Sustainable Development of Latin America, Cancún, México, p. 1-5.

<https://1library.co/document/qoo929mq-aplicacion-de-la-irradiacion-a-la-industria-alimenticia-y-analisis-de-riesgos.html>

Barreiro, J. A., y Sandoval, A. J. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio, Miranda, Venezuela, p. 3-9.

Buitron, F., y Ruales, J. (2023). Desarrollo de una bebida soluble antioxidante con base en tomate de árbol (*Solanum betacea*) para deportistas. Cedamaz, 13(1), 1-7. DOI: <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1721>

Campañone, L.A., Paola, C.A. y Mascheroni, R.H. (2012). Modeling and Simulation of Microwave Heating of Foods Under Different Process Schedules. Food Bioprocess Technol 5, 738–749. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0378-5>

Cardona, C. X., Cifuentes, Q., y Pinzón, F. (2002). Evolución de pulpa de lulo la selva almacenada en temperatura de refrigeración y congelación. IV Seminario Nacional, Frutales de Clima Frio Moderado, p. 252. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21317>

Casquete, G. S. (2020). Proyecto de exportación de pulpa de tomate de árbol por la Empresa Procesadora Agroindustrial “Mis Frutales” de la parroquia San Luis, provincia de Chimborazo hacia la ciudad de Nueva York, Estados Unidos en el periodo 2018. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/14357>

Castro, N. L. M., Fernández, M. C., Carpio, E. R. V., Coello, W. M. E., & Bravo, V. P. B. (2022). Diseño de una bebida a base de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) y cascarrilla de *Theobroma cacao* L (cacao). CIENCIA UNEMI, 15(40), 122-132. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp122-132p>

Cerquera, N. E. (2006). Determinación de variables de secado y diseño de un prototipo para deshidratación de pulpa de fruta en lámina. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia, p. 164. <https://repositorio.unal.edu.co/discover>

Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, Tanmay. (2013). Microwave food processing - A review. Food Research International. Volume 52, Issue 1, June 2013, Pages 243-261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>

Cortés, N. R. (2007). Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización de bocadillo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), en el Municipio de Guatavita, Cundinamarca, p. 97. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1677/2007-02T-40.pdf?sequence=1>

- Cuevas, M. J. (2012). Desarrollo de láminas flexibles enriquecidas con calcio de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*) con tomate de árbol (*Cyphomandra betacea Sendth*) y parchita con fresa (*Fragaria sp*). <http://hdl.handle.net/10872/8999>
- Chávez, M. F. (2022). Evaluación fisicoquímica, sensorial y reológica de la mermelada de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2449>
- Díaz López, K. R. (2021). Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la capacidad antioxidante y el color del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/192>
- Encalada, L. F. (2021). Elaboración de una bebida instantánea a base de suero de leche, pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y harina de maíz, mediante secado por aspersión. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37648/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Forero, M.J., y Falla, S. (2023). Diseño y formulación de dos tipos de salsas a base de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila. <https://repositoriousco.co/handle/123456789/13/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&value=Falla+Useche%2C+Stiven>
- Gacitúa V., J. (2019). Deshidratado convectivo vs Microondas al vacío [en línea]. Santiago: IMPRESUR Chile. Revista Campo & Tecnología. (no. 13) p. 56-59. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/63245>
- Giraldo-Gómez, G. I., Gabas, A. L., Telis, V. R., y Telis-Romero, J. (2010). Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperaturas por encima del punto de congelación. Food Science and Technology (Campinas), 30, p. 90-95. <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940103015.pdf>
- Gómez, H. E., Parra, F. J., Santos, J. M. D., y René, F. (2003). Modelo computacional para la liofilización de alimentos de geometría finita. Revista e-Gnosis, (1). https://www.redalyc.org/pdf/730/Resumen/Resumen_73000111_1.pdf
- González, D., Gil, A., Álzate, L. M., Bedoya, C., Salazar, B. C., y Londoño J. (2016). Aplicación de un tratamiento térmico para el mejoramiento de la calidad microbiológica, física y funcional del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Vitae (01214004), p. 23.
- Gupta, M., y Wong W.L.E. (2007). Microwaves and metals. <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=nx6N4dq7zJgC&oi=fnd&pg=>

[PR9&ots=xtpOzStxL3&sig=h49Xv6mVt5uH28OYmiAMeYuG8-0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/9133/211616_Procesos%20FRUVER_Modulo.pdf?sequence=1)

- Guzmán, R. (1991). Tecnología de frutas y verduras, Universidad Nacional abierta y a distancia, Colombia, p. 268.
https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/9133/211616_Procesos%20FRUVER_Modulo.pdf?sequence=1
- Hernández, J., y Quinto, P. (2005). Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso. Revista Científica Vol. 9 Núm. 2, México D.F, p. 63-71.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61490203>
- Hernández, G., y Moreno, M. J. (2000). Efecto del secado y del ácido cítrico sobre la degradación de los carotenoides de tamarillo (*Cyphomandra betacea* Sendt). Cienc. Tecnol. Aliment, 2(5), 228-233. <https://doi.org/10.1080/11358120009487606>
- Herrera L., W. X., y Angüisaca S., J. D. (2015). Formulación del diseño del proyecto de una planta productora de pulpa de fruta derivada de mora y tomate de árbol en la ciudad de Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7962>
- Herrera, S. L. (2018). Efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* de *Solanum betaceum*). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4373>
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods, ICMSF. (1980). Ecología microbiana de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, España, p 34 – 35.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. (2013). Norma Técnica Colombiana NTC 695: Frutas, legumbres y hortalizas procesados, Bogotá D.C, p 13.
- López, O. B., Montes, L. M., Serna Cock, L., y Franco, G. (2018). Conservación de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt) mínimamente procesado por deshidratación osmótica.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21319>
- Maca, M., Mejía, D. F., y Osorio, O. (2012). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del zumo de tamarillo (*Solanum betaceum*). Vitae, 19(1), p. 120-122.
<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914032.pdf>

- Márquez, C. J., Otero, C. M., Rojano, B. A., y Osorio, J. A. (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Temas Agrarios*, Colombia, 19(2), 173-184. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.732>
- Martínez, C. A. (2012). Efecto de la concentración y la temperatura en la deshidratación osmótica de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3158/1/AL497.pdf>
- Maupoey, P., Andrés, A. M., Barat, J.M., y Albors, A.M. 2001. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial UPV, p. 211. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true
- Mendoza, R., y Herrera, A. O. (2012). Cinética de inactivación de la enzima peroxidasa, color y textura en papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo phureja) sometida a tres condiciones de escaldado. *Información tecnológica*, 23(4), p. 73-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400009>
- Meza, N., y Manzano, J. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* Sendt) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), p. 289-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308209>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 3929 de 2013: “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.” Bogotá, D.C, Colombia, p.29. <https://www.minsalud.gov.co/Normatividad+Nuevo/Resolución%203929%20de%202013.pdf>
- Mohsenin, N. (1986). *Physical properties of plant and animal material*. V.1. New York: Gordon and Breach Science Publisher, p.861.
- Moreno, M. J., Girán, N., Serrano, K., García, D., y Belén, D. R. (2003). Evaluación microbiológica y fisicoquímica de néctares pasteurizados elaborados con pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* Sendth). *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 53(3), p. 282-286. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222003000300010

- Múnera, R.D. (2009). Procesos térmicos. Contenido didáctico del curso, Universidad Nacional abierta y a distancia, Palmira, Colombia, p. 72
- Muyulema, O. R. (2006). Perspectivas de Desarrollo de la Demanda de Leche Pasteurizada de la ESPOCH, en el Mercado Local. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, p. 119. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2282>
- Ormaza, A. M., Ayala-Aponte, A. A., y Ortega, K. J. (2016). Cambios físicos durante el secado de banana bocadillo (*Musa acuminata Colla*) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Vitae*, 23, S84. <https://www.proquest.com/openview/599ffa7209ea0703f43499b652277222/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Orosco, F. (2017). Efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú, p. 82. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/274>
- Orrego, C. E. (2008). Congelación y liofilización de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. No. 1, p. 169. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10647>
- Parra-Coronado, A. (2007). Técnicas de almacenamiento y conservación de frutas y hortalizas frescas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C, p. 142. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49683>
- Perrazo, E. R. (2019). Plan de negocio para la elaboración de pulpa orgánica de fruta congelada de tomate de árbol. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11832>
- Quintanilla G., y Ramos, E. (1986). Determinación de parámetros para la industrialización de los procesos de concentración y secado por atomización del jugo de algunas frutas. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, p. 316
- Quintanilla A, C. A. (2012). Estudio de mercado para la comercialización de la pulpa natural de tomate de árbol de la Procesadora Agroindustrial “Mis Frutales” SA de la parroquia San Luis de la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo hacia el mercado de Beijing-China. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10598>
- Quintanilla, S. E., y Toledo, C. I. (2016). Diseño e implementación de un sistema de control automático para el secador por atomización para la obtención de un colorante natural a partir de la remolacha del laboratorio de procesos industriales, Escuela

- Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, p. 111.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6486>
- Ramaswamy, H., y Tang, J. (2008). Microwave and radio frequency heating. Food Science and Technology International, 14(5), 423-427. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013208100534>
- Ramírez, H. (2011). Sistemas de producción de fresa de altas densidades (Trabajo de grado de Maestría).
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/506/Ramirez_Gomez_H_MC_Edaforologia_2011.pdf?sequence=1
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). Liofilización de alimentos. Revista ReCiTeIA. <https://www.calameo.com/read/00043365419cd1f250c9c>
- Rivera, A. D. (2022). Plan logístico para la exportación de pulpa de tomate de árbol desde la ciudad de Patate, Tungurahua hasta la recepción de la fruta en Montreal–Canadá. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/19541>
- Rojas, D. S., Repo de Carrasco, R., y Encina, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Revista de la Sociedad Química del Perú, 83(2), p. 174-186. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200004
- Salazar, P. V. (2023). Proceso logístico de exportación para la pulpa de tomate de árbol hacia Estados Unidos. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6905>
- Salazar-González, C., San Martín-González, M. F., López-Malo, A., y Sosa-Morales, M. E. (2012). Recent studies related to microwave processing of fluid foods. Food and bioprocess technology, 5, 31-46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0639-y>
- Soto-Reyes, N., Rojas-Laguna, R., y Sosa-Morales, M. (2012). Modelación del calentamiento dieléctrico (microondas y radiofrecuencia) en sistemas alimenticios modelo. Temas selectos de ingeniería alimentos, 6(2), 19-31. <https://www.researchgate.net/publication/312368826>
- Spolmann, A. (2019). Efecto del espesor de película de Mylar® en la cinética de secado de pulpa de *Physalis peruviana* por método ventana de refractancia. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175114>
- Suárez, R. (2001). Conservación de alimentos por irradiación. Invenio, 4(6), p. 85 – 124. <https://www.redalyc.org/pdf/877/87740608.pdf>

- Tabares, C., y Velásquez, J. (2003). Estudio de la vida de anaquel de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) osmodeshidratado empacado en atmósfera modificado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, p. 117. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2693/clauidatabaresalboreda.2003.pdf.pdf>
- Tigreros, J. A. (2023). Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja (Master's dissertation, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85235/1113619047.2023.pdf?sequence=2>
- Tito, M. C. (2019). Evaluación comparativa de la capacidad antioxidante del fruto liofilizado de *Solanum betaceum* cav. (tomate de árbol) variedades rojo, amarillo y rojo-morado; y formulación de una crema antioxidante. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3675/UNFV_Tito_Pillaca_María_Cinthya_Título_Profesional_2019.pdf?sequence=1
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendt. Archivos latinoamericanos de nutrición, 62(4), 381-388. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222012000400010&script=sci_arttext
- Vargas, L., y Pinzón, M.A. (2023). Formulación, desarrollo y caracterización fisicoquímica de gomas funcionales con ingredientes de interés nutricional, p.110. <https://repositoriousco.co/handle/123456789/4062>
- Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. Journal of food engineering, 49(4), 271-289. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7)
- Villa, C. C., Nieto, J. A., y Pinzón, M. I. (2009). Compositional and microbiological changes associated with successive osmodehydration cycles of tree tomato. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 7(1), 29-35. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a05.pdf>
- Viteri, J., Cruz, M., Bravo, J., y Viteri, F. (2011). Estructuración de buenas prácticas agrícolas y aplicación de la radiación UV-C en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Tsafiqui, (2), 7-16. DOI: <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i2.45>
- Wais, N. (2011). Secado combinado de frutas: deshidratación osmótica y microondas (Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería), p. 224.

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38494/Documento_completo.pdf?sequence=1

Web of Science. (2024). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

Yanza, E. (2003). Diseño de un secador por atomización a nivel piloto para jugo concentrado de tomate de árbol. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2659>

Yanza, E. G., y Maldonado, L. Y. (2012). Determinación del contenido de α -tocoferol y β -caroteno en el zumo y el liofilizado de tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Cav Sendt*). Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 10(2), p. 28 – 35. DOI: <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2012.82>

Zapata, J., y Castro G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 52(1), p. 451-466. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23782>

Zhang M., Tang J., Mujumdar A.S., y Wang S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 17, pp. 524-534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.011>

Capítulo 4

Estudio comparativo de algunas propiedades morfológicas y de madurez en frutos de tres variedades de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), cultivados en Colombia.

Resumen

Se determinaron algunas propiedades morfológicas, estructurales y de madurez en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) para tres variedades, clasificadas por color, cultivadas en Colombia: T111-P: amarillo; T112-P: rojo y T113-P: púrpura, con cinco réplicas. Para la identificación morfológica en estado fresco (madurez comercial), se evaluaron los siguientes parámetros: longitud, altura, diámetro, grosor, número de semillas y peso, el cual fue evaluado para todos los componentes presentes en el fruto: Nudo+pedúnculo+sépalo, cuello verde, epidermis, pulpa, médula, arilo y semillas. Así mismo, se hizo seguimiento a los siguientes parámetros: firmeza, color en piel y pulpa, contenido de sólidos solubles (°Brix), pH, acidez (%), humedad en base húmeda (%) y densidad de las pulpas. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente de manera descriptiva con un nivel de significancia $p < 0,05$. Se reconocieron las principales partes morfológicas y estructurales que se presentan en cada variedad de la fruta, teniendo como base y adaptando para ello, lo contemplado en la Norma Técnica Colombiana, NTC 4486 y NTC 4105 y su correlación con algunos parámetros de madurez, que, para este estudio, presentaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, especialmente en las coordenadas de color, porcentaje de pulpa, número de semillas, peso, contenido de azúcares, contenido de humedad y firmeza.

Palabras clave: Tamarillo, fisiología postcosecha, morfología en frutas, madurez fisiológica.

1. Introducción

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) es un fruto no climatérico que alcanza su madurez comercial en un periodo de tiempo de 21 a 24 semanas después de la floración, dependiendo de la variedad y la ubicación de producción del cultivo (Universidad de California Davis, 2024). Dentro de los índices de calidad a destacar en este fruto se encuentra el color, como un indicador de madurez y además como factor diferenciador de las variedades existentes en cada país, caracterizándose principalmente por las tonalidades amarilla, naranja, roja y púrpura, así como las diferentes formas, especialmente redondeadas, ovoides y alargadas (Quichimbo, 2024).

Parra-Coronado et al. (2006) consideran que para establecer la madurez de un fruto también se requiere tener en cuenta otros parámetros como firmeza de la pulpa, acidez titulable, contenido de sólidos solubles y relación de madurez. De igual manera, afirman que estas propiedades son afectadas por las condiciones agroclimáticas de la región e inciden directamente sobre la firmeza, color y contenido de sólidos solubles, lo que indica que pueden presentarse algunas diferencias entre los valores reportados para estos parámetros, debido a la ubicación geográfica de las variedades estudiadas.

Dentro de las investigaciones realizadas acerca de la caracterización morfológica y de madurez de frutos de tomate de árbol se destacan la desarrollada por Meza y Manzano (2009) quienes evaluaron algunas características físicas y químicas de la parte comestible teniendo en cuenta el diámetro, grosor de pericarpio más mesocarpio, peso de placenta y semillas, contenido de azúcares, pH y acidez, en dos tipos de tomate de árbol cultivados en Venezuela, encontrando diferencias significativas en sus variables de respuesta para la variedad que contiene arilo rojo. Para Ecuador, Cáceres (2012) evaluó algunos parámetros fisicoquímicos en dos variedades de tomate de árbol, basado en la utilización de tres tipos de empaque y dos ambientes de almacenamiento para estimar el tiempo de vida útil del producto, permitiendo el diseño de un manual postcosecha que garantice una producción limpia; Villares et al. (2018) realizaron una descripción fenotípica de las características fisicoquímicas de los frutos, encontrando tres grupos a los que se les establecieron los indicadores de calidad de la fruta. Por otra parte, Capistrán et al. (2017), en México, valoraron algunos cambios en los indicadores fisicoquímicos de la pulpa y el mucílago gelatinoso de los frutos, en un tiempo determinado utilizando empaques de atmósferas modificadas, y encontraron que solo se registraron cambios leves en las características fisicoquímicas de los frutos de tomate de árbol almacenado en refrigeración hasta por 42 días.

En Colombia, Bernal (2009) diferenció cinco variedades de tomate de árbol asociadas a producción comercial y de carácter comestible. Se resalta además que en esta investigación se identificaron variedades silvestres no comerciales y que se asocian a la especie *Cyphomandra hartwegii*. Las variedades comerciales y comestibles que pertenecen a la especie *Cyphomandra betacea* Sendt son rojo común, amarillo común, amarillo-redondeado, partenocárpico y rojo-púrpura o tamarillo.

En cuanto a la normatividad existente para la fruta fresca, en Colombia se encuentra vigente la norma técnica colombiana NTC 4105 (ICONTEC, 1997). Sin embargo, en esta sólo se presentan los requisitos generales y específicos para la variedad rojo común. Lo anterior, no hace posible realizar una clasificación acertada de los frutos de las otras variedades, por cuanto se debería asumir que todos los frutos, sin importar la variedad, tienen el mismo comportamiento respecto a los valores de los parámetros fisicoquímicos. Así mismo, se carece de un conocimiento sobre la terminología estructural y morfológica asociada al fruto, desconociendo de manera general las definiciones de cada parte que componen el tomate de árbol, debido a que la NTC 4486 (ICONTEC, 1998) no muestra ninguna información al respecto sobre este producto. Se observa que en algunos almacenes de cadena clasifican las variedades de tomate de árbol teniendo como parámetros el color y el tamaño.

Es por ello, que el objetivo de esta investigación es caracterizar algunas propiedades morfológicas, estructurales y de madurez en tres variedades de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), cultivadas en Colombia.

2. Metodología

2.1 Obtención de la materia prima

Se adquirieron los ejemplares de la fruta en la central de abastos de la ciudad de Neiva, Huila, Colombia, ubicada a 305 km de la ciudad de Bogotá D.C. Se evaluaron las tres variedades de los frutos clasificadas por color: amarillo T111-P, rojo T112-P y púrpura T113-P. El estado de madurez de la fruta fue seleccionado teniendo como base para ello la norma técnica colombiana NTC 4105 (ICONTEC, 1997), en la cual se describen los requisitos que debe cumplir el tomate de árbol, destinado para el consumo fresco o como materia prima para el procesamiento. Se almacenaron en un ambiente refrigerado con temperatura de 3-4 °C y humedad relativa del 90-95%, según las indicaciones de la Universidad de California Davis (2024). Las pruebas se realizaron en los laboratorios de Control de Calidad y de Procesos Agroindustriales, ubicados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, Sede Neiva, Huila, Colombia. La investigación adelantada fue de tipo experimental y carácter exploratorio, y todos los parámetros fueron evaluados con cinco réplicas para cada variedad.

2.2 Adaptación de terminología morfológica y estructural relacionadas con el fruto.

Se tomó como base lo contemplado en la NTC 4486 (ICONTEC, 1998), respecto a la terminología morfológica y estructural de frutas y verduras, y se adaptó para caracterizar de manera detallada las partes morfológicas y estructurales del fruto en cada una de las tres variedades. En vista de que no existía este proceso para el tomate de árbol, se tomó como referencia lo establecido en la NTC 4486 (ICONTEC, 1998) para Tomate (*Lycopersicum esculentum*). Se hizo seguimiento fotográfico utilizando las aplicaciones móviles Photoroom y la herramienta Microsoft Paint, para la edición de imágenes utilizadas en la identificación morfológica. Las imágenes fueron tomadas con la cámara de un dispositivo móvil Huawei P50-pro, modelo JAD-LX9, con un ángulo de inclinación de 0° y un fondo color negro. Estas imágenes se usaron también para establecer las coordenadas de color CIELa*b* de la piel de los frutos conforme a la metodología de Castro et al. (2013).

2.3 Dimensiones

Para las dimensiones de las frutas frescas se utilizó la metodología propuesta por Mohsenin (1986) y validada por Parra-Coronado et al. (2006), determinando dimensiones de la fruta considerando la altura (A) y el diámetro (D) en mm, peso unitario (g), densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), densidad real ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), porosidad (%) y área superficial real (mm^2). La forma se estableció conforme a lo propuesto por Quichimbo (2024) en donde se estableció un factor con el cociente entre la altura y el diámetro de los frutos.

2.4 Análisis fisicoquímicos

- Firmeza: se empleó un penetrómetro PCE-FM 200 con un puntal de 8 mm de diámetro, siguiendo el protocolo planteado por Gutiérrez et al. (2012).
- Peso: fue evaluado tanto para los frutos completos como para todos los componentes presentes en el fruto: Nudo+pedúnculo+sépalo, cuello verde,

epidermis, pulpa, médula, arilo y semillas, utilizando una balanza analítica OHAUS de 0.0001g de precisión y adaptando la metodología de Meza y Manzano (2009).

- Número de semillas: se realizó conforme a lo descrito por Meza y Manzano (2009).
- Densidad: La densidad de la pulpa de fruta fresca, se determinó según el método AOAC 945.06 (A.O.A.C 1998), con un picnómetro de 50 ml de volumen, a 20°C utilizando agua destilada como líquido de referencia.
- pH: Se empleó el método AOAC 981.12 (A.O.A.C 1998), utilizando un equipo Schott Lab 850.
- Sólidos solubles totales: Se empleó el método AOAC 932.12 (A.O.A.C 1998), mediante el uso de un refractómetro digital marca ATAGO, modelo Pocket Pal- α 3840.
- Acidez titulable: Basado en el porcentaje de ácido cítrico presente en las frutas, titulando con una solución de hidróxido de sodio con una concentración de 0.1N (Método AOAC 942.15, (A.O.A.C 1998)).
- Relación de madurez: se calculó como el cociente entre el porcentaje de sólidos solubles y el porcentaje de acidez.

2.5 Comparación con la NTC 4105 (ICONTEC, 1997)

La Norma Técnica Colombiana NTC 4105 de ICONTEC, actualizada en el año 1997, contiene todas las especificaciones a cumplir en tomate de árbol para su comercialización como fruta fresca o materia prima. Al mostrar especificaciones solo para la variedad roja, se hizo un comparativo de los requisitos contemplados en cada sección de la normativa, adaptando los resultados encontrados para las otras dos variedades y así evaluar su grado de cumplimiento en las tres variedades.

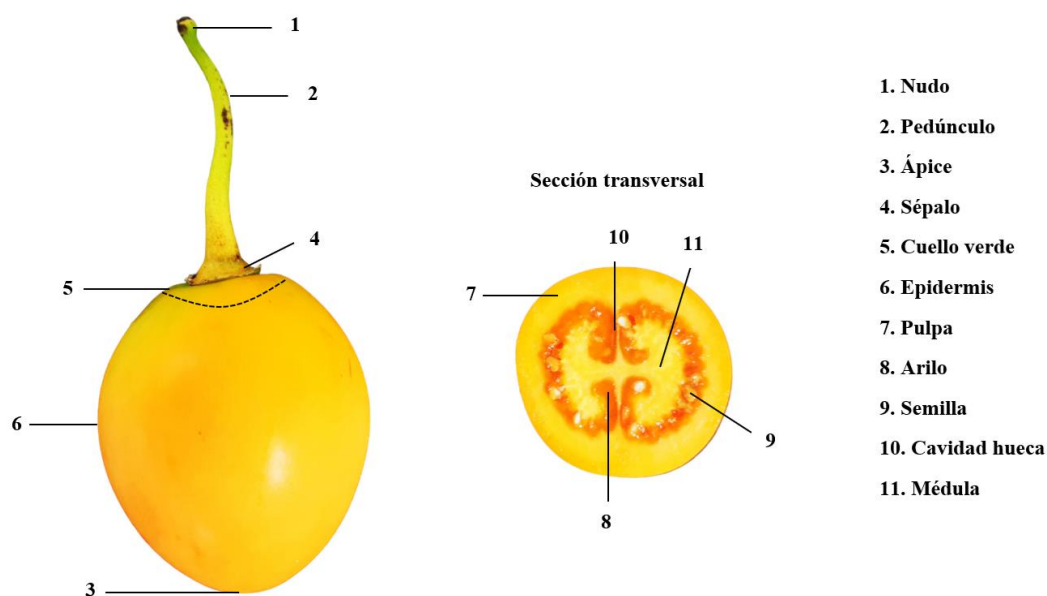
3. Resultados

3.1 Adaptación de la NTC 4486 (ICONTEC, 1998) para terminología morfológica del tomate de árbol

En las figuras 19, 21 y 23 se indican cada uno de los términos morfológicos adaptados de la NTC 4486 (ICONTEC, 1998), que, en su numeral 12, lo muestra para tomate de mesa. Al hacer parte de la misma familia botánica se pudo comparar elementos comunes de sus partes y proceder con el reconocimiento morfológico y estructural para el fruto investigado.

Figura 19.

Terminología morfológica y estructural para tomate de árbol amarillo.



De esta identificación, en general para las tres variedades se diferenciaron once partes, iniciando por el nudo (1), que se conoce como el primer ensanchamiento del pedúnculo (ICONTEC, 1997) y es el indicador de la altura de corte, en el momento de cosechar los frutos, ya que debe conservarse la totalidad del pedúnculo en este proceso (García, 2008); el pedúnculo (2) o tallo del fruto, que, en este caso, dependiendo de la variedad, presenta diferencias en su longitud. En posición opuesta al pedúnculo se encuentra el ápice (3) con forma redondeada, diferenciado según cada variedad y cumpliendo con la clasificación propuesta por Quichimbo (2024); el siguiente componente morfológico es el sépalo (4) que se encuentra conectado al cuello verde del tomate de árbol, en la parte superior del fruto. El cuello verde (5) es la fracción que conserva más tiempo la tonalidad verde, caracterizándose además por ser la parte más dura del producto durante su almacenamiento y procesamiento. Seguidamente se reconoce la epidermis de la fruta (6), apreciándose una piel lisa y brillante en todas las variedades, coincidiendo con lo reportado por León et al. (2004).

En la sección transversal se identificó el mesocarpio, en este caso, llamado pulpa (7), el cual es la parte comestible de la fruta y con la que se desarrolla la mayoría de los procesos de transformación a base de tomate de árbol. A continuación, se encuentra el arilo (8), el cual es gelatinoso y contiene fluidos que presentan colores diferentes, dependiendo de la variedad de los frutos, en concordancia con lo consolidado por Bernal y Díaz (2003).

Las semillas (9) en esta baya, se encuentran delimitadas por la cavidad hueca del fruto (10) y ancladas a la médula (11) que le brindan un tipo de placentación axial, característica de la familia Solanácea a la que pertenece el tomate de árbol.

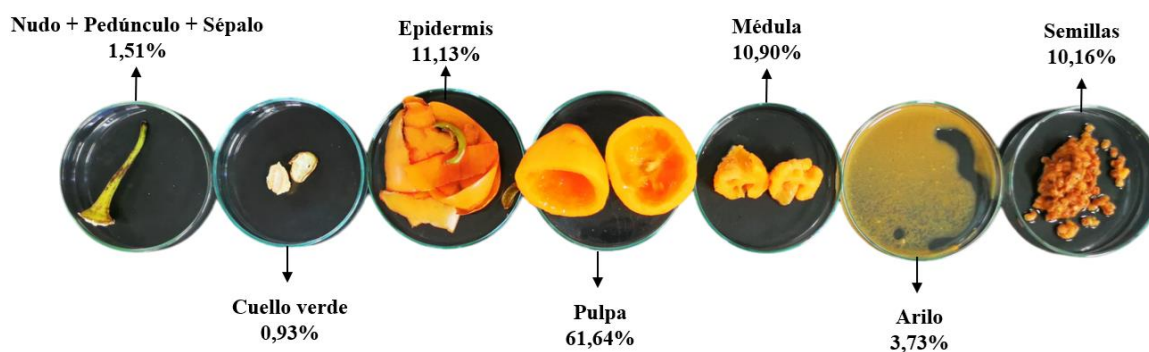
En lo relacionado con la figura 19, correspondiente a tomate de árbol amarillo, se evidencia que cada componente morfológico se encuentra perfectamente diferenciado, destacando la forma redondeada del fruto en esta variedad y una presencia de tonalidades verdes en el cuello, así como un tono amarillo predominante característico de este tipo de tomate de árbol, el cual se intensifica al interior de los fluidos contenidos en el arilo que cubre las semillas. En general, al realizar la separación de componentes para cuantificar su peso, no se presentaron inconvenientes en razón a que cada parte se separó sin ningún grado de dificultad. La forma del pedúnculo tiende a presentar una curvatura, a medida que se acerca al nudo del tallo del fruto. Es la variedad que presenta mayor ensanchamiento en el nudo.

Continuando con la caracterización, en la figura 20 se aprecia el porcentaje que representa cada una de las partes identificadas en los frutos de tomate de árbol variedad amarilla.

El peso total promedio de los frutos evaluados en esta variedad fue de 190, 48g, con una desviación estándar de $\pm 15,28$ g. La pulpa o mesocarpio abarca la mayor parte del fruto con un porcentaje de 61,64%; el 11,13% del peso total del fruto corresponde a la epidermis, el 10,90% a la médula, el 10,16% a las semillas, el 3,73% al fluido contenido en el arilo, el 0,93% al cuello verde y el 1,51% a la unión nudo, pedúnculo y sépalo. En total, el 76,27% del fruto se encuentra apto para procesamiento, conformado por pulpa, médula y arilo.

Figura 20.

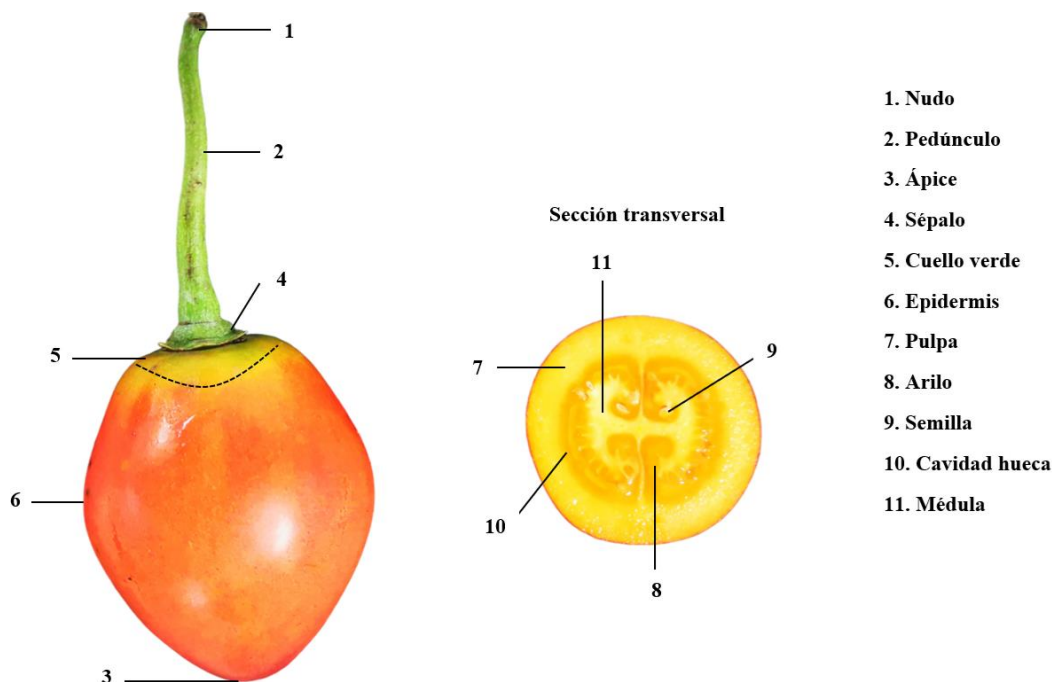
Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol amarillo.



Seguidamente, en la figura 21 se muestra la terminología morfológica y estructural para tomate de árbol rojo, similar a la variedad color amarillo, diferenciándose de ella principalmente por un espacio reducido, casi inexistente de la cavidad hueca, lo que hace que en el momento de separación por componente se dificulte el desprendimiento de la médula, arilo y semillas.

Figura 21.

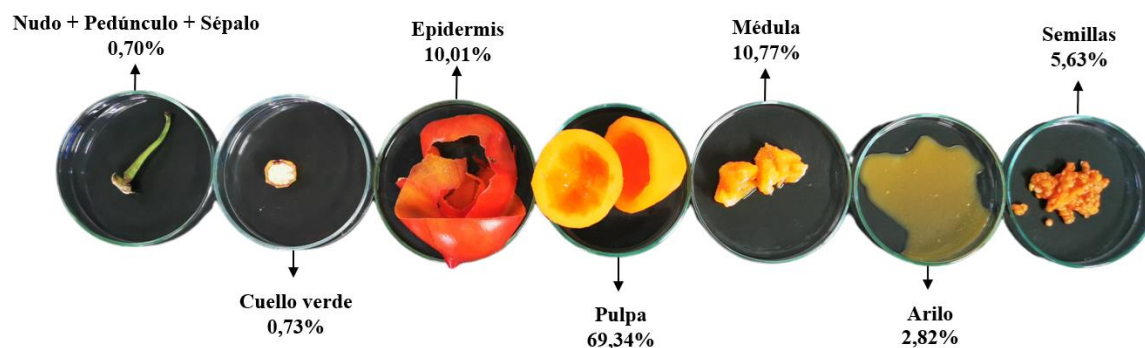
Terminología morfológica y estructural para tomate de árbol rojo.



En el caso de la variedad de tomate de árbol color rojo los porcentajes de los componentes se describen en la figura 22.

Figura 22.

Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol rojo.



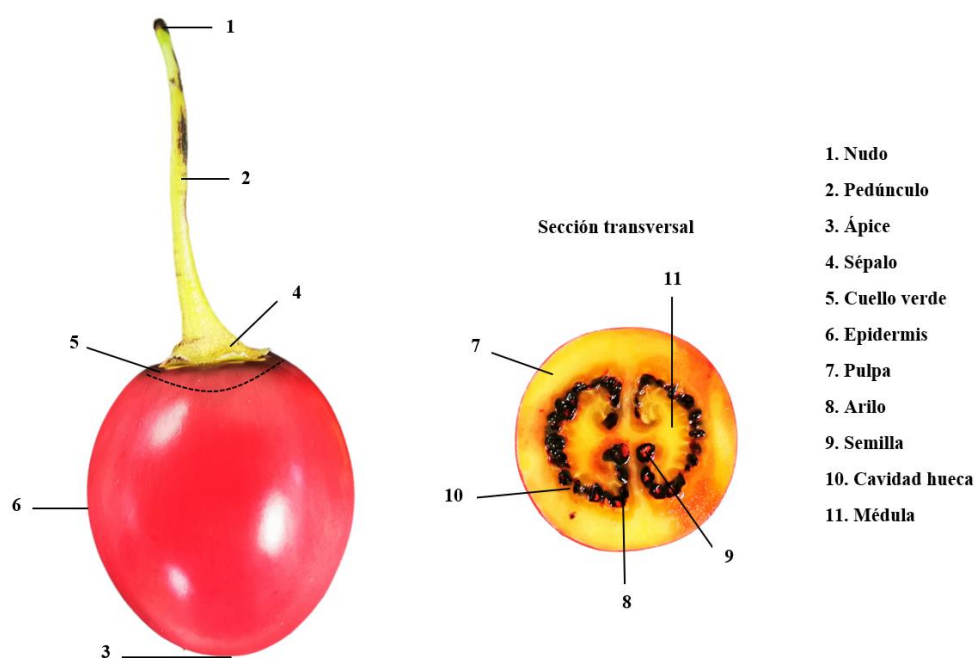
De esta separación por componentes se considera destacado el porcentaje de pulpa o mesocarpio de esta variedad color rojo, con un valor de 69,34% que la convierte en la variedad que mayor porcentaje de pulpa presenta y, en ese sentido el 82,93% de los componentes de los frutos están aptos para el aprovechamiento industrial alimentario del producto. Así mismo, es la variedad que más poco porcentaje de arilo presenta con un valor

de 2,82%. En general, todos los componentes que no hacen parte del procesamiento alimentario y que se consideran “subproductos” presentan porcentajes más bajos que en las otras dos variedades.

Para la variedad púrpura se observan similitudes en la mayor parte de los componentes morfológicos, excepto en el arilo que en esta variedad presenta el pigmento morado característico indicando la presencia de antocianinas, como se aprecia en la figura 23:

Figura 23.

Terminología morfológica y estructural para tomate de árbol púrpura.



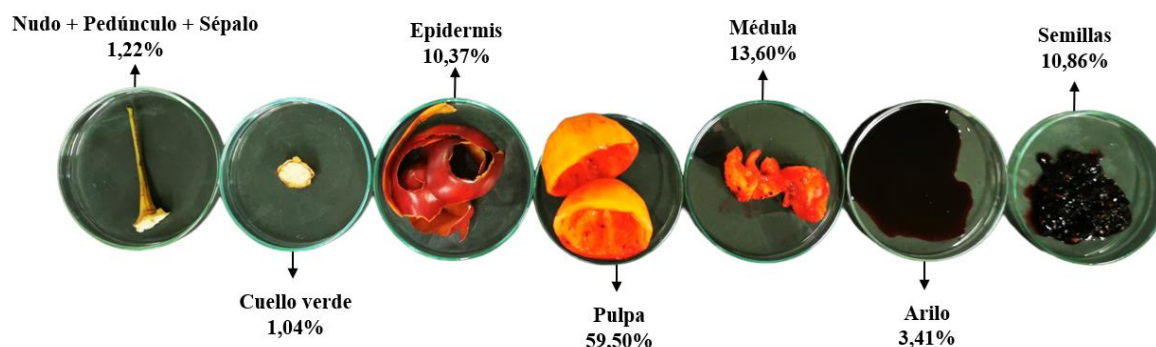
La epidermis del tomate de árbol púrpura presenta tonalidad púrpura oscuro en la zona del cuello verde del fruto. El nudo no presenta ensanchamiento en su parte final como ocurre en las otras dos variedades estudiadas y la cavityad hueca de los frutos de esta variedad se encuentra delimitada por un mucílago color amarillo intenso, haciendo que en el momento de realizar la separación por partes se desprenda fácilmente el arilo, semillas y médula del mesocarpio.

En la figura 24 se desagregan los porcentajes de los componentes para los frutos de tomate árbol púrpura. Al revisar el porcentaje de mesocarpio o pulpa de los frutos se encuentra un valor de 59,50%, siendo el más bajo de las tres variedades analizadas en esta investigación. De igual manera, la médula posee un porcentaje mayor en esta variedad, comparada con las variedades de color amarillo y color rojo. El 76,51% del fruto se puede aprovechar en procesamiento alimentario, que es un porcentaje de rendimiento muy similar al de la variedad amarilla. La variedad que presenta el mayor porcentaje de

aprovechamiento para procesar es la variedad color rojo, la cual es la que se comercializa en mayor volumen en el territorio Nacional.

Figura 24.

Separación y cuantificación de los componentes del tomate de árbol púrpura.

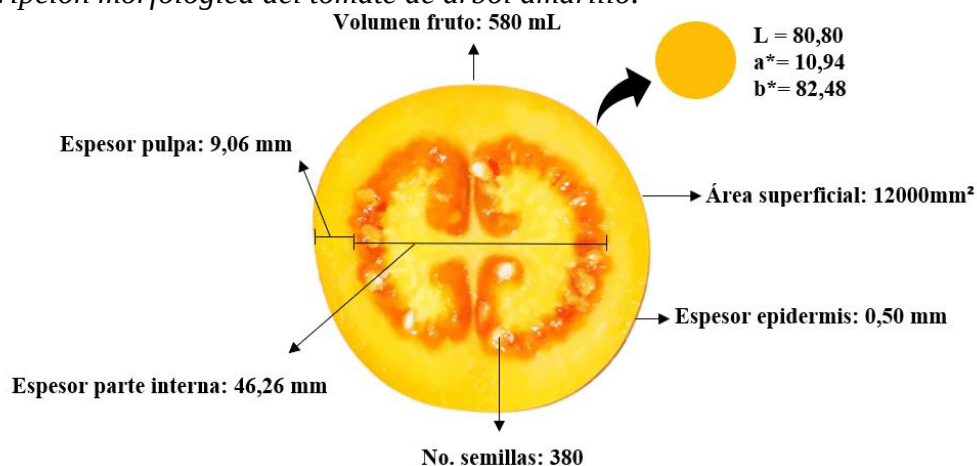


3.2 Determinación de algunas propiedades fisicoquímicas en tomate de árbol

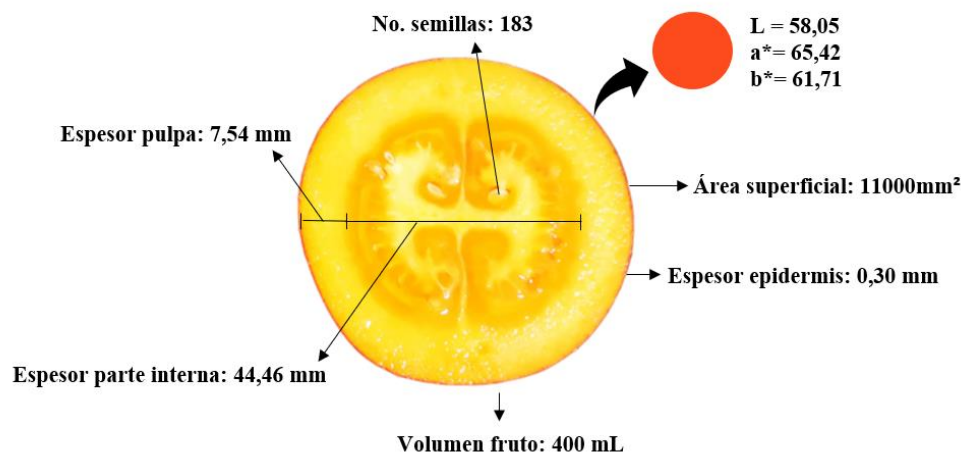
Siguiendo con la descripción morfológica del tomate de árbol amarillo surge la figura 20 en donde se muestra una sección transversal con los espesores de algunas estructuras del fruto, número de semillas, volumen, área superficial y las coordenadas colorimétricas de la epidermis.

El espesor comprendido entre los extremos de la cavidad hueca del fruto, en un corte transversal del mismo, se conoce como espesor parte interna, el cual para la variedad color amarillo tiene un valor de 46,26 mm, en cuanto a las mediciones restantes se destacan el espesor del mesocarpio o pulpa de 9,06 mm y el espesor de la epidermis de 0,50 mm; el área superficial del fruto fue de 12000 mm² y su respectivo volumen de 580 mL; y en cuanto al número de semillas se registró un valor promedio de 380 semillas.

Padrón (2010) se enfoca en las coordenadas de color L, a* y b, siendo a* y b* las coordenadas cromáticas rectangulares (+a = rojo y -a = verde / +b= amarillo y -b = azul). Respecto a las coordenadas colorimétricas de la epidermis, en la figura 25 se muestra la coordenada L, la cual indica la luminosidad que, para la variedad amarilla es de 80,80%, en cuanto a la coordenada a* se presenta un valor positivo de 10,94, indicando la tendencia hacia el color rojo y en b* de 82,48 hacia el color amarillo, corroborando que se estudiaron frutos de color amarillo intenso y brillante, característicos de esta variedad.

Figura 25.*Descripción morfológica del tomate de árbol amarillo.*

En la descripción de la figura 26, correspondiente a la variedad roja, existen algunas diferencias respecto a la figura 25. El espesor de la parte interna para la variedad roja es de 44,46mm, el espesor del mesocarpio o pulpa el valor fue de 7,54 mm, el espesor de la epidermis de 0,30 mm, el volumen de 400 mL y el número de semillas de 183, siendo esta la variedad que menor cantidad de semillas presenta. El área superficial del fruto fue de 11000 mm².

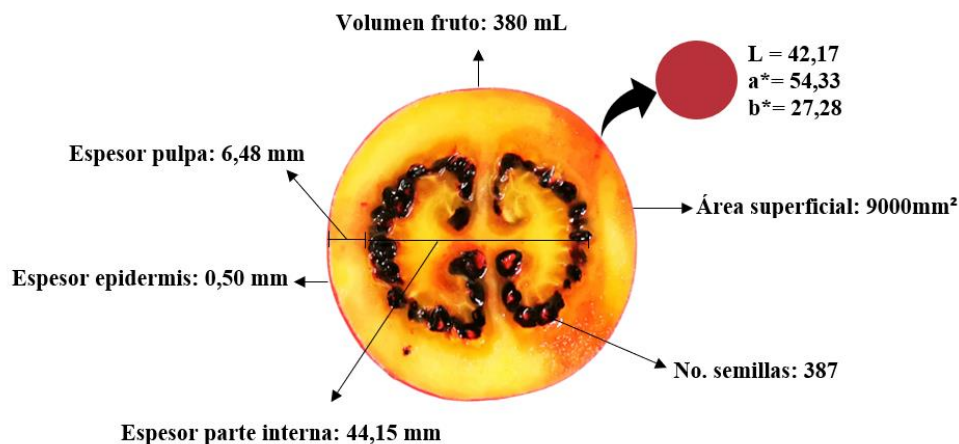
Figura 26.*Descripción morfológica del tomate de árbol rojo.*

Siguiendo con las coordenadas CIELa*b*, la luminosidad L presenta un valor de 58,05%, indicando que es menos luminosa que la variedad amarilla, respecto a la coordenada a* se muestra un valor positivo de 65,42, indicando la tendencia hacia el color rojo y en b* de 61,71 hacia el color amarillo. Este comportamiento de las coordenadas a*

y b^* indica que, por tener valores similares, al buscarse en un plano de colores de cuadrante rojo – amarillo se logra la tonalidad naranja rojiza que caracteriza la epidermis de esta variedad.

Figura 27.

Descripción morfológica del tomate de árbol púrpura.



Para detallar el comportamiento de estos parámetros en la variedad púrpura se realizó la figura 27. En esta se observa que el espesor de la parte interna para la variedad púrpura es de 44,15mm, con valores similares a los de las otras dos variedades, especialmente la roja. En cuanto a los otros parámetros: espesor del mesocarpio o pulpa el valor fue de 6,48 mm, el espesor de la epidermis de 0,50 mm, el volumen de 380 mL, siendo los frutos más pequeños de todas las tres variedades estudiadas y el número de semillas fue de 387, es decir, esta es la variedad que mayor número de semillas presenta. El área superficial del fruto fue de 9000 mm².

Revisando la luminosidad de la piel de los frutos L de la variedad púrpura, presenta un valor de 42,17%, indicando que es menos luminosa que las variedades amarilla y roja. Respecto a la coordenada a^* se muestra un valor positivo de 54,33, indicando la tendencia hacia el color rojo y en b^* de 27,28 hacia el color amarillo. Esto indica que en el cuadrante rojo – amarillo aplicado para valores positivos de a^* y b^* , predomina la tonalidad roja oscura que caracteriza la epidermis de esta variedad.

En general, al contrastar las tres variedades evaluadas en esta investigación con la NTC 4105 (ICONTEC, 1997) se observó que la totalidad de los frutos se clasificaron como frutas frescas de “Categoría extra”. Los frutos cumplieron con los requisitos generales exigidos, es decir frutos enteros, con su forma característica ovoidal redondeada, sanos y libres de ataques de plagas y enfermedades, libres de humedad externa, exentos de cualquier olor y sabor extraños, con aspecto fresco y consistencia firme, libre de materiales como polvo agroquímicos o restos de suelo y con su pedúnculo completo, cortado a la altura del nudo.

El número de semillas contenidas en las tres variedades no se encuentran dentro del rango de número de semillas reportada por León et al., (2004) en Ecuador, que muestran un rango de 200 a 300 semillas en cada fruto. Igualmente ocurre con lo estudiado por Meza y Manzano (2009) quienes investigaron este parámetro en variedades cultivadas en Venezuela obteniendo un número de semillas de 224,80 semillas para color de arilo amarillo y de 283,76 para color de arilo rojo, es decir, se presenta un comportamiento diferente en las variedades cultivadas en Colombia frente a los valores reportados en esos dos países.

A continuación, en la tabla 12, se muestran los resultados de pruebas no destructivas asociadas con algunas propiedades físicas del tomate de árbol para las tres variedades estudiadas:

Tabla 12.

Propiedades físicas correspondientes a las tres variedades de tomate de árbol estudiadas.

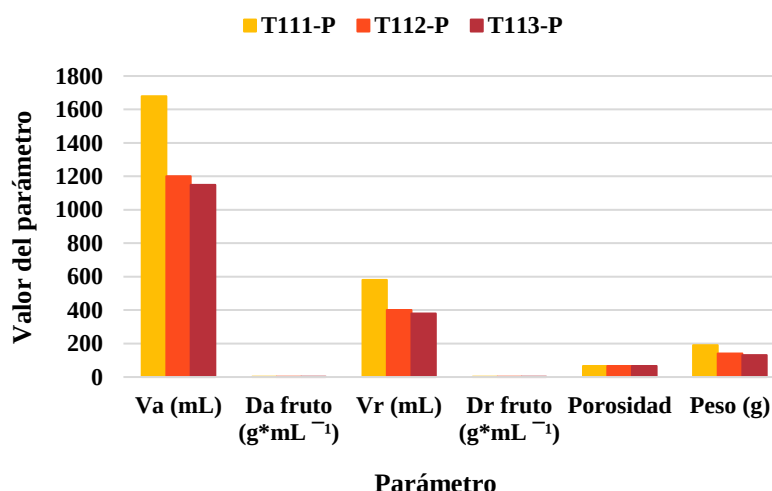
Parámetro	T111-P	T112-P	T113-P
Va (mL)	1680	1200	1150
Da fruto (g*mL⁻¹)	0,34	0,35	0,33
Vr (mL)	580	400	380
Dr fruto (g*mL⁻¹)	0,99	1,06	1,01
Porosidad	65,48	66,67	66,96
Peso (g)	190,48	140,13	130,69

En la tabla 12 se observa que los tratamientos correspondientes a frutas de variedad amarilla (T111-P), poseen los mayores pesos con un valor promedio de 190,48 g, seguido de los tomates de árbol variedad rojo (T112-P) con 140,13 g, y variedad púrpura (T113-P) con pesos promedio de 130,69 g. Aun cuando este último tratamiento registra los pesos menores, al evaluar su calibre de comercialización con la NTC 4105 (ICONTEC,1997), todos los tres tratamientos presentan pesos promedio mayores a 129 g, que corresponde al máximo calibre de calidad, en este caso, Calibre A.

En la figura 28 se estableció una comparación de algunas propiedades físicas evaluadas en las tres variedades que se comercializan en Colombia. En cuanto a los parámetros correspondientes a densidad real, densidad aparente y porosidad, sus valores no presentan diferencias significativas y sus coeficientes de variación no superan el 5%, con porcentajes del 3,39%, 2,78% y 1,18%, respectivamente. Es decir, los datos están uniformemente distribuidos alrededor del valor promedio, esto ocurre porque todos los valores de estas variables de respuesta son muy similares para las tres variedades. Para las variables peso, volumen real y volumen aparente si se muestran diferencias, superando el 5% de comportamiento, indicando mayor dispersión entre los datos con coeficientes de variación de 20,90%, 24,30% y 21,78%, respectivamente.

Figura 28.

Comparación de propiedades físicas evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol



Al estudiar las características morfológicas se encontraron los valores que se describen en la tabla 13, para los parámetros longitud del pedúnculo (LP), altura (A), diámetro, espesor pulpa (EP), espesor epidermis (EE) y diámetro de cuello verde (DCV) en mm, donde se evidencia que todas las características morfológicas difieren entre las tres variedades.

Tabla 13.

Características morfológicas para las tres variedades de tomate de árbol estudiadas.

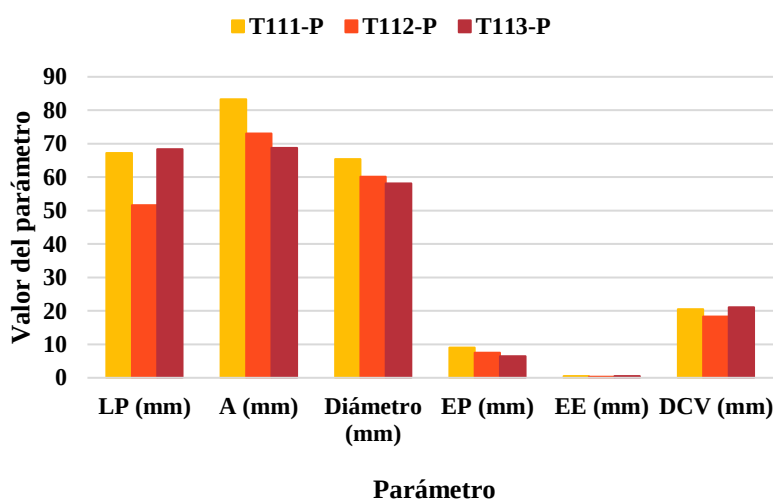
Parámetro	T111-P	T112-P	T113-P
LP (mm)	67,2	51,6	68,36
A (mm)	83,296	73,008	68,772
Diámetro (mm)	65,376	60,144	58,112
Factor de forma	1,274	1,214	1,183
EP (mm)	9,06	7,54	6,48
EE (mm)	0,5	0,3	0,5
DCV (mm)	20,5	18,3	21,1

Revisando el parámetro correspondiente a factor de forma se debe mencionar que este factor fue propuesto por Quichimbo (2024) y consiste en hacer una clasificación de forma, dependiendo del valor calculado entre el cociente de la altura y el diámetro de los frutos: si el valor calculado se encuentra en el intervalo $1 < 1,29$, la forma de los frutos será “Redondeada”; si el valor está en un rango de $\geq 1,29$ y $\leq 1,36$, la forma será “Ovoide” y si está con un valor $\geq 1,36$ la forma será “Alargado”. Al interpretar esta clasificación, se puede afirmar que los frutos de las tres variedades poseen un factor de forma que se encuentra en el intervalo $1 < 1,29$, por lo tanto, poseen la forma redondeada. También se encontró que las variedades amarillo (T111-P) y rojo (T112-P) tienen factores de forma

muy cercanos hacia el límite superior del rango, lo que muestra su tendencia a la forma ovoide característica y reconocida en la NTC 4105 (ICONTEC, 1997) como requisito general a cumplir con las características para la comercialización de la fruta fresca.

Figura 29.

Comparación de características morfológicas evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol.



Complementando la tabla 13, en la figura 29 se da a conocer el consolidado comparativo de las características morfológicas estudiadas en esta investigación. La variedad que posee un pedúnculo más largo es la púrpura (T113-P) pero a su vez, es la que presenta valores más pequeños en cuanto a la altura, el diámetro y espesor de la pulpa, lo que conlleva a que sea la variedad con menor contenido de pulpa con un porcentaje de 59,50%. Este no es el caso del tratamiento de color amarillo (T111-P), el cual, a pesar de poseer mayor altura, diámetro y espesor de pulpa no ostenta el mayor contenido de pulpa, siendo sobrepasado por el tratamiento correspondiente al color rojo (T112-P) con un porcentaje de 69,34% de contenido de pulpa.

En cuanto a las pruebas destructivas, para las coordenadas de color de la pulpa en las variedades de tomate de árbol estudiadas en esta investigación se encontraron los valores que se exponen en la tabla 14:

Tabla 14.

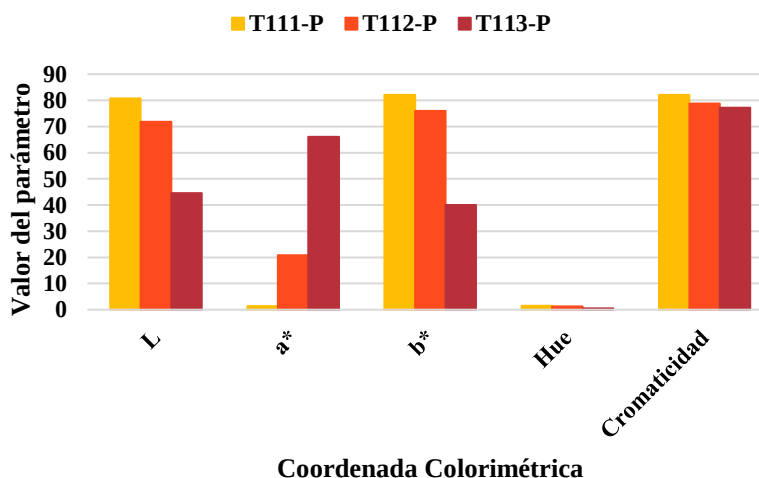
Coordenadas de color de la pulpa del tomate para las tres variedades.

Coordenadas color pulpa	T111-P	T112-P	T113-P
L	80,74%	71,78%	44,49%
a*	1,37	20,76	66,06
b*	82,12	76,01	39,96
Hue	1,55	1,3	0,54
Cromaticidad	82,13	78,79	77,2

De la misma manera que ocurrió con las coordenadas colorimétricas de la piel, en la pulpa se observa un comportamiento bien diferenciado para las tres variedades, este resultado se aprecia detalladamente a continuación en la figura 30. La luminosidad (L) presenta diferencias significativas entre las tres variedades siendo la pulpa de la variedad amarilla la más luminosa con un valor de 80,74%, respecto a la pulpa roja que posee una luminosidad de 71,78% y la pulpa de la variedad morada con 44,49%. Talens (2017) enuncia que la coordenada L varía de 0 para un color negro hasta 100 para un color blanco, es decir, entre más cercano a 100 o al 100%, más luminosa es la pulpa de la fruta y entre más cercano a cero será más oscura, en este caso, se encontró que la pulpa más oscura es la pulpa de la variedad de tomate de árbol color púrpura.

Figura 30.

Comparación de las coordenadas de color evaluadas en las tres variedades de tomate de árbol



Las coordenadas a* y b* de los tres tratamientos se encuentran bien diferenciadas, para T111-P presenta una tonalidad amarilla predominante que se corrobora con un valor de 82,12 en la coordenada b*, confirmando que los valores positivos de b* tienden a la tonalidad amarilla, característico de la variedad amarilla; en T112-P se presenta un

incremento en el valor de la coordenada a^* con un valor de 20,76 y b^* de 76,01, lo que se interpreta como un enrojecimiento que genera una coloración anaranjada en la variedad de color rojo. En el tercer tratamiento, el comportamiento es opuesto, es decir predominan los valores altos en la coordenada a^* , lo que indica una coloración roja intensa en la pulpa, aunque con aportes de tonalidad amarilla en menos proporción, correspondiente a la variedad color púrpura.

En cuanto a los valores del tono (Hue), por registrar valores positivos para las coordenadas colorimétricas a^* y b^* , a pesar de variar en un 56,36%, especialmente entre variedad amarilla y púrpura, todos se ubican en el primer cuadrante de espacio colorimétrico CIE $L^*a^*b^*$. Así mismo, la cromaticidad (C^*) indica qué tan puro, intenso o vivo es un color en una escala del 1 al 100, donde este último valor enuncia la pureza máxima (Padrón et al., 2012). Los tres tratamientos tienen una pureza o cromaticidad (C^*) muy similar, siendo ligeramente más vivo o puro la variedad de tomate de árbol amarillo (T111-P), seguido de tomate de árbol rojo (T112-P) y posteriormente tomate de árbol púrpura (T113-P).

En la tabla 15 se resumen los valores encontrados para cada una de las determinaciones realizadas en los parámetros químicos evaluados a los frutos frescos de tomate de árbol en sus tres variedades. El contenido de humedad en base húmeda (Hbh) presenta un comportamiento similar en las variedades T111-P y T112-P, y el tratamiento T113-P es ligeramente mayor con un valor de 88,90%. La firmeza, expresada en Newton, presenta un coeficiente de variación de 30,74% entre las tres variedades, especialmente el tratamiento T112-P que arrojó un valor promedio de 13,64 N.

Tabla 15.

Parámetros químicos evaluados a los frutos frescos de tomate de árbol en sus tres variedades.

Parámetro	T111-P	T112-P	T113-P
Hbh (%)	85,28	84,75	88,90
Firmeza (N)	23,24	13,64	25,84
pH	4,23	4,42	4,21
AT (%)	1,92	1,59	1,88
SST (°Brix)	10,2	13,3	9,64
Rm	5,31	8,36	5,13
D (g*mL ⁻¹)	0,96	0,97	0,96

Los valores correspondientes a pH, densidad (D) y porcentaje de acidez (AT) de los tres tratamientos evaluados son muy similares, con pequeñas variaciones en sus valores. Para los sólidos solubles totales (SST) existen algunas diferencias, siendo T112-P el tratamiento que mayor contenido de azúcares presenta con un valor de 13,3 °Brix, seguido de T111-P con 10,2 °Brix y por último T113-P con 9,64 °Brix, en ese orden, la relación de

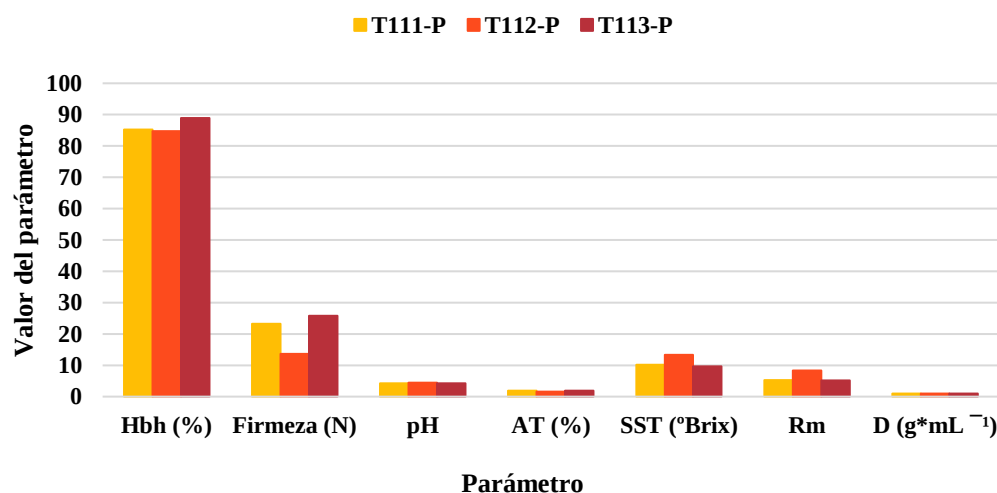
madurez (R_m) es mayor en el tratamiento T112-P, para los otros dos tratamientos el valor de relación de madurez es muy similar.

En la figura 31 se presenta una comparación de los parámetros químicos evaluados en las tres variedades de tomate de árbol; para complementar la información descrita en la tabla 17 se hizo una comparación con los requisitos específicos contenidos en la NTC 4105 (ICONTEC, 1997). Para esta comparación se tomó el intervalo de valores para el rango comprendido entre el color 4 y el color 6 de la tabla de madurez. En el caso de Colombia, la norma solo tiene requisitos de madurez para la variedad color rojo-naranja, basados en consistencia, ensayo de yodo, contenido de pulpa y sólidos solubles totales.

En cuanto a los requisitos de madurez se compararon los sólidos solubles totales encontrando un rango entre 8,5 °Brix y 10,3 °Brix. Respecto a este requisito se puede decir que T112-P, correspondiente a color rojo, sobrepasa este intervalo alcanzando valores promedio de 13,3 °Brix, las otras dos variedades estudiadas si cumplen con el requisito, al encontrarse dentro del intervalo.

Figura 31.

Comparación de parámetros químicos evaluados en las tres variedades de tomate de árbol.



Así mismo, los contenidos de azúcares y porcentaje de acidez encontrados para los tres tratamientos en esta investigación son cercanos a los reportados en la Escuela de Postcosecha de la Universidad de California Davis, (2024), en donde se describe que, como mínimo los frutos frescos de tamarillo deben poseer un contenido de sólidos solubles totales de 10 °Brix y un porcentaje de acidez, expresado en ácido cítrico, de 1,8%.

4. Conclusiones

Se realizó un reconocimiento de las partes morfológicas y estructurales de cada variedad de tomate de árbol, haciendo una adaptación de la normatividad vigente en

Colombia y su relación con los índices de madurez, los cuales presentaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, especialmente en las coordenadas de color, porcentaje de pulpa, número de semillas, peso, contenido de azúcares, humedad en base húmeda y firmeza.

Al proponer la caracterización de algunos parámetros morfológicos, estructurales y de madurez para las tres variedades de *Cyphomandra betacea* Sendt más comercializadas en Colombia, se consolidó una información que será de utilidad para el reconocimiento y aprovechamiento integral del fruto en futuras investigaciones.

Referencias

Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, Edited by Patricia Cunniff, Gaithersburg, Maryland, USA.

Bernal, J. A (2009). El tomate de árbol. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35755>

Bernal, J. A., y Díaz, C. A. (2003). Tecnología para el cultivo del tomate de árbol, Manual Técnico N° 3. Ecoregión Andina. Centro de Investigación Andina “La Selva” Río Negro, Antioquia, Colombia. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/7050/tecnologia_cultivo_tomate_arbol.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cáceres, L. E. (2012). Manejo postcosecha de los frutos de Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea*) y su relación con el tiempo de vida útil en el Mercado Central del cantón Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1923>

Capistrán, A., Aquino, E.N., Chávez, J. L., Velásquez, Vera, A., Contreras, R., y Verdalet, I. (2017). Cambio en los parámetros fisicoquímicos en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) durante su almacenamiento poscosecha a 5 °C. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Chavez-Servia-2/publication/322508736_Cambios_en_los_parametros_fisicoquimicos_en_tomate_de_arbol_Solanum_betaceum_durante_su_almacenamiento_poscosecha_a_5_C/links/5a5cf6f5aca272d4a3dd8952/Cambios-en-los-parametros-fisicoquimicos-en-tomate-de-arbol-Solanum-betaceum-durante-su-almacenamiento-poscosecha-a-5-C.pdf

Castro, J. K., Cerquera, N. E., y Gutiérrez, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* Cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Revista EIA, (19), p. 79-89. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/498/486>

- García, M. (2008). Manual de manejo cosecha y poscosecha del tomate de árbol. Bogotá, Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13474>
- Gutiérrez, N., Dussán, S., y Castro, J. (2012). Fisiología y atributos de calidad de la guayaba “pera” (*Psidium guajava* cv.) en poscosecha. Revista de Ingeniería, (37), 26-30. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932012000200005
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1997). NTC 4105: Frutas frescas. Tomate de árbol, especificaciones, Bogotá, D.C, pP 16.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1998). NTC 4486: Frutas y verduras. Terminología morfológica y estructural, Bogotá, D.C, pP 52.
- León F, J., Viteri D., P., y Cevallos A., G. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Fruticultura. (Manual no. 61). <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/827>
- Meza, N., y Manzano, J. M. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendt) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. Revista Científica UDO Agrícola, 9(2), 289-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308209>
- Mohsenin, N. (1986). Physical properties of plant and animal material. V.1. New York: Gordon and Breach Science Publisher, p.861.
- Padrón, C A. (2010). Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra* L.) durante el crecimiento y maduración. Revista Científica Electrónica de Agronomía, Garca, vol. 17, No. 2, p. 1-17. https://www.academia.edu/20381052/Procesamiento_digital_de_im%C3%A1genes_de_frutos_de_semeruco_Malpighia_glabra_L_durante_el_crecimiento_y_maduraci%C3%B3n
- Padrón, C. A., Padrón, G. M., Montes, A. I., y Oropeza, R. A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. Agronomía Costarricense, 36(1), 97-111. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242012000100008&lng=en&tlng=es.
- Parra-Coronado, A., Hernández-Hernández, J. E., y Camacho-Tamayo, J. H. (2006). Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad

- Triunfo de Viena. Revista Brasileira de Fruticultura, 28, 55-59.
<https://www.scielo.br/j/rbf/a/bvjxV8C8VnJxzXtJz63BNKb/?format=pdf>
- Quichimbo, J. D. (2024). Evaluación agronómica y de calidad de las diferentes variedades de tomate de árbol (*Solanum betaceum*. Cav).
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/17773>
- Talens, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/talens%20-%20evaluación%20del%20color%20y%20tolerancia%20de%20color%20en%20alimentos%20a%20través%20del%20espacio%20cielab.pdf?sequence=1>
- Universidad de California Davis (2024). Indicadores Básicos en español para tamarillo.
<https://postharvest.ucdavis.edu/es/produce-facts-sheets/tamarillo>
- Villares, M., Sánchez, J., Viera, W., Soria, N., Sotomayor, A., Yanez, D., y Martínez, E. (2018). Caracterización morfológica de frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) de una población segregante. Revista de Investigación Talentos, 5(1), 9-19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551191>

Capítulo 5

Caracterización proximal de productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Resumen

Se hizo un análisis proximal para la cuantificación porcentual de grasas, proteínas, cenizas, humedad, carbohidratos, así como el contenido calórico y la actividad de agua de cada tratamiento evaluado en cinco tecnologías de procesamiento térmico, aplicadas a tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: amarillo (T1), rojo (T2) y Púrpura (T3). Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza y prueba de comparación múltiple Tukey HSD, con un nivel de significancia $p < 0,05$. Se encontró que los tratamientos que presentaron mayores medias son T231-SAC para proteína bruta (%), T211-SAC en lípidos (%), T1-FC con mayor media tanto en carbohidratos (%) como en contenido de calorías $\text{kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$ y cenizas (%) con T12-SPL; en dos parámetros se tuvo en cuenta el valor de menor media, en razón a que este comportamiento es muy deseable para la prolongación de la vida útil, como fue el caso de la actividad de agua, siendo T31-SPL el tratamiento con menor media, y contenido de humedad en base seca (%) con el tratamiento T2-FC. Esta investigación permitió cuantificar cada parámetro del análisis proximal y la influencia ejercida por el procesamiento térmico sobre sus contenidos, aunque de manera conjunta, no se pudo establecer un tratamiento que presentará mayores contenidos en la totalidad de las variables evaluadas.

Palabras clave: actividad de agua, prolongación vida útil, análisis proximal, tomate de árbol.

1. Introducción

Según Fon Fay y Zumbado (2020), de manera frecuente se realiza un análisis proximal para conocer la composición en lo relacionado a macrocomponentes presentes en un alimento. En ese sentido, dentro de las investigaciones relacionadas con el análisis proximal realizado para tomate de árbol, como fruta fresca, se encuentra Repo de Carrasco y Encina (2008) quienes hallaron un contenido de fibra cruda de $4,5 \text{ g} \cdot 100^{-1} \text{ g}$ de muestra, presente en tomate de árbol como fruta nativa del Perú, y Rojas (2013) quien evaluó la pulpa antes de realizar el proceso térmico para estandarizar un néctar a base de esta fruta, con una variedad cultivada en Perú y determinó contenidos de $1,49 \pm 0,02\%$ de proteínas, $0,34\% \pm 0,01$ de lípidos, $0,83 \pm 0,03\%$ de cenizas y $1,11 \pm 0,02 \%$ de fibra cruda.

Por otra parte, Revelo (2014) encontró valores de $3,33 \pm 0,73\%$ de proteínas, $3,28 \pm 0,93\%$ de lípidos, $6,25 \pm 0,47\%$ de cenizas y $5,47 \%$ de fibra cruda en tomate de árbol, variedad “Roja” cultivado en Colombia, y Torres (2012) en Venezuela, estableció para el análisis proximal valores de $1,78 \pm 0,14\%$ de proteínas, $0,16\%$ de lípidos, $0,88 \pm 0,01\%$ de cenizas y $4,10 \%$ de fibra cruda.

Respecto al producto sometido a procesamiento térmico se resaltan las investigaciones realizadas por Rojas et al. (2017) quienes establecieron los parámetros idóneos para fabricar un néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) determinando valores para humedad de $89,45 \pm 0,20\%$ y en $\text{g} \cdot 100^{-1} \text{g}$ de muestra, proteínas $0,24 \pm 0,02$, grasa $0,12 \pm 0,04$, fibra bruta $0,23 \pm 0,02$, cenizas $0,25 \pm 0,05$, carbohidratos con $9,71 \pm 0,17$ y calorías con un valor de $40,85 \pm 0,81 \text{ kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$. Así mismo, Cerón et al. (2016) evaluaron la cinética de inactivación por procesos térmicos de la enzima pectinmetilesterasa, en zumo de tomate, revisando su comportamiento a diferentes temperaturas.

En Ecuador, Cherrez (2022) valoró el efecto del proceso de enlatado sobre algunas características fisicoquímicas y funcionales en el tomate de árbol en almíbar, y Moyano (2022) analizó el aumento en la vida útil de tomate de árbol sometido a tres tipos de recubrimientos comestibles enriquecidos con aceite esencial de mandarina, sin embargo, ninguno de los dos autores presenta el análisis de las variables una vez se ha realizado cada proceso, solamente se caracterizaron las materias primas.

Dentro de los pocos reportes del comportamiento en los parámetros asociados con el análisis proximal de productos sometidos a deshidratación se encuentra el adelantado por Sagñay (2012), donde se hizo un análisis comparativo del potencial nutritivo de dos variedades de tomate de árbol sometidas a deshidratación por microondas, encontrando valores de humedad de 14,28%, proteínas 11,18%, cenizas 8,00%, fibra 8,79% y lípidos con 0,65% para la variedad anaranjada; y humedad de 14,59%, proteínas 8,61%, cenizas 8,00%, fibra 7,91% y lípidos con 0,47% en la variedad morada. Por lo tanto, es relevante conocer el comportamiento en el análisis proximal de frutos de tomate de árbol sometidos a procesos como la obtención de pulpas, deshidratación osmótica, secado por aire caliente, secado de pulpa en lámina y fruta confitada.

El objetivo de esta investigación fue determinar el análisis proximal en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt). La investigación realizada fue de tipo descriptivo y carácter exploratorio.

2. Metodología

Las pruebas se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de Bromatología y Biotecnología en Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y en el laboratorio de Control de Calidad y postcosecha de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Surcolombiana, sede Central, Neiva.

2.1 Análisis proximal

En la determinación de contenido de humedad en base seca (Hbs), cenizas (C), proteínas (Pb) y lípidos (L), se siguieron los protocolos propuestos por Falla y Forero (2023). Para carbohidratos (C), se calculó por diferencia respecto al peso total de una porción de 100 g y calorías en $\text{kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$, de manera indirecta con el factor de Atwater

conforme a lo investigado por Cerquera (2006). La actividad de agua (A_w), se determinó por lectura directa utilizando un equipo Novasina LabSwift-aw.

2.2 Análisis estadístico

Los tratamientos se distribuyeron siguiendo un diseño multifactorial de n-vías con cuatro réplicas en donde los factores implicados fueron Variedad y Tecnología de procesamiento térmico - Temperatura. El análisis estadístico de los datos se desarrolló con el programa Statgraphics Centurion XVI.I, usando una nomenclatura para cada tratamiento que se encuentra descrita en la tabla 1 de la tesis doctoral. Se realizó el análisis de varianza conforme al diseño experimental propuesto y se establecieron las diferencias estadísticamente significativas generadas por cada uno de los factores. De igual forma, se efectuó una prueba de comparación de medias y Tukey HSD 95% de confianza, y un estudio de las interacciones entre los tratamientos y el valor de cada una de las variables de respuesta que se evaluaron en el análisis proximal.

3. Resultados

3.1 Caracterización proximal para Obtención de pulpas.

En la tabla 16 se encuentran resumidos los resultados correspondientes al análisis proximal de cada uno de los tratamientos investigados en la obtención de pulpas.

Tabla 16.

Parámetros evaluados en el análisis proximal de pulpas.

T	Pb (%)	L (%)	C (%)	A_w	Hbs (%)	Cenizas (%)	Calorías (kcal*(100g) ⁻¹)
T111-P	8,34	0,36	0,50	0,969	88,32	2,48	38,60
T112-P	8,01	0,35	2,35	0,971	86,73	2,56	44,59
T113-P	6,95	0,36	3,33	0,972	86,98	2,38	44,36
T121-P	1,64	0,14	42,02	0,951	54,82	1,38	175,90
T122-P	1,82	0,12	45,58	0,940	50,86	1,62	190,68
T123-P	2,04	0,15	45,15	0,944	50,96	1,70	190,11
T211-P	8,00	0,31	3,24	0,970	87,04	1,41	47,75
T212-P	8,23	0,31	4,20	0,972	85,61	1,65	52,51
T213-P	9,30	0,21	0,24	0,970	87,97	2,28	40,05
T221-P	2,13	0,37	43,39	0,936	52,98	1,13	185,41
T222-P	2,32	0,34	45,59	0,939	50,37	1,38	194,70
T223-P	1,52	0,38	47,30	0,937	49,39	1,41	198,70

En el contenido de proteína bruta para los tratamientos de la tecnología “pulpas” a base de tomate de árbol se encontró que el tratamiento T213-P, correspondiente a Pulpa pasteurizada - no edulcorada y de variedad Púrpura, es el que presenta mayor porcentaje de proteína bruta con un valor de 9,30%. A diferencia de T223-P, que corresponde a la Pulpa pasteurizada – edulcorada, variedad púrpura con 1,52% de proteína bruta, que

registra el contenido más bajo. Así mismo, al revisar, los valores encontrados para los tratamientos T111-P, T112-P y T113-P, considerados como tratamientos de control, presentan valores por debajo de los determinados por Sagñay (2012), quien reporta para este parámetro valores de 8,61% y 10,62% para variedades rojo y púrpura respectivamente.

Siguiendo con este análisis, se encuentra el porcentaje de lípidos, el cual no presenta mucha variación entre nueve de los doce tratamientos. El tratamiento T223-P: pulpa pasteurizada – edulcorada, variedad púrpura, presenta un porcentaje de 0,38%, convirtiéndose en el tratamiento que mayor porcentaje de lípidos posee, distinto a T122-P, cuyo porcentaje de lípidos es el más bajo con un 0,12%. El porcentaje de carbohidratos refleja nuevamente que T223-P es el tratamiento con el contenido más alto de carbohidratos con un valor de 47,30%, convirtiéndolo a su vez en el tratamiento que más contiene calorías con 198,70 kcal*(100g)⁻¹. Ocurre lo opuesto con T111-P: pulpa sin pasteurizar – no edulcorada, variedad amarilla, que ostenta ser el tratamiento con más bajo contenido de calorías con 38,60 kcal*(100g)⁻¹.

Por otra parte, al revisar la actividad de agua, en la totalidad de los tratamientos se presentaron valores entre 0,94 y 0,97, haciendo que el alimento tenga alta disponibilidad de agua para el aumento de actividades biológicas por parte de los microorganismos, conllevando al deterioro de la vida útil de los tratamientos evaluados, especialmente en T111-P, T112-P y T113-P. Cardona (2019) indica que, con estos valores, se puede presentar crecimiento de algunos patógenos que son característicos en alimentos frescos como *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Proteus*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Clostridium perfringens* y algunas levaduras influyendo en su firmeza, sabor, color y contenido nutricional. En cuanto a la humedad en base seca y el porcentaje de cenizas, el comportamiento es similar al del parámetro actividad de agua, siendo mayores los porcentajes en los tres tratamientos testigo T111-P, T112-P y T113-P.

3.2 Caracterización proximal para Deshidratación osmótica.

La información del análisis proximal realizado a la tecnología deshidratación osmótica se aprecia en la tabla 17.

El tratamiento T211-DO posee el mayor porcentaje de proteínas con un valor de 5,95%. Este tratamiento está conformado por trozos del mesocarpio con endocarpio de tomate de árbol variedad “Amarilla”, sometidos a osmodeshidratación, con una temperatura de 30 °C. El porcentaje de lípidos ha presentado un incremento, siendo el tratamiento T233-DO: mesocarpio con endocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Púrpura”, el que presenta mayor porcentaje de lípidos con un valor de 2,10%.

Para el caso de las variables carbohidratos y calorías, en la totalidad de los tratamientos osmodeshidratados se aprecia un aumento de los valores reportados, debido a la adición de sacarosa como agente osmodeshidratante en esta tecnología, siendo el tratamiento T132-DO: mesocarpio osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Rojo”, el que

posee el porcentaje mayor de carbohidratos con 41,88%, y un contenido de 185,47 kcal*(100g)⁻¹.

Tabla 17.

Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos osmodeshidratados.

T	Pb (%)	L (%)	C (%)	Aw	Hbs (%)	Cenizas (%)	Calorías (kcal*(100g) ⁻¹)
T111-DO	4,71	0,37	27,90	0,913	65,61	1,41	133,77
T112-DO	4,48	0,33	29,80	0,925	63,32	2,07	140,09
T113-DO	3,47	0,40	33,35	0,922	60,74	2,04	150,88
T121-DO	4,89	0,23	34,18	0,929	58,82	1,88	158,35
T122-DO	4,08	0,19	38,46	0,903	55,64	1,63	171,87
T123-DO	3,16	0,21	40,10	0,909	55,39	1,14	174,93
T131-DO	3,27	0,43	41,18	0,919	53,40	1,72	181,67
T132-DO	3,61	0,39	41,88	0,899	52,96	1,16	185,47
T133-DO	2,71	0,44	41,87	0,890	53,17	1,81	182,28
T211-DO	5,95	0,96	24,76	0,915	66,34	1,99	131,48
T212-DO	4,35	0,94	26,97	0,934	64,67	3,07	133,74
T213-DO	5,05	0,89	27,37	0,926	64,52	2,17	137,69
T221-DO	4,46	1,00	32,24	0,923	60,58	1,72	155,80
T222-DO	5,59	1,67	28,83	0,912	62,01	1,90	152,71
T223-DO	5,90	1,28	32,21	0,912	58,52	2,09	163,96
T231-DO	4,30	2,07	32,59	0,908	59,18	1,86	166,19
T232-DO	5,31	1,55	28,09	0,909	63,32	1,73	147,55
T233-DO	5,88	2,10	31,90	0,909	58,39	1,73	170,02

En lo que se refiere a la actividad de agua, se corrobora lo planteado por Cardona (2020), quien enuncia que cuando se elimina agua presente en un producto, ocurre una disminución de la actividad de agua, que en este caso se reduce hasta 0,899 para el mismo tratamiento T132-DO, lo que permite observar que, a pesar de que se evidencia una disminución en el valor, aún se presenta alta la actividad de agua, haciendo difícil la estabilidad y conservación de estos tratamientos osmodeshidratados, mostrando la necesidad de combinar este proceso, considerado como un “pretratamiento” por Giraldo et al. (2005) y García et al. (2010), con otras tecnologías de secado. Lo mismo ocurre con el contenido de humedad en base seca que presenta disminución, pero aún sigue siendo alto con valores que oscilan entre 65,61%, en el tratamiento T111-DO: mesocarpio osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Amarilla” y 52,96% en el tratamiento T132-DO, generando el riesgo de proliferación de hongos y levaduras en el alimento (Cardona, 2019).

3.3 Caracterización proximal para Secado por aire caliente.

Continuando con el análisis proximal, en la tabla 18 se resume la información correspondiente a los resultados de los parámetros evaluados en los tratamientos sometidos a secado por aire caliente. Se destaca el porcentaje de proteína bruta del tratamiento T231-SAC correspondiente a mesocarpio con endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Amarilla”, por ser el tratamiento que mayor valor presenta con 14,55%. Respecto al tratamiento testigo T111-P, hubo un incremento del 57,31% en este parámetro, es decir, el secado por aire caliente a una temperatura de 50 °C ejerció una influencia sobre el porcentaje de proteínas presentes en la variedad “Amarilla”. Lo mismo ocurre con las variables correspondientes a porcentaje de lípidos, carbohidratos, cenizas y la cantidad de calorías, conservando su tendencia al aumento considerable de los valores encontrados en los tratamientos.

Respecto al contenido de humedad en base seca, el tratamiento que presenta menor valor es T133 – SAC: mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Púrpura”, con una Hbs de 4,98%. Rodríguez (2014) afirma que la reducción en la humedad de un alimento conlleva a retardar mayormente el crecimiento de microorganismos, evitando el deterioro químico y produciendo una reducción considerable del volumen del producto. Para este caso, el tratamiento testigo T113-P presenta una Hbs de 86,98%, lo que indica una reducción de 5,72 veces respecto al valor inicial de humedad del tratamiento de variedad púrpura evaluado (T133-SAC), haciéndolo más estable y con características deseables para las frutas desecadas.

De igual forma, la actividad de agua disminuyó en la totalidad de los tratamientos, estableciéndose en un intervalo entre 0,621 y 0,498. Teniendo en cuenta los intervalos de crecimiento microbianos reportados por Cardona (2019), el tratamiento T213-SAC: mesocarpio más endocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad “Púrpura”, presenta un valor de actividad de agua superior a 0,60 generando un riesgo de proliferación de levaduras osmófilas como *Saccharomyces rouxii* y algunos hongos entre los que se destacan *Aspergillus echiulatus* y *Monascus bisporus*. Sólo cinco de los dieciocho tratamientos evaluados en esta tecnología presentan valores iguales o superiores a 0,60 en actividad de agua. Teniendo en cuenta este resultado, el tratamiento más estable y con menor riesgo de proliferación de estos agentes patógenos es T232-SAC, correspondiente a mesocarpio más endocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Roja”, con un valor de 0,498. Los demás tratamientos también son estables y sin mayor riesgo de proliferación de hongos y levaduras.

Tabla 18.

Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos sometidos a secado por aire caliente.

T	Pb (%)	L (%)	C (%)	Aw	Hbs (%)	Cenizas (%)	Calorías (kcal*(100g) ⁻¹)
T111-SAC	7,58	0,52	76,89	0,537	7,92	7,09	342,56
T112-SAC	10,46	0,55	71,18	0,567	9,24	8,57	331,51
T113-SAC	9,85	0,25	72,33	0,620	9,25	8,32	330,97
T121-SAC	9,44	0,67	73,44	0,532	9,20	7,25	337,55
T122-SAC	8,46	0,37	74,74	0,600	8,23	8,20	336,13
T123-SAC	4,22	0,39	80,00	0,604	6,73	8,66	340,39
T131-SAC	6,58	0,49	78,14	0,530	5,47	9,32	343,29
T132-SAC	7,88	0,47	75,54	0,516	6,98	9,13	337,91
T133-SAC	6,26	0,42	80,16	0,549	4,98	8,18	349,46
T211-SAC	7,00	2,16	75,69	0,579	7,67	7,48	350,20
T212-SAC	6,35	1,41	79,58	0,579	5,19	7,47	356,41
T213-SAC	6,52	1,53	75,32	0,621	7,71	8,92	341,13
T221-SAC	12,95	1,08	69,04	0,603	8,61	8,32	337,68
T222-SAC	12,54	1,60	70,48	0,562	7,43	7,95	346,48
T223-SAC	9,45	0,85	75,73	0,548	6,22	7,75	348,37
T231-SAC	14,55	2,09	69,29	0,505	5,21	8,86	354,17
T232-SAC	11,98	1,90	70,80	0,498	5,74	9,58	348,22
T233-SAC	9,76	1,80	74,79	0,542	5,93	7,72	354,40

3.4 Caracterización proximal para Secado de pulpa en lámina.

A continuación, en la tabla 19 se expresa la información consolidada para el análisis proximal de los tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina. Se destaca el aumento considerable del porcentaje de carbohidratos, cuyos valores oscilan entre 69,88% y 75,79%, siendo T32-SLP: pulpa de tomate de árbol variedad “Roja” sometida a secado en lámina con una temperatura de 50 °C, el tratamiento que posee el mayor porcentaje de carbohidratos. Lo mismo ocurre con las calorías que aumentan hasta 8,78 veces, respecto a los tratamientos control. El tratamiento T11-SPL, correspondiente a pulpa de tomate de árbol variedad “Amarilla” sometida a secado en lámina con una temperatura de 30 °C, que pasa de tener 38,60 kcal*(100g)⁻¹ en el tratamiento testigo T111-P a 339,16 kcal*(100g)⁻¹ en secado de pulpa en lámina, con las condiciones descritas anteriormente. Esto se debe a que cuando ocurre el secado de las frutas, se pierde mucha agua y su valor nutricional se incrementa especialmente en el contenido de azúcares, algunas vitaminas y en su composición mineral (Laborde et al., 2020).

Tabla 19.

Parámetros evaluados en el análisis proximal de tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.

T	Pb (%)	L (%)	C (%)	Aw	Hbs (%)	Cenizas (%)	Calorías (kcal*(100g) ⁻¹)
T11-SPL	9,63	0,24	74,62	0,585	5,70	9,81	339,16
T12-SPL	10,39	0,27	69,84	0,509	7,39	12,11	323,35
T13-SPL	11,17	0,27	71,77	0,522	7,22	9,57	334,19
T21-SPL	12,62	0,27	70,65	0,514	6,62	9,84	335,51
T22-SPL	11,56	0,16	70,78	0,525	7,18	10,32	330,80
T23-SPL	10,50	0,21	70,87	0,479	7,16	11,26	327,37
T31-SPL	8,70	0,28	74,92	0,435	7,84	8,26	337,00
T32-SPL	8,28	0,29	75,79	0,518	7,49	8,15	338,89
T33-SPL	8,04	0,38	75,37	0,532	8,17	8,04	337,06

El comportamiento de los porcentajes de proteína y cenizas presenta un incremento respecto a los tratamientos control para cada variedad, siendo T21: pulpa variedad “Amarilla” sometida a secado en lámina con una temperatura de 40 °C, el tratamiento con mayor porcentaje de proteínas con un valor de 12,62%; y T12: pulpa variedad “Roja” sometida a secado en lámina con una temperatura de 30 °C, el tratamiento con el mayor porcentaje de cenizas con un 12,11%. Para los porcentajes de lípidos, los valores fueron estables comparados con los tratamientos testigo.

En lo relacionado con la actividad de agua se encuentran valores por debajo de 0,6 indicando tratamientos estables, con baja probabilidad de proliferación de agentes patógenos que deterioren la vida útil de los tratamientos. Los porcentajes de contenido de humedad en base seca también son bajos, indicando que se está retirando eficazmente el agua libre presente en las pulpas sometidas a secado en lámina.

3.5 Caracterización proximal para Fruta confitada.

Para los tratamientos sometidos al proceso de confitado, se observa en la tabla 20 que los porcentajes de proteína, lípidos y humedad en base seca se encuentran por debajo de los valores registrados en los tratamientos testigo para cada variedad T111-P, T112-P y T113-P. Esto indica que, tanto para proteína como lípidos se presentó una reducción relativa en estos contenidos. Igualmente, el porcentaje de ceniza fue bajo en todos los tres tratamientos, así como la actividad de agua generando tratamientos estables y con una probabilidad mínima de riesgo microbiológico. Sin embargo, el porcentaje de carbohidratos y el contenido de calorías son dos parámetros que registran sus valores más altos respecto a todos los tratamientos evaluados en cada una de las tecnologías investigadas en esta tesis. Esto se debe a que la ganancia de sólidos solubles totales se debe tanto al proceso de secado con aire caliente, como también a la inmersión en jarabe

en el pretratamiento de secado por osmodeshidratación, propios del proceso de confitado de las frutas.

Tabla 20.

Parámetros evaluados en el análisis proximal de fruta confitada.

T	Pb (%)	L (%)	C (%)	Aw	Hbs (%)	Cenizas (%)	Calorías (kcal*(100g) ⁻¹)
T1-FC	4,95	0,28	90,18	0,465	2,23	2,36	383,04
T2-FC	5,58	0,27	89,38	0,470	1,25	3,52	382,27
T3-FC	4,70	0,16	88,48	0,458	3,94	2,72	374,16

3.6 Análisis comparativo para cada parámetro

3.6.1 Proteína bruta, Pb (%).

Tabla 21.

Análisis de varianza de la variable “Proteína bruta, Pb (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

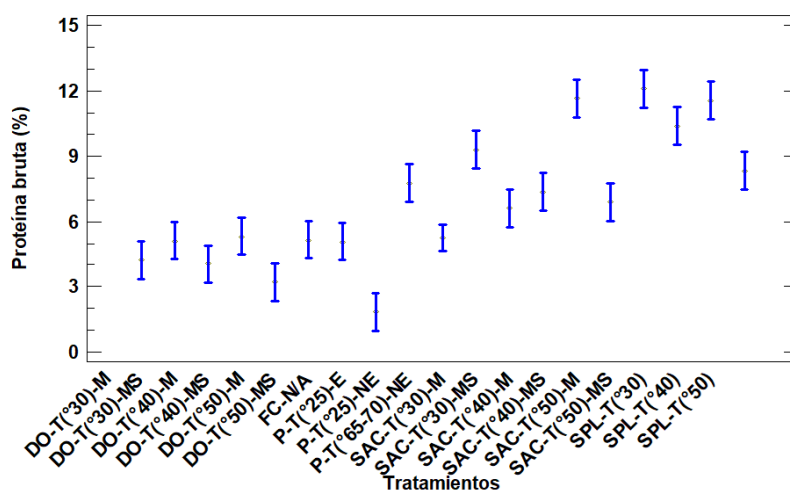
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	33,6741	2	16,837	11,86	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	1973,19	18	109,622	77,21	0,0000
Interacciones					
AB	179,192	36	4,97756	3,51	0,0000
Residuos	259,827	183	1,41982		
Total (Corregido)	2442,37	239			

En la tabla 21 se muestra el análisis de varianza del parámetro proteína bruta respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. Se observa que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura evaluadas, puesto a que el valor-P es menor que 0,05. Lo que se interpreta como que esta interacción tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Proteína bruta (%) evaluada en los tratamientos con un 95,0% de nivel de confianza.

Así mismo, los efectos principales para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, presentan diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que entre las variedades de tomate de árbol se presentan contenidos diferentes de proteína bruta y que, dependiendo de la temperatura y tecnología del proceso, varían los porcentajes de esta variable de respuesta en el producto final.

Figura 32.

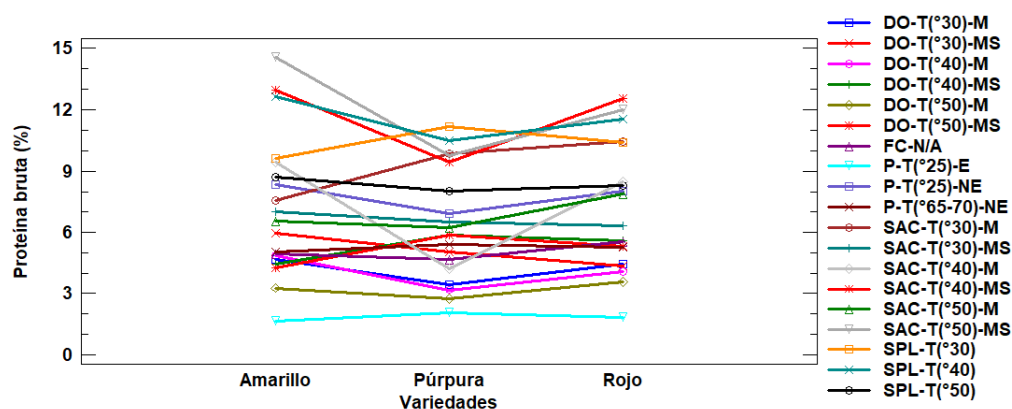
Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de proteína bruta (%), de todos los tratamientos evaluados.



En la figura 32 se muestra la gráfica de comparación de medias y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD al 95% de significancia, para el contenido de proteína bruta. Al revisar los tratamientos se observa que la media más alta corresponde a la tecnología “Secado por aire caliente-SAC” con una temperatura de secado de 50°C. Adicionalmente, la “MS” hace referencia a que solo se utilizó el mesocarpio más endocarpio de los tomates de árbol, en este tratamiento.

Figura 33.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de proteína bruta (%).



Para encontrar el tratamiento más diferente, en la figura 33 se puede apreciar la interacción de los tratamientos evaluados y el contenido de proteína bruta. El tratamiento de mesocarpio más endocarpio (MS), sometido a secado por aire caliente a 50 °C (SAC-

T(°50)), variedad “Amarilla”, es decir T231-SAC, es el tratamiento que presenta la mayor media para la variable proteína bruta de todos los sesenta tratamientos evaluados y que conforman esta investigación.

3.6.2 Lípidos, L (%).

El análisis de varianza realizado para la variable “Lípidos” se plasma en la tabla 22. Allí se muestra la existencia de interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura evaluadas, y su efecto sobre el parámetro lípidos (%) evaluado en los tratamientos que conforman la investigación.

Tabla 22.

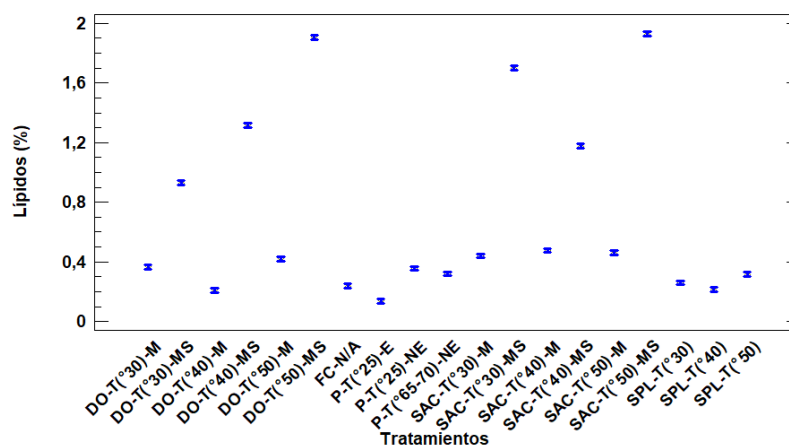
Análisis de varianza de la variable “Lípidos, L (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	0,275139	2	0,137569	376,87	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	80,8473	18	4,49152	12304,61	0,0000
Interacciones					
AB	4,63485	36	0,128746	352,70	0,0000
Residuos	0,0668	183	0,000365027		
Total (Corregido)	85,818	239			

Del mismo modo, los efectos principales para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, son estadísticamente diferentes indicando que entre las variedades de tomate de árbol se encuentran porcentajes diferentes de lípidos y que, dependiendo de la temperatura y tecnología de secado existe una variación de estos porcentajes en la fruta procesada.

Figura 34.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de lípidos (%), de todos los tratamientos evaluados.

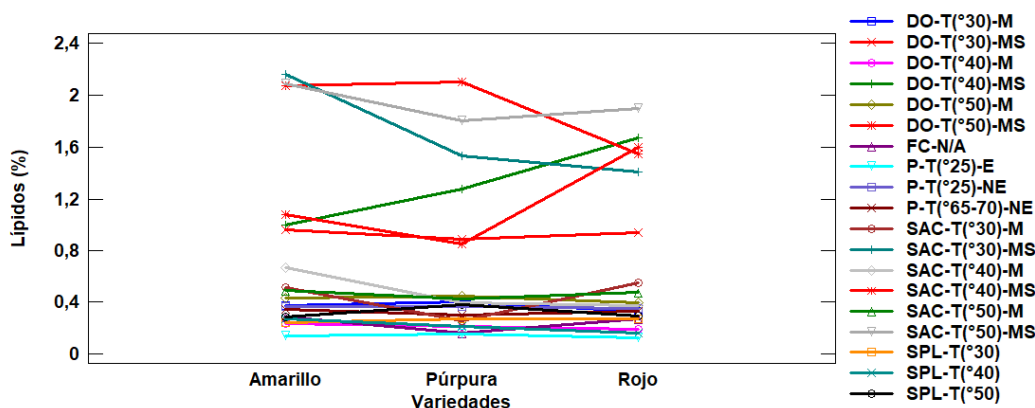


Seguidamente, en la figura 34 se muestra la gráfica de comparación de medias y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD al 95% de significancia, para el porcentaje de lípidos, en donde se encuentra que la media más alta se correlaciona con los tratamientos de la tecnología “Secado por aire caliente-SAC”.

Para poder establecer con mayor certeza el tratamiento más diferente, se revisó la figura 35, encontrándose que Amarillo, SAC-T (°30)-MS es el tratamiento más diferente y con mayor valor en la comparación de medias. Haciendo la equivalencia a la nomenclatura inicial de este capítulo, corresponde al tratamiento T211-SAC, es decir, Mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, sometido a secado por aire caliente a 30 °C.

Figura 35.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de lípidos (%).



3.6.3. Carbohidratos, C (%).

Tabla 23.

Análisis de varianza de la variable “Carbohidratos, C (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

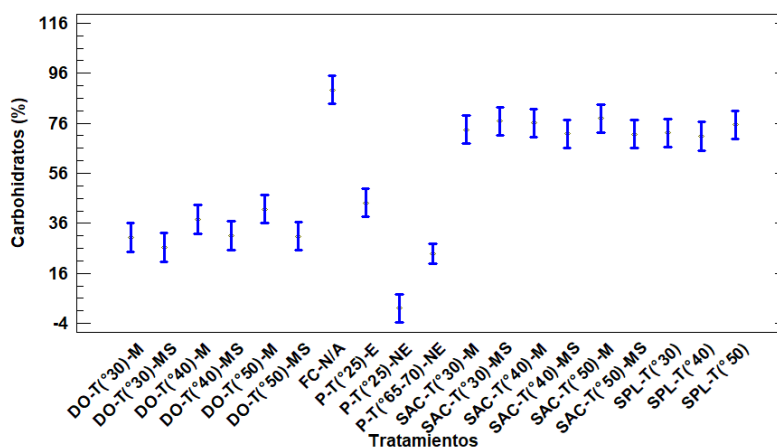
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	136,368	2	68,1838	1,13	0,3265
B: Tecnología y Temperatura	146965,	18	8164,75	134,86	0,0000
Interacciones					
AB	637,747	36	17,7152	0,29	1,0000
Residuos	11079,6	183	60,5442		
Total (Corregido)	158808,	239			

Continuando con el análisis de varianza, en la tabla 23 se observa información generada para la variable “Carbohidratos”. Allí se aprecia que no hay interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura evaluadas y su efecto sobre el contenido de carbohidratos (%) evaluado en los tratamientos. Esto se debe a que, sin importar la variedad de tomate de árbol procesada, todos los tratamientos presentaron un incremento en el porcentaje de carbohidratos, conservando la misma tendencia en los datos.

En figura 36 se muestra la comparación de medias y la prueba Tukey HSD al 95% de significancia. Se aprecia que la media más alta corresponde a los tratamientos de tecnología “Fruta confitada -FC”. Al revisar la información relacionada con las medias de los tres tratamientos que hacen parte de esta tecnología, se encontró que sus valores de media son: 90,18% para variedad “Amarilla”: T1-FC, 89,38% en la variedad “Roja”: T2-FC y 88,48% para la variedad “Púrpura”: T3-FC. Teniendo en cuenta lo anterior el tratamiento que mayor media presenta para la variable de respuesta Carbohidratos, es el tratamiento T1-FC, es decir tomate de árbol confitado, variedad amarilla.

Figura 36.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de carbohidratos (%), de todos los tratamientos evaluados.



3.6.4. Actividad de agua, Aw

Revisando la tabla 24 en donde se hace el análisis de varianza para el parámetro actividad de agua, respecto a la totalidad de los tratamientos que conforman la investigación, se encontró que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura, generando un efecto sobre la actividad de agua de cada uno de los tratamientos evaluados.

Tabla 24.

Análisis de varianza de la variable “Actividad de agua (Aw)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

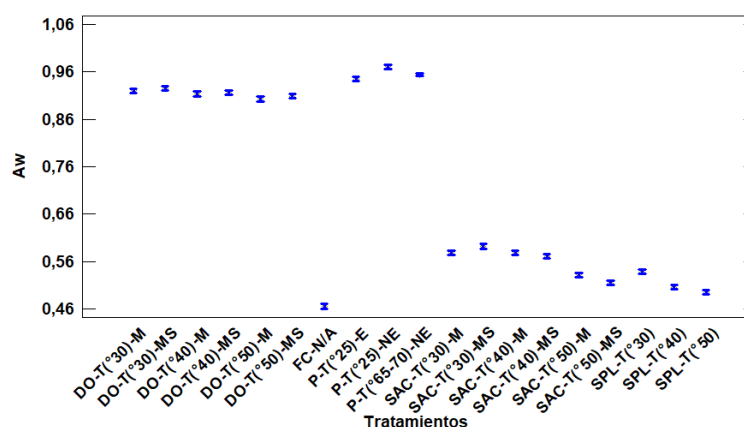
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	0,00218714	2	0,00109357	26,46	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	9,54803	18	0,530446	12835,50	0,0000
Interacciones					
AB	0,0852429	36	0,00236786	57,30	0,0000
Residuos	0,00756275	183	0,0000413265		
Total (Corregido)	9,64284	239			

Adicional a ello, los efectos principales para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, son estadísticamente diferentes indicando que entre las variedades de tomate de árbol se encuentran diferentes valores para la actividad de agua y que, dependiendo de la temperatura y tecnología de secado, existe una variación de la actividad de agua en la fruta procesada.

Para conocer el comportamiento los tratamientos respecto a la actividad de agua se realizó la comparación de medias y Tukey HSD 95% que se muestra a continuación en la figura 37:

Figura 37.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para la actividad de agua (Aw), de todos los tratamientos evaluados.



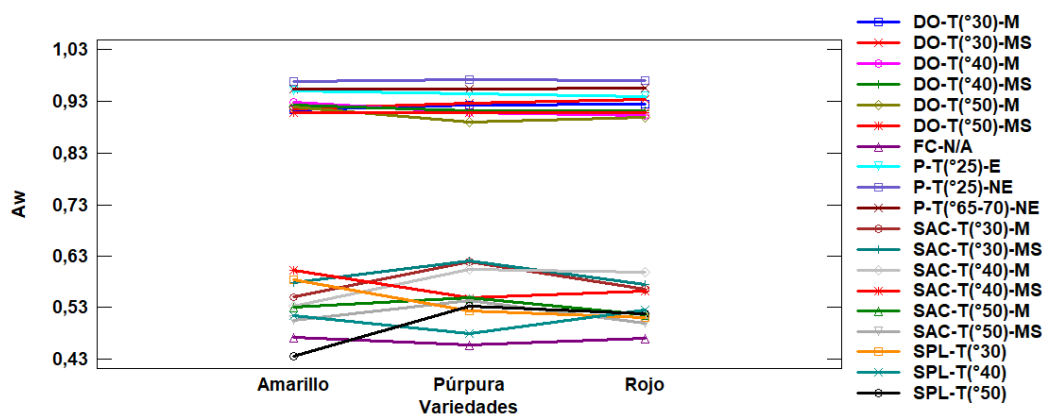
Se evidencia que existen dos tendencias bien diferenciadas en la comparación. Por un lado, en la parte izquierda de la figura se encuentran los tratamientos cuya media es alta y, en ese orden de ideas, poseerán los valores más altos de actividad de agua. Teniendo en cuenta esa información, la tecnología de pulpa (P), no pasteurizada (T-°25), no edulcorada,

es la que posee mayor media. Ocurre lo contrario en la parte derecha de la figura, haciendo que secado de pulpa en lámina (SPL) a 50 °C (T(°50)) posea el valor de media menor de todos los tratamientos evaluados.

Siguiendo con este análisis, en la figura 38, se presenta la interacción entre los tratamientos evaluados y la actividad de agua. Allí se puede encontrar que el tratamiento que mayor de media presenta es P-T(°25)-NE-Púrpura, registrando valores medios de 0,972, haciendo que este tratamiento, por tener valores por encima de 0,6, no presenten estabilidad microbiológica con alto riesgo de proliferación de agentes patógenos que deterioran el alimento. Por esta razón, para este parámetro se reconoce como el tratamiento más diferente al Amarillo, SPL-T (°50) es decir, T31-SPL, correspondiente a tomate de árbol variedad amarilla, sometido a secado por aire caliente a 50°C, que posee una media para actividad de agua de 0,435.

Figura 38.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y la actividad de agua (Aw).



3.6.5. Humedad en base seca (%)

En el parámetro contenido de humedad en base seca, cuyo análisis de varianza se indica en la tabla 25, se observa que no existe interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura que incida sobre la humedad en base seca (%) evaluada en los tratamientos. Sólo se está presentando una diferencia estadísticamente significativa entre los niveles del efecto principal tecnología-temperatura, usada en el procesamiento térmico de cada tratamiento.

En este caso, los tratamientos se encuentran bajo la influencia de la tecnología y la temperatura aplicada a cada proceso térmico, independientemente de cuál sea la variedad transformada, generando una disminución en la variable de respuesta que se refleja en sus medias, donde el comportamiento tiende a ser similar en todos los tratamientos respecto a los tratamientos testigo, en este caso a disminuir el porcentaje de humedad en base seca.

Tabla 25.

Análisis de varianza de la variable “Humedad en base seca (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

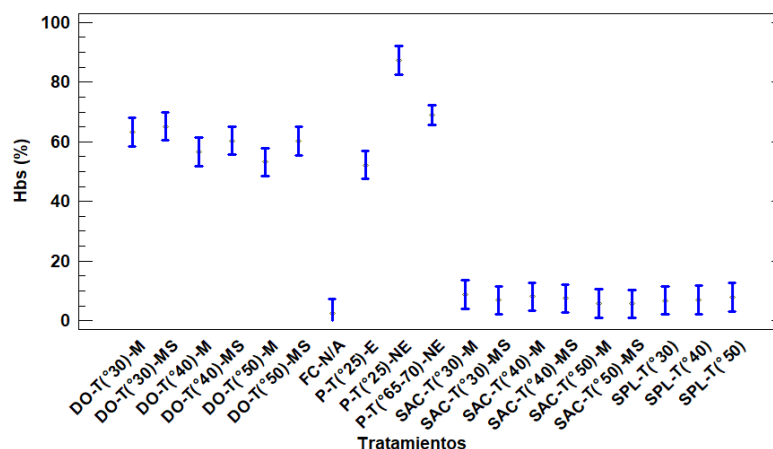
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	38,6103	2	19,3052	0,45	0,6358
B: Tecnología y Temperatura	206151,	18	11452,9	269,37	0,0000
Interacciones					
AB	266,64	36	7,40667	0,17	1,0000
Residuos	7780,72	183	42,5176		
Total (Corregido)	214240,	239			

La comparación de medias y Tukey HSD 95% para el contenido de humedad en base seca de todos los tratamientos evaluados se muestran en la figura 39. Allí se indica que las medias más bajas pertenecen a los tratamientos de tecnología “Fruta confitada - FC”. Sus valores de media corresponden a: 1,25% para variedad “Roja”: T2-FC, 2,23% en la variedad “Amarilla”: T1-FC y 3,94% para la variedad “Púrpura”: T3-FC. Esta información permite afirmar, que el tratamiento T2-FC, es decir, tomate de árbol, variedad “Roja” confitado, es el tratamiento que presenta la media más baja para la variable porcentaje de humedad en base seca.

Ocurre lo contrario con los tratamientos testigos, reconocidos en el programa como “P-T(°25)-NE y, desagregado en este capítulo como T111-P, T112-P y T1113-P, teniendo en cuenta que son tres variedades. Estos tres tratamientos pertenecientes a la tecnología “pulpas, sin pasteurizar y no edulcorados” presentan los contenidos de humedad en base seca más altos de toda la investigación.

Figura 39.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de humedad en base seca (%), de todos los tratamientos evaluados.



3.6.6. Cenizas (%)

Tabla 26.

Análisis de varianza de la variable “Cenizas” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

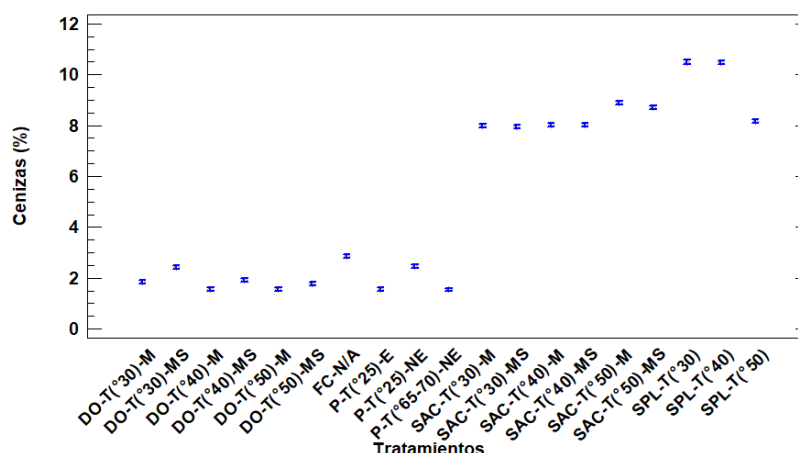
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Variedad	6,84909	2	3,42455	345,02	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	2903,37	18	161,299	16250,62	0,0000
Interacciones					
AB	49,3619	36	1,37117	138,14	0,0000
Residuos	1,8164	183	0,00992568		
Total (Corregido)	2961,28	239			

Para el análisis de varianza realizado con el parámetro porcentaje de cenizas en la tabla 26, se encontró que existe una interacción estadísticamente significativa entre variedad y la tecnología y temperatura, generándose efectos sobre el porcentaje de cenizas de cada uno de los tratamientos evaluados.

Por otra parte, los efectos principales para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles, lo que indica que existen comportamientos diferentes entre las variedades estudiadas, y a su vez, existen diferencias entre la temperatura y tecnología usada en el procesamiento de la fruta, que se reflejan en el porcentaje de cenizas evaluado para cada tratamiento.

Figura 40.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de cenizas (%), de todos los tratamientos evaluados.

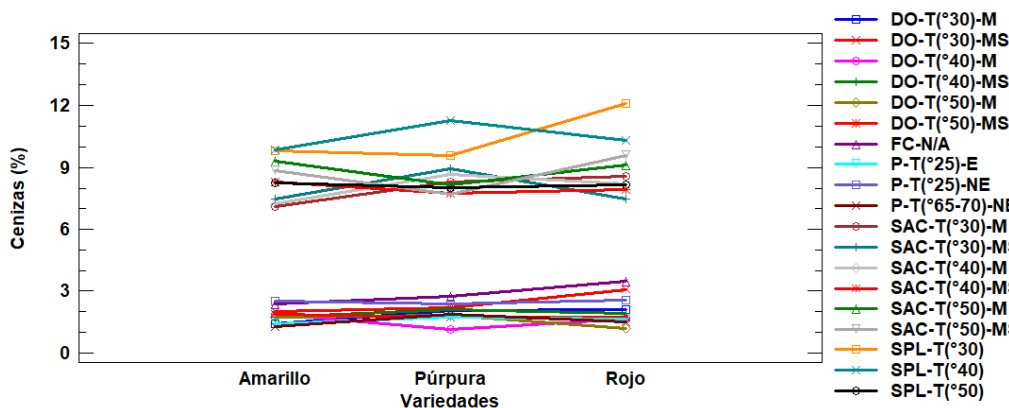


En la figura 40, se muestra la comparación de medias y Tukey HSD 95% para el contenido de cenizas de todos los tratamientos evaluados. Existen dos tendencias bien marcadas que permite realizar una diferenciación en el comportamiento de medias de los tratamientos por tecnología y temperatura. En la parte izquierda de la figura, se aprecian valores de media inferiores a 3,52 % que abarca los tratamientos de las tecnologías correspondientes a deshidratación osmótica (DO), fruta confitada (FC) y pulpas (P). Contrariamente, en la parte derecha de la figura, se observa que las medias para las tecnologías secado por aire caliente (SAC) y secado pulpa en lámina (SPL) presentan los valores de media más altos para esta variable de respuesta.

La figura 41 presenta las interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de cenizas y permite encontrar que el tratamiento que presenta una media mayor es “Rojo, SPL-T (°30)” equivalente a T12-SPL, es decir, pulpa de tomate de árbol variedad “Rojo” secado en lámina a 30 °C, con un valor de 12,11%.

Figura 41.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el contenido de cenizas (%).



3.6.7. Calorías ($\text{kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$).

El análisis de varianza para el parámetro calorías se aprecia en la tabla 27. La información recopilada permite encontrar que no existe interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura que incide sobre las calorías expresadas en $\text{kcal} \cdot (100\text{g})^{-1}$ y evaluadas en los tratamientos. El único efecto principal que está presentando diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles es “tecnología y temperatura”.

Ahora bien, se resalta que los tratamientos se encuentran bajo la influencia de la tecnología y la temperatura aplicada a cada proceso térmico, independientemente de cuál sea la variedad transformada, generando un aumento considerable en el contenido de calorías que se está reflejando en las medias y donde el comportamiento siempre conserva la misma tendencia a aumentar la cantidad de calorías respecto a los tratamientos testigo.

Tabla 27.

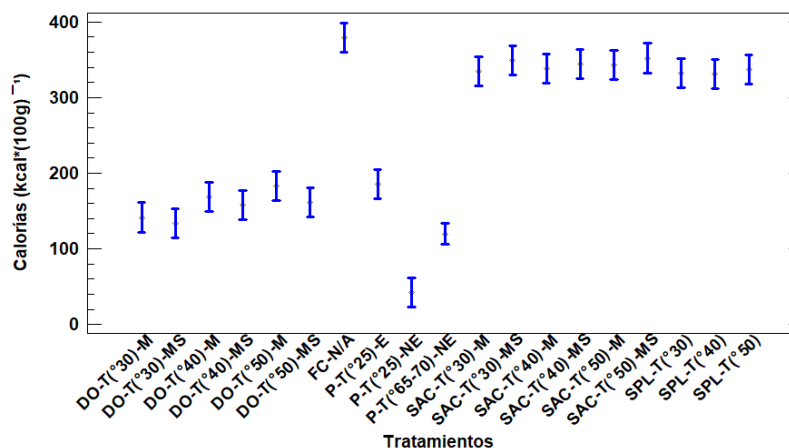
Análisis de varianza de la variable “Calorías” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	372,318	2	186,159	0,26	0,7677
B: Tecnología y Temperatura	2,68278E6	18	149043,	211,97	0,0000
Interacciones					
AB	5605,93	36	155,72	0,22	1,0000
Residuos	128676,	183	703,149		
Total (Corregido)					

Por otra parte, la figura 42 muestra la comparación de medias y la prueba Tukey HSD al 95% de significancia para el contenido de calorías de todos los tratamientos evaluados. La media más alta se presenta en los tratamientos que hacen parte de la tecnología “Fruta confitada -FC”. Los valores de media para los tres tratamientos que hacen parte de esta tecnología son 383,04 kcal*(100g)⁻¹ para variedad “Amarilla”: T-FC, 382,27 kcal*(100g)⁻¹ en la variedad “Roja”: T2-FC y 374,16 kcal*(100g)⁻¹ para la variedad “Púrpura”: T3-FC. Lo anterior indica que el tratamiento que mayor media presenta para calorías es el tratamiento T1-FC, es decir tomate de árbol confitado, variedad amarilla.

Figura 42.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el contenido de calorías (kcal(100g)⁻¹), de todos los tratamientos evaluados.*



4. Conclusiones

Se determinó el análisis proximal en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), encontrando que el efecto principal relacionado con la temperatura – tecnología aplicados a cada uno de los tratamientos, ejerce influencia sobre

la mayoría de las variables de respuesta. Esto conllevó a que se encontraran diferencias estadísticamente significativas en los contenidos en cada uno de los siete parámetros evaluados.

En general, cada variable evaluada presentó un tratamiento con mayor valor de media, o nivel más alto de diferencia significativa, que fue reconocido en esta investigación. Sin embargo, no se pudo establecer un único tratamiento que contenga la mayor presencia de la totalidad de los parámetros evaluados. Esto se debe también a que cada parámetro tiene sus límites permisibles particulares y en algunos casos es más beneficioso, para la calidad del producto y la prolongación de la vida útil, que se encuentren contenidos más bajos de esa variable, como es el caso de la actividad de agua, contenido de humedad en base seca, carbohidratos y calorías.

Referencias

- Cardona, F. (2020). Ósmosis y presión osmótica. Implicaciones en química, biología y tecnología de alimentos. <https://riunet.upv.es/handle/10251/140064>
- Cardona, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones. <https://riunet.upv.es/handle/10251/121948>
- Cerón, A. F., Mejía, D. F., y Osorio, O. (2016). Cinética de inactivación térmica de la enzima pectinmetilesterasa en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Información tecnológica, 27(2), 67-76. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000200009&script=sci_arttext
- Cerquera, N. E. (2006). Determinación de variables de secado y diseño de un prototipo para deshidratación de pulpa de fruta en lámina. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia, p. 164. <https://repositorio.unal.edu.co/discover>
- Cherrez, E. (2022). Evaluación del proceso de enlatado sobre las características fisicoquímicas y funcionales de Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) en almíbar. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13067>
- Falla, S., y Forero, M.J. (2023). Diseño y formulación de dos tipos de salsas a base de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia, p.100. <http://repositoriousco.co:8080/jspui/handle/123456789/4063>
- Fon Fay, F y Zumbado, H. (2020). Análisis proximal en alimentos Fundamentos teóricos y técnicas experimentales. In Biblioteca Colloquium.

https://www.researchgate.net/profile/Hector-Zumbado-Fernandez/publication/368653469_Analisis_proximal_en_alimentos_Fundamentos_teoricos_y_tecnicas_experimentales/links/63f310cf19130a1a4a92ba7a/Analisis-proximal-en-alimentos-Fundamentos-teoricos-y-tecnicas-experimentales.pdf

- García, M., Cortes Rodríguez, M., y Rodríguez, E. (2010). Evaluación del secado de perejil aplicando técnicas de deshidratación osmótica como pretratamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5693-5705. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472010000200022&script=sci_arttext
- Giraldo, G. A., Duque, A. L., y Mejía, C. M. (2005). La deshidratación osmótica como pretratamiento en la conservación de mora (*Rubus glaucus*) y uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Vitae*, 12(1), 15-22. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042005000100002&script=sci_arttext
- Laborde, M. B., Muñoz, S. N., y Pagano, A. M. (2020). Obtención de ciruelas osmodeshidratadas bajas en calorías mediante un proceso dual de sustitución de azúcares. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/164179>
- Moyano, R. A. (2022). Incremento del tiempo de conservación del *Solanum betaceum* (tomate de árbol), mediante el uso de tres recubrimientos comestibles enriquecido con aceite esencial de mandarina (*Citrus unshulu*). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17111>
- Repo de Carrasco, R., y 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. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s1810-634x2008000200004&script=sci_arttext
- Revelo, D. A. (2014). Microencapsulación de tomate de árbol rojo (*Solanum betaceum* cav.), mediante spray drying para aplicación en productos lácteos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51865>
- Rodríguez, A. (2014). Comparación de métodos combinados (ósmosis directa-microondas y secado convectivo por aire caliente-microondas) para la deshidratación de frutos del bosque. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34108>
- Rojas, D. (2013). Efecto de la estandarización y tratamiento térmico en el contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Solanum betaceum*.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=814802&pid=S1810-634X201800010000700010&lng=es

- Rojas, D. S., Repo de Carrasco, R., y Encina, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Revista de la Sociedad Química del Perú, 83(2), 174-186. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2017000200004&script=sci_arttext&tlng=pt
- Sagñay, M. D. C. (2012). Estudio Comparativo del Potencial Nutritivo de Dos Variedades de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.) Deshidratado por Microondas a Tres Potencias (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1917>
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendth. Archivos latinoamericanos de nutrición, 62(4), 381-388. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222012000400010&script=sci_arttext

Capítulo 6

Efecto del procesamiento térmico sobre algunas propiedades fisicoquímicas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Resumen

Se evaluó el efecto del procesamiento térmico sobre las coordenadas de color, pH, porcentaje de acidez, sólidos solubles totales y relación de madurez de cada tratamiento evaluado usando cinco tecnologías: Pulpas (P), Deshidratación osmótica (DO), Secado por aire caliente (SAC), Secado de pulpa en lámina (SPL) y Fruta confitada (FC), aplicadas a tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: Amarilla (T1), Roja (T2) y Púrpura (T3). Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza y prueba de comparación múltiple Tukey HSD, con un nivel de significancia $p < 0,05$. El tratamiento que en conjunto presentó mejor comportamiento en las propiedades fisicoquímicas evaluadas fue T221-SAC, equivalente a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, secado por aire caliente, a una temperatura de 40 °C. En este estudio se detalló el comportamiento de las coordenadas de color, que para el caso de este tratamiento presentó valores de 61,4 para luminosidad (L), 8,1 en la coordenada a^* , 64,4 coordenada b^* , 1,4 en Hue (h), 64,9 en la cromaticidad (C^*) y 27,1 en el cambio de color, respecto al tratamiento testigo (ΔE). En los parámetros químicos T221-SAC presentó un valor de 4,2 para el pH, 3,6% de %acidez, 21,3 °Brix para sólidos solubles totales y una relación de madurez de 5,9.

Palabras clave: Tamarillo, coordenadas de color en frutas, cambio de color en alimentos procesados, índice de madurez.

1. Introducción

Conforme a lo consolidado por Cazar (2016), se destacan como indicadores fisicoquímicos firmeza, acidez, color y sólidos solubles totales, los cuales se determinan con métodos convencionales de laboratorio penetrómetro, titulación, colorimetría y uso del refractómetro, siendo métodos prácticos, de fácil realización y con resultados en poco tiempo, permitiendo hacer seguimiento de la calidad de las frutas frescas y de prolongación de vida útil en su procesamiento.

En relación con la determinación de estos parámetros en tomate de árbol, Meza y Manzano (2009) estudiaron algunos de ellos en tomate de árbol con arilos de color amarillo y rojo, cultivados en Venezuela. Se midieron los contenidos de sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y la relación de madurez, encontrando que el pH fue mayor en los frutos con arilo rojo y el porcentaje de acidez titulable fue mayor en los frutos con arilo amarillo. Torres (2012) caracterizó algunas variables fisicoquímicas para pulpa madura de tomate de árbol, con valores de 3,5 para el pH, 10,51 °Brix en el contenido de sólidos solubles totales y una acidez titulable de 0,20 %.

Villares et al. (2018) en Ecuador, realizaron una descripción fenotípica de frutos de tomate de árbol provenientes de cruzamientos entre *S. unilobum* y *S. betaceum*, generando

tres grupos segregantes definidos, determinando la existencia de diferencias entre ellos para los valores de contenido de sólidos solubles totales y porcentaje de acidez titulable. Adicionalmente, Marcial et al. (2023) realizaron un seguimiento a los frutos de tomate de árbol en las variedades anaranjado y morado que se cultivan en Ecuador, desde el proceso de cuajado del fruto hasta los 170 días después de la polinización, dentro de las variables de monitoreo se encontraron sólidos solubles y color externo e interno para cada variedad.

Espejo et al. (2020) en Perú, determinaron algunos parámetros fisicoquímicos en frutos de tomate de árbol variedad roja con inmersión en ácido cítrico a diferentes concentraciones. Encontraron que la adición del 2% de ácido cítrico consiguió el mejor resultado, manteniendo el contenido de sólidos solubles con 10,77 °Brix y aumentando la vida útil del fruto en ocho días más respecto a los frutos del tratamiento testigo. Para México, Carabarán et al. (2017) revisaron los cambios en los parámetros fisicoquímicos en tomate de árbol almacenados a una temperatura de cinco grados Celsius. En esta investigación el tratamiento control mostró mejor comportamiento en las variables evaluadas y logrando una conservación por hasta 42 días.

Durán-Acevedo et al. (2014), en Colombia, desarrollaron una nariz electrónica para monitorear el proceso de maduración del tomate de árbol y contrastaron estos resultados con algunos valores encontrados para pH, acidez y grados Brix del producto, definiendo con exactitud tres estados de madurez. Cuastumal et al. (2016) evaluó el efecto del tratamiento térmico de cocción sobre algunas características de calidad en guayaba, mango y tomate de árbol cultivado en Colombia, entre ellos coordenadas de color, pH, acidez y vitamina C, determinando que hubo una afectación significativa de los procesos térmicos sobre los sólidos solubles, el porcentaje de acidez y el contenido de vitamina C.

Según Diezma et al. (2001), realizar un análisis fisicoquímico ayuda a controlar el cumplimiento de parámetros calidad y madurez, mediante la utilización de métodos analíticos, con algunas técnicas convencionales sencillas que permiten estudiar las posibles alteraciones o cambios que se puedan sufrir en un proceso de transformación. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del procesamiento térmico sobre algunas propiedades fisicoquímicas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

2. Metodología

2.1 Color

Para cuantificar la translucidez y las coordenadas CIEL*a*b*, en frutos enteros, se siguió la metodología de Padrón (2010) y adaptada por Castro et al. (2013), y un cálculo de la razón de cambio en el color a través del tiempo (ΔE) siguiendo lo enunciado por Quintero et al. (2012) y Villamizar (2014). Se hizo seguimiento fotográfico utilizando las aplicaciones móviles Photoroom y la herramienta Microsoft Paint, para la edición de imágenes utilizadas para la identificación morfológica. Las imágenes fueron tomadas con la cámara de un dispositivo móvil Huawei P50-pro, modelo JAD-LX9, con un ángulo de inclinación de 0° y un fondo color negro. Estas imágenes se usaron también para establecer

las coordenadas de color CIELa*b* de la piel de los frutos conforme a la metodología de Castro et al. (2013).

2.2 pH

Se empleó el método AOAC 981.12 (A.O.A.C 1998), utilizando un equipo Schott Lab 850.

2.3 Sólidos solubles totales (°Brix)

Se empleó el método AOAC 932.12 (A.O.A.C 1998), mediante el uso de un refractómetro digital marca ATAGO, modelo Pocket Pal- α 3840.

2.4 Acidez titulable (%)

Basado en el porcentaje de ácido cítrico presente en las frutas, titulando con una solución de Hidróxido de sodio con una concentración de 0.1N (Método AOAC 942.15, (A.O.A.C 1998)).

2.5 Relación de madurez

Se calculó como el cociente entre el porcentaje de sólidos solubles y el porcentaje de acidez.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó con el programa Statgraphics Centurion XVI.I, usando la nomenclatura descrita en la tabla 1 de la tesis doctoral. Los tratamientos se distribuyeron siguiendo un diseño multifactorial de n-vías con cuatro réplicas en donde los factores a evaluar fueron Variedad y Tecnología de procesamiento térmico- Temperatura. Se efectuó el análisis de varianza conforme al diseño experimental propuesto y se establecieron las diferencias estadísticamente significativas generadas por cada uno de los factores. De igual forma, se hizo una prueba de comparación de medias y Tukey HSD 95% de confianza, y un estudio de las interacciones entre los tratamientos y el valor de cada una de las variables de respuesta que se evaluaron en el análisis proximal.

3. Resultados

3.1 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados en obtención de pulpas.

La tabla 28 muestra un consolidado de los parámetros fisicoquímicos evaluados para las pulpas obtenidas en esta investigación. El estudio realizado expone seis variables asociadas al color, convirtiéndose en una variable destacada en la evaluación de la influencia térmico sobre el color.

En esta tecnología se encuentran los tratamientos testigo T111-P, equivalente a pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad “Amarilla”, T112-P, pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad “Roja” y T113-P pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad “Púrpura”, como referentes de comparación para cada parámetro evaluado, los cuales poseen los valores más altos de luminosidad, además, se hizo un análisis de la retención o aumento de valor en todos los parámetros fisicoquímicos estudiados.

Tabla 28.
Parámetros fisicoquímicos de pulpas estudiadas.

T	L	a*	b*	h	C*	ΔE	pH	%AT	SST (°Brix)	Rm
T111-P	80,7	1,4	82,1	1,6	82,1	0,0	4,2	1,9	10,2	5,3
T112-P	71,8	20,8	76,0	1,3	78,8	0,0	4,4	1,6	13,3	8,4
T113-P	44,5	66,1	40,0	0,5	77,2	0,0	4,2	1,9	9,6	5,1
T121-P	34,9	15,7	39,5	1,2	42,5	64,2	4,2	1,2	42,7	34,7
T122-P	36,1	15,3	41,5	1,2	44,4	50,1	4,3	0,9	41,9	45,5
T123-P	8,2	19,6	7,4	0,4	21,0	67,3	4,0	1,1	41,4	37,3
T211-P	38,4	11,9	42,6	1,3	44,2	58,9	4,2	2,0	10,2	5,2
T212-P	32,2	17,8	37,7	1,1	41,7	55,2	4,8	1,7	13,3	7,8
T213-P	11,7	24,0	11,5	0,4	26,6	60,4	4,3	1,9	9,6	5,0
T221-P	35,4	12,1	40,0	1,3	41,8	62,8	4,1	1,2	42,7	37,1
T222-P	45,0	15,9	50,3	1,3	52,8	37,5	4,5	0,9	41,9	45,1
T223-P	8,1	19,1	6,5	0,3	20,1	68,2	4,1	1,1	41,4	37,3

Revisando la coordenada L, correspondiente a luminosidad se estableció que el tratamiento T222-P, equivalente a pulpa pasteurizada, edulcorada de tomate de árbol variedad “Roja” es el que mayor conserva la luminosidad con un valor de 45,0. Al comparar los tratamientos, se aprecia que se presentó una disminución de la luminosidad en el tratamiento T222-P respecto a su testigo T112-P, correspondiente a pulpa sin pasteurizar, no edulcorada, variedad “Roja” que posee una luminosidad de 71,8.

El tratamiento que conserva el color rojo, característico de la coordenada a*, con valores positivos, es T213-P, es decir pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Púrpura” con un valor de 24,0. Sin embargo, pese a que es el tratamiento que más conserva este color, se presentó una disminución, respecto a su testigo T113-P que posee un valor de 66,1 en esta coordenada colorimétrica, mostrando que hubo una influencia del procesamiento térmico sobre la coordenada a* de este producto. En cuanto a la coordenada b* el tratamiento que más conserva el color amarillo, característico de la coordenada b*, en sus valores positivos, es T222-P, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Roja” con un valor de 50,3, disminuyendo su valor respecto a su testigo T112-P.

Márquez et al. (2007) encontraron coordenadas de color para pulpa de tomate de árbol variedad “Roja-anaranjada”, cultivados en Colombia, un valor de luminosidad de 62,0, a* de 17,0 y b* de 39,0. Al compararlos con el testigo respectivo T112-P, se estableció que la pulpa tomate de árbol, variedad “Roja” estudiada presenta valores por encima de los reportados en las tres coordenadas de color, presentando más luminosidad (L) con un valor de 71,8, coordenada a* ligeramente más roja con 20,8 y donde predomina mayormente el color amarillo con una coordenada b* de 76,0.

El tratamiento que más conservó su valor del ángulo de tono o matiz de la tonalidad (h) fue T222-P, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Roja”. En este caso, al compararlo con tu testigo T112-P no presentó disminución en el ángulo de tono, después del procesamiento. Igualmente, este tratamiento fue el que más conservó la cromaticidad respecto a su tratamiento testigo con un valor de cromaticidad de 52,8, reconociendo a este tratamiento como el que posee más brillo y pureza de todos los tratamientos que fueron procesados usando esta tecnología. El mayor cambio de color ΔE se presentó en T223-P, es decir pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Púrpura” con un valor de 68,2. Ocurrió lo contrario con T222-P es decir pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Roja” con un cambio de color de 37,5.

En los relacionado al pH el tratamiento T212-P, correspondiente a pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Roja” obtuvo el mayor valor con 4,8. Este valor es mayor al pH de su tratamiento testigo, lo que evidencia un aumento en el pH, por efecto del procesamiento térmico. El porcentaje de acidez se incrementó levemente en el tratamiento T211-P, es decir, pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Amarilla”, respecto a su testigo T111-P, con un valor de 2%.

Se presentó un incremento en los contenidos de sólidos en los tratamientos edulcorados, en cumplimiento con la Resolución 3929 de 2013, del Ministerio de la protección social que indica que las pulpas edulcoradas deben contener un mínimo de sólidos solubles de 40 °Brix. Teniendo en cuenta lo anterior, los tratamientos T121-P, pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Amarilla” y T221-P, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Amarilla” son los tratamientos con mayor contenido de sólidos solubles totales con un valor de 42,7 °Brix. La relación de madurez presentó su mayor valor en T122-P, pulpa sin pasteurizar, edulcorada de variedad “Roja” con un valor de 45,5.

Respecto a los tratamientos testigo, se determinaron valores de pH de 4,2 para T111-P, 4,4 para T112-P y 4,2 para T113-P. Se compararon con lo reportado por Revelo (2011) quien consolidó valores de pH para variedad amarilla de 3,77, anaranjada (Roja) de 3,76 y morado (Púrpura) de 3,45, encontrando que las tres variedades evaluadas presentan valores más altos que las variedades cultivadas en Ecuador.

Igualmente, para porcentaje de acidez titulable, Revelo (2011) muestra valores de 1,89% en la variedad amarilla, 1,87% en anaranjada (Roja) y 1,91% en la variedad morado (Púrpura). Estos valores son muy cercanos a los determinados en esta investigación especialmente en las variedades “Amarilla” T111-P y “Púrpura” T113-P, que registran un porcentaje de acidez titulable de 1,9%. En la variedad “Roja” T112-P se presenta un porcentaje más bajo que el reportado por el mismo autor, con acidez titulable de 1,6%.

Así mismo, Revelo (2011) expone contenidos de sólidos solubles totales de 11,3 °Brix, para variedad amarilla, 12,7 °Brix para variedad anaranjada (Roja) y 10,7 °Brix para morado (Púrpura). Al compararlos con los obtenidos en la presente investigación, se observa el mismo comportamiento en donde la variedad Roja es la que presenta mayor

contenido de sólidos, sin embargo, los valores son ligeramente más bajos en las variedades “Amarilla” y Púrpura” con 10,2 °Brix y 9,6 °Brix, respectivamente, y un poco más alta para la variedad “Roja” con 13,3 °Brix.

3.2 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para DO.

A continuación, en la tabla 29, se resumen los parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a osmodeshidratación.

El tratamiento T221-DO presentó la mayor luminosidad en esta tecnología con un valor de 61,7. Se observa una disminución en este parámetro respecto a su tratamiento testigo T111-P que posee una luminosidad de 80,7. De acuerdo con lo estudiado por Cieza (2024) la temperatura puede ejercer una influencia sobre la luminosidad cuando un alimento es sometido a un proceso térmico, este comportamiento no ocurre en las coordenadas a^* y b^* . Teniendo en cuenta lo anterior, se corrobora el comportamiento presentado por el tratamiento T223-DO que obtuvo la más baja luminosidad con un valor de 6,8.

Tabla 29.

Parámetros fisicoquímicos en tratamientos osmodeshidratados.

T	L	a^*	b^*	h	C*	ΔE	pH	%AT	SST (°Brix)	Rm
T111-DO	54,4	5,6	57,6	1,5	57,8	36,2	4,1	1,6	61,7	38,6
T112-DO	41,1	35,7	45,2	0,9	57,6	46,0	4,2	1,0	55,2	54,1
T113-DO	20,8	24,0	16,5	0,6	29,1	53,7	4,1	1,3	51,9	41,2
T121-DO	56,4	8,0	60,7	1,4	61,2	33,1	4,2	1,9	56,1	30,2
T122-DO	47,6	22,1	49,9	1,2	54,6	35,6	4,2	1,2	57,7	48,1
T123-DO	20,7	24,0	16,7	0,6	29,3	53,6	4,1	1,3	58,5	43,7
T131-DO	50,8	13,1	55,6	1,3	57,1	41,7	4,2	1,6	60,4	38,2
T132-DO	47,3	21,4	50,3	1,2	54,7	35,5	4,2	1,5	60,5	39,3
T133-DO	21,2	20,1	26,3	0,9	33,1	53,4	4,2	1,5	60,2	39,9
T211-DO	48,3	8,0	44,1	1,4	44,8	50,4	4,2	1,6	56,1	34,6
T212-DO	43,3	34,7	46,5	0,9	58,0	43,3	4,2	1,1	56,5	53,3
T213-DO	21,3	30,2	24,2	0,7	38,8	45,5	4,1	1,3	56,3	45,0
T221-DO	61,7	1,2	64,4	1,6	64,4	26,0	4,2	1,8	55,7	30,3
T222-DO	52,1	21,2	54,9	1,2	58,9	28,9	4,2	1,2	57,9	47,1
T223-DO	6,8	14,8	8,0	0,5	16,8	71,2	4,2	1,4	52,4	36,9
T231-DO	47,8	9,7	53,4	1,4	54,3	44,5	4,2	1,6	56,8	35,5
T232-DO	43,1	30,2	45,8	1,0	54,8	42,7	4,2	1,6	57,2	36,4
T233-DO	13,4	17,3	16,0	0,7	23,5	62,6	4,2	1,5	57,8	37,5

En cuanto a la coordenada a^* el tratamiento T112-DO, equivalente mesocarpio sometido a osmodeshidratación a 30°C, variedad “Roja” presentó un valor de 35,7,

aumentando respecto a su testigo T112-P. Rojas y Chumacero (2019) explican que esto puede ocurrir debido a que pretratamientos como la osmodeshidratación puede producir alimentos con mejores características de color y un indicador de ello es el incremento en las coordenadas a^* y b^* en el alimento procesado.

La coordenada b^* es mayor en el tratamiento T221-DO, es decir, mesocarpio más endocarpio osmodeshidratado a 40°C, variedad “Amarilla” con un valor de 64,4, mostrando una buena retención del color amarillo, respecto a su tratamiento testigo T111-P que posee un valor de 82,1. De igual forma, este tratamiento presenta mayor valor de h con 1,6 indicando que el tono no cambió respecto a su testigo T111-P. Seguidamente, el mismo tratamiento posee la mayor cromaticidad con un valor de 64,4 y la menor pérdida de color o cambio de color con un valor de 26,0, convirtiéndolo en el tratamiento más estable desde el punto de vista colorimétrico, para la tecnología “Deshidratación osmótica”.

Revisando el parámetro pH se encontró que no se presentaron cambios significativos en el valor de este parámetro que, en la mayoría de los tratamientos se mantuvo con un valor de 4,2. Para el porcentaje de acidez titulable, se presentó una leve disminución en la mayoría de los tratamientos, sin embargo, el tratamiento T121-DO obtuvo un porcentaje de 1,9%, sosteniendo el mismo valor respecto a su testigo T111-P. En el contenido de sólidos solubles se presentó un aumento significativo, siendo T111-DO, correspondiente a mesocarpio, osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Amarilla” con un valor de 61,7 °Brix, el que respecto a su tratamiento testigo T111-P, con un valor de 10,2 °Brix, presentó un aumento de seis veces en el contenido de sólidos solubles. Rodríguez et al. (2012) y Bambicha et al. (2012) explican que en osmodeshidratación el aumento progresivo de sólidos se presenta cuando se utilizan soluciones hipertónicas, por efecto de la presión osmótica, se obtienen productos finales con mayores contenidos de sólidos solubles totales. La relación de madurez aumentó en todos los tratamientos siendo T112-DO, mesocarpio osmodeshidratado a 30°C, variedad “Roja” el que mayor valor presenta con 54,1.

3.3 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para SAC.

En la tabla 30, se observan los parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a la tecnología secado por aire caliente.

El tratamiento T131-SAC, es decir, mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Amarilla”, presentó la mayor luminosidad con un valor de 65,0. Sin embargo, se aprecia una disminución en este parámetro respecto a su tratamiento testigo T111-P que tuvo una luminosidad de 80,7. En la coordenada a^* , el tratamiento T113-SAC, mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30°C, variedad “Púrpura”, mostró el mayor valor en esta coordenada con 38,8. Este tratamiento presentó disminución en el valor de esta coordenada, respecto a su tratamiento testigo T113-P que posee un valor de 66,1. El tratamiento T221-SAC, correspondiente a mesocarpio más endocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad “Amarilla” es el que presentó mayor valor para

la coordenada b^* , con su valor de 64,4, experimentado una reducción respecto a su testigo T111-P que tiene un valor de 82,1 para esta coordenada.

Tabla 30.

Parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a secado por aire caliente.

T	L	a*	b*	h	C*	ΔE	pH	%AT	SST (°Brix)	Rm
T111-SAC	64,8	10,6	63,7	1,4	64,5	26,1	4,2	3,3	22,1	6,8
T112-SAC	35,2	26,9	41,3	1,0	49,3	50,8	4,4	3,9	23,1	5,9
T113-SAC	31,2	38,8	27,5	0,6	47,5	32,8	4,3	3,5	20,7	6,0
T121-SAC	60,4	5,2	59,0	1,5	59,2	31,1	4,2	3,8	21,5	5,6
T122-SAC	38,5	21,2	45,5	1,1	50,2	45,2	4,2	3,8	22,6	6,0
T123-SAC	44,6	21,3	6,3	0,3	22,2	56,0	4,2	3,7	21,2	5,7
T131-SAC	65,0	9,9	59,7	1,4	60,5	28,7	4,3	4,0	23,6	6,0
T132-SAC	49,6	18,7	51,0	1,2	54,3	33,5	4,3	4,2	24,8	5,9
T133-SAC	22,6	28,8	24,5	0,7	37,8	45,9	4,3	3,9	23,2	6,0
T211-SAC	62,8	9,1	61,4	1,4	62,1	28,5	4,2	3,5	21,9	6,3
T212-SAC	40,0	24,3	46,7	1,1	52,7	43,4	4,4	4,0	22,9	5,7
T213-SAC	17,8	22,6	9,3	0,4	24,5	59,5	4,3	3,5	20,9	6,1
T221-SAC	61,4	8,1	64,4	1,4	64,9	27,1	4,2	3,6	21,3	5,9
T222-SAC	44,9	19,9	44,9	1,2	49,1	41,1	4,2	3,9	22,1	5,7
T223-SAC	23,5	15,9	1,1	0,1	16,0	66,8	4,2	3,6	21,1	5,9
T231-SAC	50,1	9,8	50,4	1,4	51,3	44,9	4,3	3,9	23,5	6,0
T232-SAC	43,2	16,2	35,2	1,1	38,8	50,1	4,4	4,0	24,4	6,1
T233-SAC	28,0	12,2	1,5	0,1	12,3	68,2	4,2	3,9	23,1	6,0

El valor del tono o hue se ha mantenido estable en más de la mitad de los tratamientos sometidos a procesamiento térmico con esta tecnología, destacando que el mayor de h se muestra en T121-SAC equivalente a mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad “Amarilla” con un valor de 1,5. Respecto a la cromaticidad, el mayor valor de brillo o pureza se presentó en el tratamiento T221-SAC, es decir mesocarpio más endocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad “Amarilla” con un valor de 64,9 y en el cambio de color ΔE se destacó que el tratamiento que menos cambió de color respecto a su testigo fue T111-SAC, correspondiente a mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad “Amarilla”, con un valor de 26,1.

El pH de los tratamientos sometidos a secado por aire caliente mantuvieron un valor muy similar a sus tratamientos testigo, en todos los casos, con valores de pH entre 4,2 y 4,4. En el porcentaje de acidez titulable presentó un aumento en la totalidad de los tratamientos. Este comportamiento coincide con lo estudiado por Kuno (2021) en donde la pulpa de curuba (*Passiflora tripartita*) deshidratada a diferentes temperaturas presentó

mayores porcentajes de acidez en sus productos finales, respecto a la pulpa de fruta fresca. El mayor porcentaje de acidez titulable se presentó en el tratamiento T132-SAC, es decir, mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50°C, variedad “Roja” con un valor de 4,2%.

Esta misma tendencia de incremento se presentó en el contenido de sólidos solubles totales en todos los tratamientos evaluados en esta tecnología. Alvarado (2022), explica que, debido a la salida de fluidos desde la matriz del alimento, ocurre una etapa de impregnación, y durante la deshidratación sucede además una ganancia de sólidos en el producto procesado. El tratamiento que mayor contenido de sólidos solubles totales obtuvo fue T132-SAC, es decir, mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50°C, variedad “Roja” con un valor de 24,8 °Brix. En cuanto a la relación de madurez, T111-SAC correspondiente a mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad “Amarilla” fue el tratamiento que mostró un valor de 6,8.

3.4 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para SPL.

En la tabla 31, se muestran los parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a la tecnología secado de pulpa en lámina.

El tratamiento T21-SPL, equivalente a pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Amarilla”, presentó la mayor luminosidad con un valor de 62,8. Al igual que en las otras tecnologías, hubo una disminución en este parámetro respecto a su tratamiento testigo T111-P que tuvo una luminosidad de 80,7. En la coordenada a*, el tratamiento T23-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Púrpura”, con 20,3 fue el mayor valor en esta coordenada, lo cual indica que la coordenada a* en esta tecnología, ha disminuido su valor, respecto a su tratamiento testigo T113-P que posee un valor de 66,1. Lo mismo ocurre con la coordenada b* que, para el caso del tratamiento T31-SPL, correspondiente pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Amarilla” mostró un valor de 54,1 para la coordenada b*, el cual, aun que presenta el mayor valor, ha experimentado una reducción respecto a su testigo T111-P que tiene un valor de 82,1 para esta coordenada.

El valor del tono o hue presentó una disminución en la totalidad de los tratamientos, siendo mayor, con un valor de 1,4 en los tratamientos T31-SPL, T21-SPL y T11-SPL, es decir, pulpas de variedad amarilla, sometidas a secado en lámina en cada una de las temperaturas utilizadas. En lo relacionado a la cromaticidad, el mayor valor de brillo o pureza se presentó en el tratamiento T31-SPL, es decir pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Amarilla” con un valor de 55,1. Este mismo tratamiento presentó el menor cambio de color ΔE con un valor de 34,5.

El pH de los tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina presentó un leve incremento, aunque se mantuvieron con valores muy similares a sus tratamientos testigo, en todos los casos, con valores de pH entre 4,3 y 4,4. En el porcentaje de acidez se presentó un aumento en la totalidad de los tratamientos. El mayor porcentaje de acidez se presentó

en los tratamientos T21-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Amarilla” y T11-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Amarilla”, con un valor de 2,8%.

Tabla 31.

Parámetros fisicoquímicos en tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.

T	L	a*	b*	h	C*	ΔE	pH	%AT	SST (°Brix)	Rm
T11-SPL	51,5	9,4	43,9	1,4	45,1	49,2	4,4	2,8	27,4	9,9
T12-SPL	45,3	17,2	30,5	1,1	35,1	53,0	4,4	2,6	29,6	11,6
T13-SPL	28,1	9,6	6,8	0,6	11,9	67,9	4,3	2,5	26,8	10,9
T21-SPL	62,8	7,4	51,8	1,4	52,4	36,6	4,3	2,8	28,5	10,1
T22-SPL	49,2	9,7	34,2	1,3	35,7	49,1	4,4	2,6	30,7	11,8
T23-SPL	30,5	20,3	21,7	0,8	29,7	51,3	4,4	2,4	27,9	11,6
T31-SPL	62,6	10,0	54,1	1,4	55,1	34,5	4,4	2,6	29,7	11,5
T32-SPL	50,1	9,9	38,7	1,3	39,9	44,5	4,4	2,6	31,2	11,9
T33-SPL	39,6	18,0	0,1	0,0	18,0	62,6	4,4	2,5	28,5	11,3

Hubo un incremento en el contenido de sólidos solubles totales para la totalidad de los tratamientos evaluados en esta tecnología, los cuales fueron mayores que los encontrados en la tecnología secado por aire caliente. El tratamiento que mayor contenido de sólidos solubles totales obtuvo fue T32-SPL, es decir pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Roja”, con un valor de 31,2 °Brix. En cuanto a la relación de madurez, este mismo tratamiento mostró ser el valor mayor con 11,9.

3.5 Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados para FC.

En la tabla 32 se muestran los parámetros fisicoquímicos en para los tres tratamientos de fruta confitada. Al revisar el comportamiento de la luminosidad, se aprecia que el tratamiento T3-FC, correspondiente a tomate de árbol confitado, variedad “Púrpura”, presentó el valor más bajo, frente a los otros dos tratamientos que, a pesar de haber disminuido su luminosidad, presentan valores mayores en la coordenada L. Lo mismo ocurrió con la coordenada a* que es característica de este tratamiento con un valor de 25,6, que, al compararlo con su testigo T113-P que posee un valor de 66,1, ha disminuido de forma contundente. La coordenada b*, característica de los tratamientos con variedad “Amarilla” presentan buena retención y esto se aprecia en el tratamiento T1-FC con un valor de 63,2.

El tono o hue disminuyó especialmente en T3-FC, es decir tomate de árbol confitado, variedad “Púrpura” con un valor de 0,6. Ocurrió el mismo comportamiento en la cromaticidad siendo menor la pureza o el brillo en este tratamiento y mayor en el tratamiento T1-FC, equivalente a tomate de árbol confitado, variedad “Amarillo” con un valor de 64,2. El cambio de color ΔE fue menor en el tratamiento T2-FC, es decir tomate de árbol confitado, variedad “Roja” con un valor de 21,5.

Tabla 32.*Parámetros fisicoquímicos en fruta confitada.*

T	L	a*	b*	h	C*	ΔE	pH	%AT	SST (°Brix)	Rm
T1-FC	61,1	11,3	63,2	1,4	64,2	29,1	4,2	1,7	65,9	38,8
T2-FC	59,4	11,9	61,5	1,4	62,8	21,5	4,3	1,2	66,4	56,3
T3-FC	20,0	25,6	16,8	0,6	30,7	53,0	4,1	1,4	65,6	46,9

En lo referente al pH, los valores determinados varían levemente respecto a sus tratamientos testigo, encontrándose en un intervalo de pH entre 4,1 y 4,3. El porcentaje de acidez disminuyó en todos los tres tratamientos respecto a sus testigos. Para el caso de los contenidos de sólidos solubles totales y relación de madurez su incremento en todos los tres tratamientos es contundente con valores que superan los 65 °Brix en sólidos solubles totales y relación de madurez en un intervalo entre 38,8 y 56,3.

3.6 Análisis comparativo para cada parámetro

3.6.1 Coordenadas de color

- Coordenada L

El análisis de varianza para la coordenada “Luminosidad” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología está plasmado en la tabla 33. Se aprecia la existencia de una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de *Cyphomandra betacea* Sendt y la tecnología- temperatura aplicada, con un valor-P menor a 0,05. Esto indica que se ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la luminosidad (L) encontrada en los tratamientos con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 33.*Análisis de varianza de la coordenada “L” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	43621,9	2	21811,0	2580,94	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	17315,7	18	961,981	113,83	0,0000
Interacciones					
AB	7198,77	36	199,966	23,66	0,0000
Residuos	1546,5	183	8,45079		
Total (Corregido)	70322,9	239			

A su vez, los efectos principales para “Variedad” y “Tecnología y Temperatura”, presentan diferencias estadísticamente significativas lo que se interpreta como un valor de luminosidad diferente en cada variedad de la fruta que, además, está bajo la influencia del

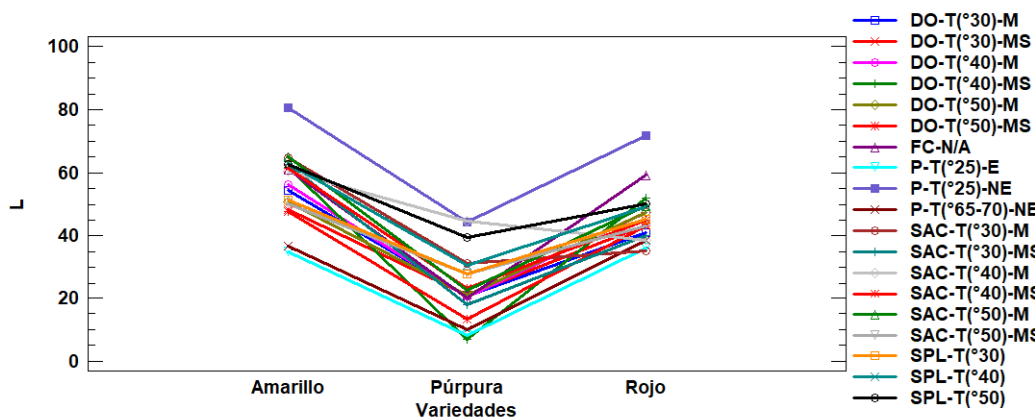
efecto principal “tecnología y temperatura” de procesamiento térmico, generando valores específicos y diferenciados en cada tratamiento implementado en esta investigación.

La figura 43 indica las interacciones entre los tratamientos evaluados y la luminosidad L. Se observa que las medias más altas se encuentran en la tecnología “pulpa”, codificada en Statgraphics como P, T (°25)-NE que indica un tratamiento con pulpa, sin pasteurizar y sin edulcorar. Revisando las interacciones se estableció que el tratamiento con media mayor es P, T (°25)-NE, variedad “Amarilla” equivalente al tratamiento T111-P con un valor de 80,74. Por ser un tratamiento, considerado como testigo, se buscó el tratamiento procesado con mayor media para revisar el grado de pérdida de la luminosidad.

En otras palabras, el tratamiento que presenta menor pérdida de luminosidad es el tratamiento SAC-T (°50)-M variedad “Amarilla”, identificado como T131-SAC correspondiente a Mesocarpio de tomate de árbol, variedad amarilla, sometido a secado por aire caliente, a una temperatura de 50 °C, con un valor de 64,97, indicando solamente un 19,5% de reducción de la luminosidad respecto a T111-P.

Figura 43.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “L”.



- Coordenada a*

En la tabla 34 se aprecia el análisis de varianza de la coordenada a* en relación con la totalidad de tratamientos. Se encontró que existe interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol y la tecnología- temperatura implementada, con un valor-P menor a 0,05. Es decir, se ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre la coordenada a* determinada en los tratamientos, con un nivel de confianza del 95%.

De igual forma, los efectos principales para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, presentaron diferencias estadísticamente significativas encontrándose que la

coordenada de color a^* es diferente en cada variedad evaluada y la temperatura-tecnología está ejerciendo una influencia sobre este parámetro en los tratamientos analizados.

Tabla 34.

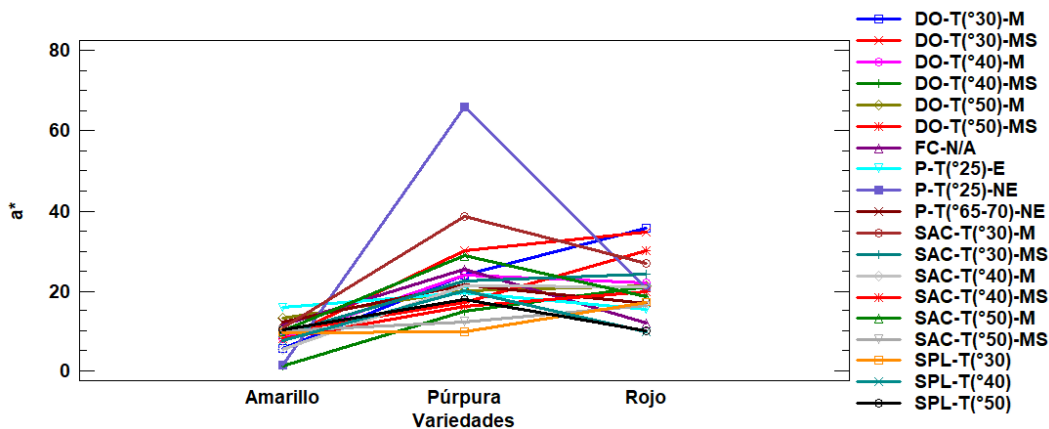
Análisis de varianza de la coordenada “ a^ ” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	9847,75	2	4923,87	1965,85	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	5003,31	18	277,962	110,98	0,0000
Interacciones					
AB	10652,8	36	295,911	118,14	0,0000
Residuos	458,36	183	2,5047		
Total (Corregido)	25776,9	239			

Las interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada a^* se observan en la figura 44. El comportamiento de medias es muy similar al parámetro anterior. El tratamiento que presenta la mayor media en la prueba de comparación, que se corrobora en su gráfica de interacciones es el tratamiento, P-T ($^{\circ}$ 25)-NE variedad “Púrpura”, es decir el tratamiento testigo T113-P, con un valor medio para la variable de respuesta coordenada a^* de 66,06.

Figura 44.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “ a^ ”.*



Seguidamente se buscó el tratamiento procesado con mayor media para revisar el grado de pérdida de la coordenada a^* en los tratamientos a los que se les aplicó procesamiento térmico. Como resultado de esta búsqueda se determinó que el tratamiento que presenta menor pérdida de coordenada a^* es SAC-T ($^{\circ}$ 30)-M, variedad “Púrpura”, es decir T113-SAC equivalente a Mesocarpio de tomate de árbol, variedad púrpura, secado

por aire caliente, a una temperatura de 30 °C, con un valor medio de 38,78, mostrando un 41,30% de reducción del valor de la coordenada a* respecto a T113-P.

- **Coordenada b***

El análisis de varianza de la coordenada b* en relación con la totalidad de los tratamientos evaluados se presenta en la tabla 35. Se estableció que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol y la tecnología temperatura aplicada, con un valor-P menor a 0,05. Por lo tanto, existe un efecto estadísticamente significativo sobre la coordenada b* en los tratamientos con un nivel de confianza del 95%.

Adicionalmente, de manera individual, los efectos principales “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, poseen diferencias estadísticamente significativas lo que indica que, la coordenada de color b* es diferente en cada variedad evaluada y la temperatura-tecnología genera una influencia sobre los tratamientos estudiados.

Tabla 35.

Análisis de varianza de la coordenada “b” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología*

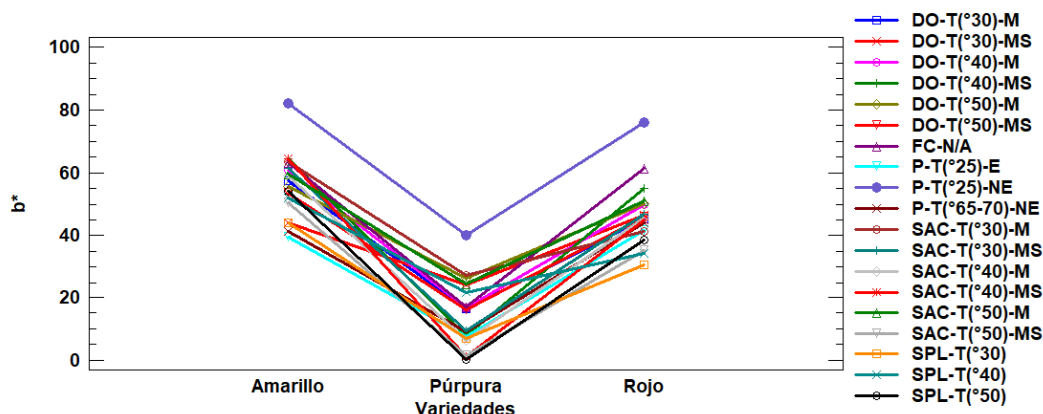
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Variedad	73866,0	2	36933,0	6754,13	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	17275,4	18	959,746	175,51	0,0000
Interacciones					
AB	6800,62	36	188,906	34,55	0,0000
Residuos	1000,68	183	5,46821		
Total (Corregido)	99714,0	239			

En la figura 45 se muestran las interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada b*. Igualmente, el tratamiento que presenta la mayor media en la prueba de comparación es el tratamiento testigo P-T (°25)-NE variedad “Amarilla”, es decir, el tratamiento T111-P, el cual presenta una media de 82,12 para la variable de respuesta coordenada b*.

Al buscar el tratamiento procesado con mayor media estableciendo el grado de pérdida de la coordenada b* en los tratamientos térmicamente procesados, se encontró que el tratamiento que presenta menor pérdida de coordenada b* es SAC-T(°40)-MS, variedad “Amarilla”, es decir T221-SAC que corresponde a Mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, secado por aire caliente, a una temperatura de 40 °C, con un valor medio de 64,43, mostrando un 21,15% de reducción de la coordenada a* respecto a T111-P.

Figura 45.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada de color “b*”.



- Hue (h)

Para apreciar el análisis de varianza en el matiz o hue en relación con la totalidad de los tratamientos se muestra a continuación la tabla 36:

Tabla 36.

Análisis de varianza de la coordenada “h (hue)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	33,7981	2	16,8991	10336,86	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	1,82323	18	0,10129	61,96	0,0000
Interacciones					
AB	4,5668	36	0,126856	77,60	0,0000
Residuos	0,299175	183	0,00163484		
Total (Corregido)	41,4926	239			

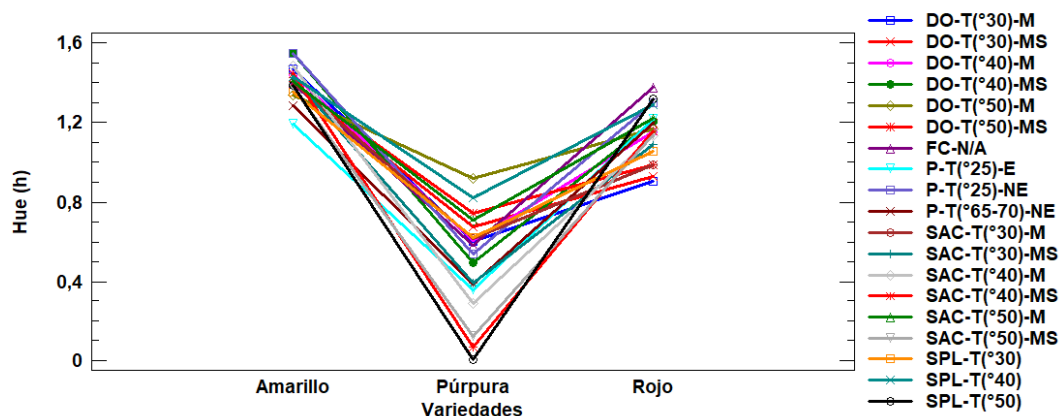
Se determinó que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol y la tecnología-temperatura aplicada, con un valor-P menor a 0,05, generando un efecto estadísticamente significativo sobre el matiz (h), con un nivel de confianza del 95%. De manera individual, los efectos principales “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, presentan diferencias estadísticamente significativas indicando que, hue o matiz es diferente en cada variedad evaluada y la temperatura-tecnología genera una influencia sobre esta variable de respuesta en todos los tratamientos analizados.

A continuación, la figura 46 permite revisar la interacción entre los tratamientos evaluados y el matiz, mostrando que el tratamiento con mayor media es DO-T (°40)-MS,

variedad “Amarilla” cuyo valor es 1,55. El tratamiento equivalente es T221-DO que corresponde a Mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, sometido a osmodeshidratación con una temperatura de 40°C.

Figura 46.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y la coordenada “h (hue)”.



- Cromaticidad C*

Seguidamente, la tabla 37 permite revisar la interacción entre los tratamientos evaluados y la cromaticidad, mostrando la existencia de una interacción entre los efectos principales “Variedad” y “Tecnología-temperatura” con un valor-P menor a 0,05, indicando que hay un efecto estadísticamente significativo sobre la cromaticidad C* determinada en los tratamientos con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 37.

Análisis de varianza de la variable “Cromaticidad” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	35791,7	2	17895,8	3115,66	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	23837,6	18	1324,31	230,56	0,0000
Interacciones					
AB	7808,74	36	216,909	37,76	0,0000
Residuos	1051,12	183	5,74384		
Total (Corregido)	68612,1	239			

Adicionalmente, los efectos principales relacionados anteriormente, presentaron diferencias estadísticamente significativas individualmente encontrándose que la

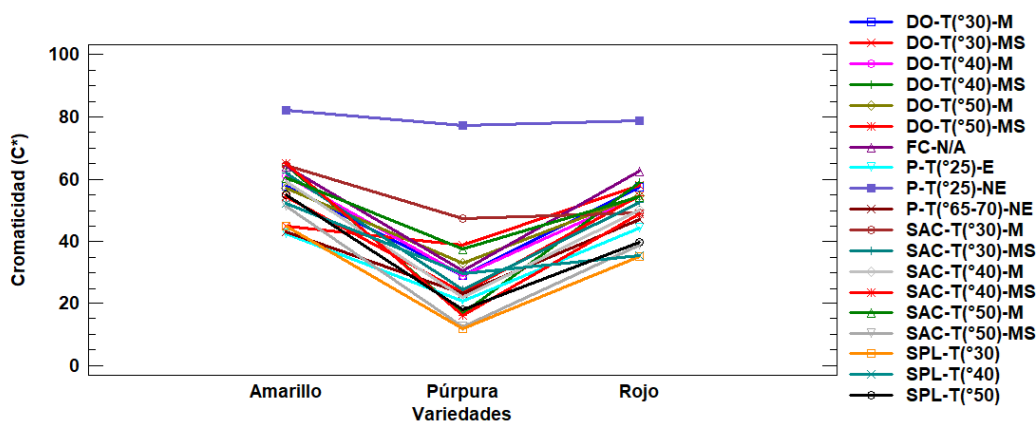
cromaticidad C^* es diferente en cada variedad evaluada y la tecnología-temperatura está ejerciendo una influencia sobre este parámetro en los tratamientos caracterizados.

Por otra parte, en la figura 47 se exponen las interacciones entre los tratamientos evaluados y la cromaticidad. En este caso, se observa que todos los tres tratamientos de la tecnología P-T ($^{\circ}$ 25)-NE en las tres variedades: Amarilla, Roja y Púrpura, presentan los valores mayores de media y no interactúan con los tratamientos restantes. Los valores de media para estos tres tratamientos son 82,13; 78,79 y 77,2, y respectivamente se identifican como los tratamientos testigo T111-P, T112-P y T113-P.

Se comparó el tratamiento SAC-T ($^{\circ}$ 40)-MS, variedad “Amarilla” con un valor medio de cromaticidad de 64,93 con su respectivo testigo T111-P, para establecer su porcentaje de pérdida de cromaticidad y se encontró un porcentaje de pérdida de 20,94% en este tratamiento, que corresponde a T221-SAC, Mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, secado por aire caliente, a una temperatura de 40 $^{\circ}$ C.

Figura 47.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Cromaticidad”.



- Razón de cambio del color (ΔE)

En la tabla 38 se indica la existencia de una interacción entre los efectos principales “Variedad” y “Tecnología-temperatura” con un valor-P menor a 0,05, mostrando que hay un efecto estadísticamente significativo sobre la razón de cambio de color, calculada para cada uno de los tratamientos evaluados.

Algo similar ocurre con los efectos principales cuando son analizados de manera individual. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas encontrándose que la razón de cambio de color es diferente en cada variedad evaluada y la tecnología-temperatura está ejerciendo una influencia sobre este parámetro en los tratamientos que hacen parte de esta investigación.

Tabla 38.

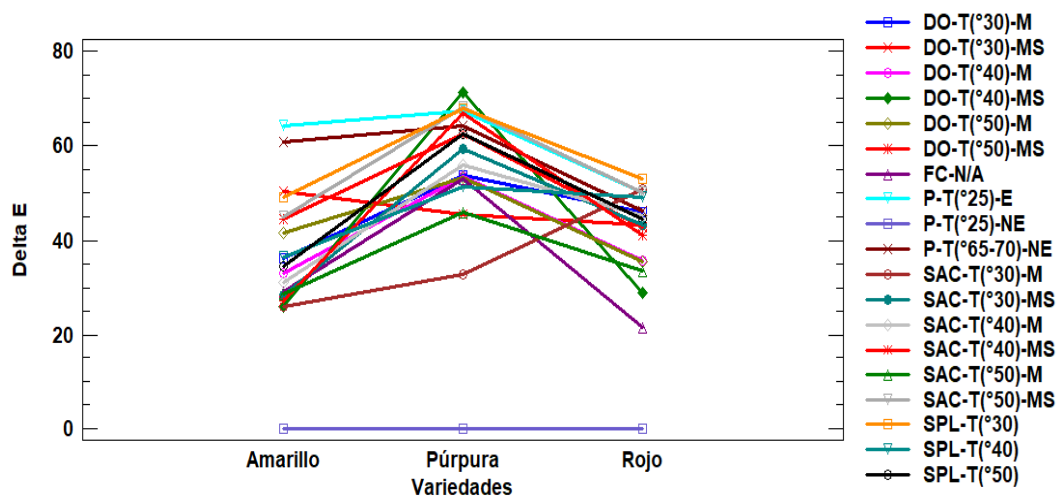
Análisis de varianza de la variable “ ΔE ” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	14245,8	2	7122,88	805,88	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	37254,7	18	2069,7	234,17	0,0000
Interacciones					
AB	11321,8	36	314,493	35,58	0,0000
Residuos	1617,47	183	8,83865		
Total (Corregido)	64092,0	239			

Al revisar la figura 48 se aprecia una tendencia a presentar valores más altos en la mayoría de los tratamientos cuya media está relacionada con la variedad color Púrpura. Es decir, en general los tratamientos aplicados a esta variedad presentan mayor razón de cambio del color tendiendo a perder sus pigmentos característicos púrpuras influenciado por el procesamiento térmico. Siguiendo esta afirmación, el tratamiento con mayor media es DO-T (°40)-MS variedad “Púrpura”, identificado como T223-DO correspondiente a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a osmodeshidratación con una temperatura de 40°C.

Figura 48.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Razón de cambio del color (ΔE)”.



3.6.2 pH

La existencia de una interacción entre los efectos principales variedad y tecnología-temperatura se aprecia en la tabla 39. Con un valor-P menor a 0,05 se mostró que se presenta un efecto estadísticamente significativo sobre el pH, determinado para cada uno de los tratamientos evaluados.

Lo mismo sucede con los efectos principales si se analizan de manera individual. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas encontrándose que el pH es diferente en cada variedad evaluada y la tecnología-temperatura está ejerciendo una influencia sobre este parámetro en los tratamientos evaluados.

Tabla 39.

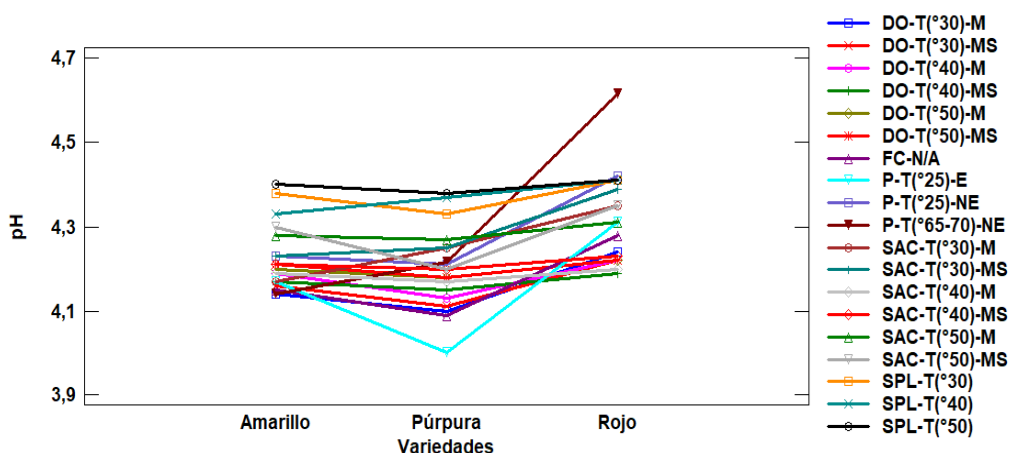
Análisis de varianza de la variable “pH” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	0,587052	2	0,293526	175,08	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	1,41893	18	0,0788296	47,02	0,0000
Interacciones					
AB	0,926227	36	0,0257285	15,35	0,0000
Residuos	0,3068	183	0,0016765		
Total (Corregido)	3,4448	239			

En la figura 49 se observa que un tratamiento presenta una media más alta que los demás tratamientos. Se trata de P-T (°65-70)-NE de variedad “Roja”, es decir, T212-P correspondiente a Pulpa de tomate de árbol, variedad “Roja”, pasteurizado y no edulcorado, con un valor de media de 4,62.

Figura 49.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “pH”.



3.6.3 Acidez titulable (%)

En lo relacionado a la tabla 40, se indica que existe una interacción entre los efectos principales variedad y tecnología-temperatura. Se muestra una influencia estadísticamente significativa sobre el porcentaje de acidez, encontrado para cada tratamiento, con un valor-P menor a 0,05.

Igualmente, al revisar los efectos principales, de forma individual, existen diferencias significativas entre la acidez presentada en cada variedad y la tecnología-temperatura ejerce un efecto sobre esta variable de respuesta evaluada en los tratamientos.

Tabla 40.

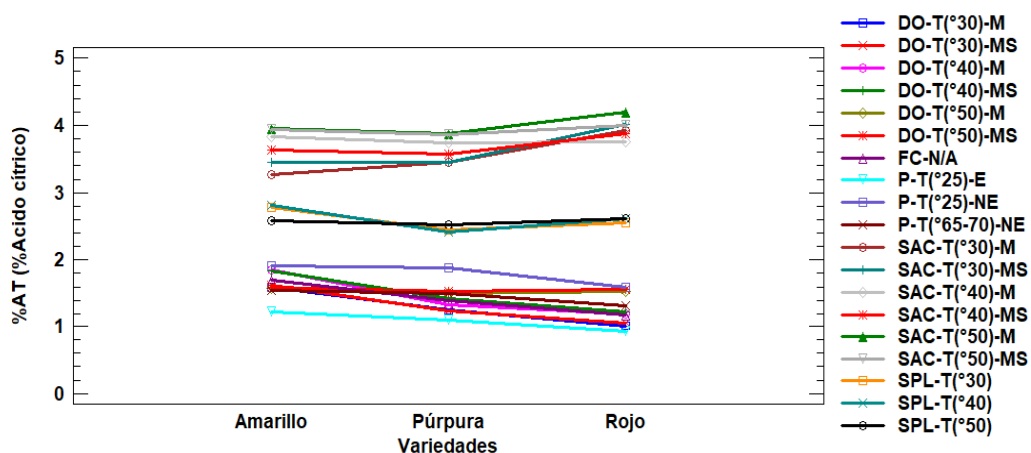
Análisis de varianza de la variable “Acidez titulable (%)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	1,25657	2	0,628286	30,43	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	260,392	18	14,4662	700,72	0,0000
Interacciones					
AB	5,91337	36	0,16426	7,96	0,0000
Residuos	3,778	183	0,0206448		
Total (Corregido)	271,338	239			

Las interacciones entre los tratamientos evaluados y la variable acidez titulable se aprecian en la figura 50. En esta figura se observa que el tratamiento que presenta una media más alta es SAC-T (°50)-M, variedad “Roja” con un valor de 4,2%. Esto permite ver que T132-SAC equivalente a mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja”, secado por aire caliente, a una temperatura de 50 °C es el tratamiento más diferente.

Figura 50.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Acidez titulable (%)”.



3.6.4 Sólidos solubles totales (°Brix)

Siguiendo con el análisis de varianza, en la tabla 41 se observa la información relacionada con la variable “Sólidos solubles totales”.

Tabla 41.

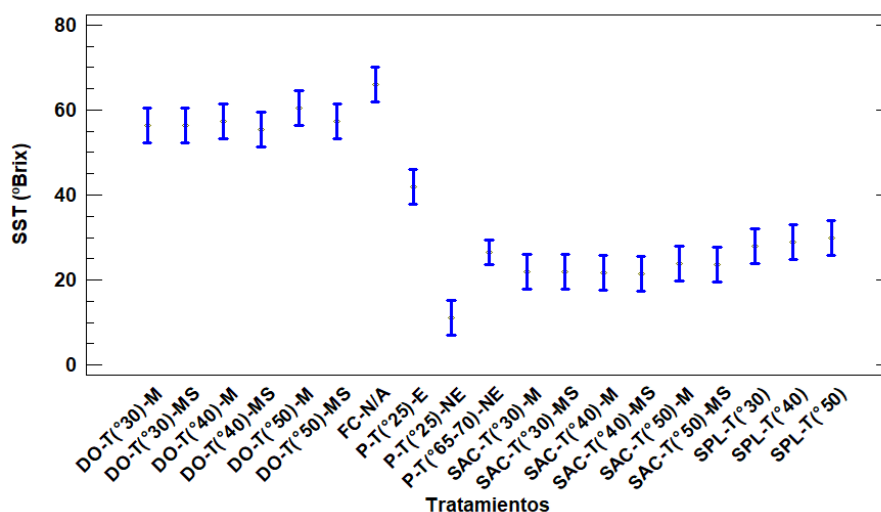
Análisis de varianza de la variable “Sólidos solubles totales (°Brix)” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	118,595	2	59,2975	1,88	0,1555
B: Tecnología y Temperatura	68227,9	18	3790,44	120,20	0,0000
Interacciones					
AB	289,463	36	8,04063	0,25	1,0000
Residuos	5770,9	183	31,535		
Total (Corregido)	74412,2	239			

En este caso, se considera que no hay interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura evaluadas y su efecto sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) evaluado en los tratamientos. Esto se debe a que, sin importar la variedad de tomate de árbol procesada, todos los tratamientos presentaron un incremento en el contenido de sólidos solubles totales, debido a los procesos térmicos que, en todos los casos aumentaron su contenido en °Brix, respecto a los tratamientos testigo.

Figura 51.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para la variable “Sólidos solubles totales (°Brix)” de todos los tratamientos evaluados.



En figura 51 se muestra la comparación de medias y la prueba Tukey HSD al 95% de significancia. Se muestra que la media más alta corresponde a los tres tratamientos de tecnología “Fruta confitada -FC”. Sus valores de media son: 66,4 °Brix para variedad “Roja”: T2-FC, 65,9 °Brix en la variedad “Amarilla”: T1-FC y 65,6 °Brix para la variedad “Púrpura”: T3-FC. Teniendo en cuenta lo anterior el tratamiento que mayor media presenta para la variable de respuesta sólidos solubles totales, es el tratamiento T2-FC, es decir tomate de árbol confitado, variedad “Roja”.

3.6.5 Relación de madurez

La tabla 42, muestra que existe una interacción entre los efectos principales variedad y tecnología-temperatura, así como la influencia estadísticamente significativa ejercida sobre la relación de madurez, calculado para cada tratamiento, con un valor-P menor a 0,05.

Adicionalmente, se revisaron los efectos principales, de forma individual, encontrando que existen diferencias estadísticamente significativas en la relación de madurez determinada para cada variedad y la tecnología-temperatura ejerció un efecto sobre este parámetro evaluado en los tratamientos.

Tabla 42.

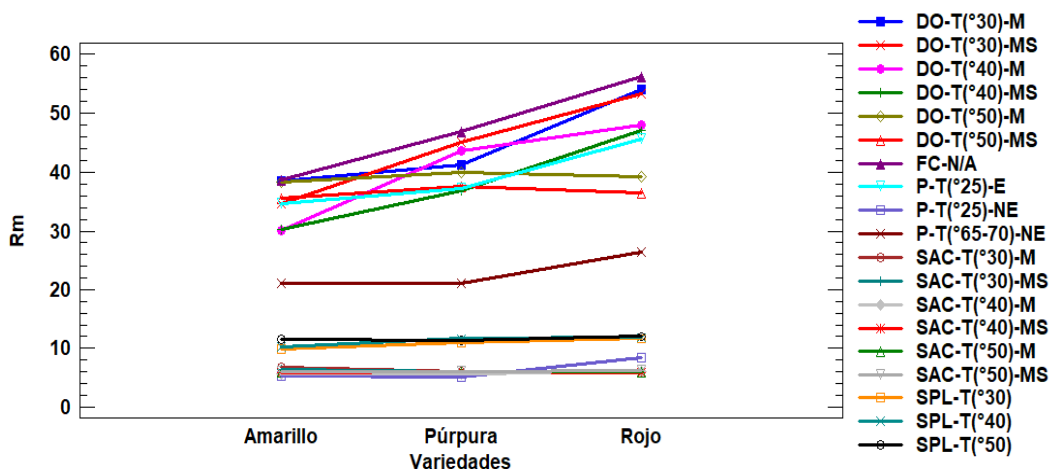
Análisis de varianza de la variable “Relación de madurez, Rm” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Variedad	1317,98	2	658,988	17,49	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	62318,9	18	3462,16	91,90	0,0000
Interacciones					
AB	2256,39	36	62,6775	1,66	0,0163
Residuos	6893,9	183	37,6716		
Total (Corregido)	72812,6	239			

La figura 52 presenta las interacciones entre los tratamientos evaluados y la variable relación de madurez. En esta se aprecia que el tratamiento que presenta una media más alta es FC-N/A variedad “Roja” con un valor de 1: 56,27. Al realizar la equivalencia se trata del tratamiento T2-FC, es decir, tomate de árbol confitado, variedad “Roja”.

Figura 52.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y para la variable “Relación de madurez”.



Al realizar un análisis global del comportamiento de las medias de todos los parámetros fisicoquímicos estudiados, se encontró que las variedades “Amarilla” y “Roja” son las que presentan medias más altas en las variables de respuesta. Así mismo, la tecnología que mayores valores de medias presenta es secado por aire caliente “SAC”, lo que conlleva a que el tratamiento que en conjunto muestra las mejores características fisicoquímicas es el tratamiento T221-SAC, correspondiente a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, secado por aire caliente, a una temperatura de 40 °C.

4. Conclusiones

Se evaluó el efecto del procesamiento térmico sobre algunas propiedades fisicoquímicas de tomate de árbol, encontrándose que la tecnología “secado por aire caliente” es la que está ejerciendo mayor influencia sobre los parámetros fisicoquímicos estimados. El tratamiento que en conjunto presenta mejor comportamiento es el equivalente a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, secado por aire caliente, a una temperatura de cuarenta grados Celsius.

En general, las variedades de tomate de árbol “Amarilla” y “Roja” presentaron las medias más altas en los parámetros fisicoquímicos estudiados, teniendo un comportamiento bien diferenciado; por una parte, la variedad “Amarilla” presentó mejores comportamientos en todo lo relacionado a coordenadas de color; y la variedad “Roja” presentó valores de medias mayores en los parámetros pH, porcentaje de acidez, sólidos solubles totales y relación de madurez.

Referencias

- Alvarado, S. V. (2022). Evaluación comparativa del secado convectivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) entre un secador solar híbrido y uno de bandejas. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4780>
- Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, Edited by Patricia Cunniff, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Bambicha, R. R. D. V., Agnelli, M. E., y Mascheroni, R. H. (2012). Optimización del proceso de deshidratación osmótica de calabacita en soluciones ternarias. Avances en Ciencias e Ingeniería, 3. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103923>
- Carabarán, A. C., Bolaños, E. N. A., Servia, J. L. C., Velásquez, V., Melgarejo, A. V. G., Contreras, R. V., y Guzmán, I. V. (2017). Cambio en los parámetros fisicoquímicos en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) durante su almacenamiento poscosecha a 5 °C. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Chavez-Servia-2/publication/322508736_Cambios_en_los_parametros_fisicoquimicos_en_tomate_de_arbol_Solanum_betaceum_durante_su_almacenamiento_poscosecha_a_5_C/links/5a5cf6f5aca272d4a3dd8952/Cambios-en-los-parametros-fisicoquimicos-en-tomate-de-arbol-Solanum-betaceum-durante-su-almacenamiento-poscosecha-a-5-C.pdf
- Castro, J. K., Cerquera, N. E., y Gutiérrez, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* Cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Revista EIA, (19), p. 79-89. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/498/486>
- Cazar, I. M. (2016). Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/20896>
- Cieza, Y. (2024). Efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas (*Vaccinium corymbosum*). <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6571>
- Cuastumal, H. G., Valencia, B. L., y Ordóñez, L. E. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. Revista Lasallista de Investigación, 13(1), 85-93. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492016000100008&script=sci_arttext

- Diezma, B., Marañón, A., Ruiz, M., Flores, L., y Diez, J. (2001). Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos. *Revista Horticultura*, 154(7), 1-7.
https://www.researchgate.net/profile/Belen-Diezma/publication/28275143_Firmeza_de_la_fruta_determinacion_por_metodos_no_destructivos/links/56d8286d08aeb4638b2a825/Firmeza-de-la-fruta-determinacion-por-metodos-no-destructivos.pdf
- Durán-Acevedo, C., Gualdron-Guerrero, O., y Hernández-Ordoñez M. (2014) Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Sendt*). *Ingeniería, investigación y tecnología* 15.3: 351-362. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70346-4](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70346-4)
- Espejo, J., Silva, E., y Torres, E. (2020). Efecto del porcentaje de ácido cítrico sobre los cambios fisicoquímicos de *Cyphomandra betacea* s. en poscosecha. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(2), 41-46.
<http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i2.613>
- Kuno, N. (2021). Efecto del secado convectivo sobre el valor nutricional, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en pulpa y semilla de *Passiflora tripartita* var. mollissima" tumbo serrano.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4925bfad-e696-40da-849b-8287dd8bf7ee/content>
- Marcial, L., Martínez, A., León, J., Suárez, A y Viera, W. (2023). Desarrollo del fruto en cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Perfiles*, 1(29), 30-39.
<https://doi.org/10.47187/perf.v1i29.200>
- Márquez, C. J., Otero, C. M., y Cortés, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Vitae*, 14(2), 07-08.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121-40042007000200002&script=sci_arttext
- Meza, N., y Manzano, J. M. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendt) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 289-294.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308209>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 3929 de 2013: “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.” Bogotá, D.C, Colombia, p.29.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%203929%20de%202013.pdf

- Padrón, C. A. (2010). Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra* L.) durante el crecimiento y maduración. Revista Científica Electrónica de Agronomía, Garca, vol. 17, No. 2, p. 1-17. https://www.academia.edu/20381052/Procesamiento_digital_de_im%C3%A1genes_de_frutos_de_semeruco_Malpighia_glabra_L_durante_el_crecimiento_y_maduraci%C3%B3n
- Quintero, J. M., Sudria, A., Hunt, C. E., y Carreras, J. (2012). Color rendering map: a graphical metric for assessment of illumination. Optics Express, 20(5), 4939-4956. <https://doi.org/10.1364/OE.20.004939>
- Revelo, V. H. (2011). Evaluación de la calidad poscosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3918>
- Rodríguez, M. M., Mascheroni, R. H., y Pagano, A. M. (2012). Cinética de deshidratación osmótica de ciruelas D' Enté (*Prunus doméstica* L.). In III Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CLICAP) (San Rafael, Mendoza, 28 al 30 de marzo de 2012). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/134933/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rojas, E. J., y Chumacero, J. (2019). Cinética de Secado de la Cúrcuma Longa (*Curcuma longa* L.) Evaluado Mediante Visión Computacional. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/47/1/Rojas_OEJ_Chumacero_MJ.pdf
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendth. Archivos latinoamericanos de nutrición, 62(4), 381-388. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222012000400010&script=sci_arttext
- Villamizar, R. H. (2014). Efecto del medio osmótico sobre la deshidratación de cubos de papaya (*Carica papaya*) variedad maradol. UGCiencia, 20(1), 39-47. <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/312>
- Villares, M., Sánchez, J., Viera, W., Soria, N., Sotomayor, A., Yanez, D., y Martínez, E. (2018). Caracterización morfológica de frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) de una población segregante. Revista de Investigación Talentos, 5(1), 9-19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551191>

Capítulo 7

Aceptación sensorial de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometido a diferentes técnicas de procesamiento térmico

Resumen

Se analizó el grado de aceptación sensorial de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometido a diferentes técnicas de procesamiento térmico. Las técnicas de procesamiento implementadas fueron Pulpas (P), Deshidratación osmótica (DO), Secado por aire caliente (SAC), Secado de pulpa en lámina (SPL) y Fruta Confitada (FC), aplicadas a tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: Amarilla (T1), Roja (T2) y Púrpura (T3), cultivadas en Colombia. La evaluación sensorial fue realizada por ocho jueces entrenados, quienes evaluaron los factores de calidad “color de la pulpa”, “aroma y sabor” y “textura”, diligenciando sus calificaciones numéricas en instrumentos adaptados para cada tecnología evaluada. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante pruebas chi-cuadrado, análisis de varianza y prueba de comparación múltiple Tukey, con un nivel de significancia $p < 0,05$. Se estableció que ningún tratamiento obtuvo la puntuación total máxima posible, es decir 20,00 puntos. Sin embargo, la tecnología “Secado de pulpa en lámina” presentó la mayor media para los factores de calidad “aroma y sabor” con un valor de 7,63 y “puntuación total” con media de 18, convirtiéndose en la tecnología mejor calificada. En general, el tratamiento T23-SPL, que corresponde a pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a proceso de secado en lámina a 40 °C, fue el tratamiento mejor calificado por los jueces.

Palabras clave: Tamarillo, análisis sensorial, procesamiento térmico, método de calificación.

1. Introducción

El análisis sensorial permite medir, analizar e interpretar las reacciones a algunas características de los alimentos que se perciben con los sentidos. Esto se hace para traducir las preferencias de los consumidores respecto a los atributos presentes en un producto (Ramírez-Navas, 2012).

Dentro de los métodos utilizados para la evaluación sensorial se destaca el método de calificación o ensayo de puntaje. Según Mahecha (1985) y Cerquera (2006), en un ensayo de puntaje, el juez evaluador califica unos factores de calidad usando una escala compuesta, generando un formulario de evaluación en el orden percibido, primero los de la vista, posteriormente el aroma y sabor y finalmente la textura. Es necesario, además, otorgar un valor o ponderación a cada factor, según su importancia. Osorio-Oviedo (2019) afirma que, en un ensayo de puntaje, el catador califica los factores de calidad de un alimento para medirlos de una manera objetiva, empleando una escala compuesta de atributos que permiten realizar una análisis descriptivo y cuantitativo.

Para análisis sensorial de tomate de árbol, Ávila y Ruales (2016) hicieron análisis sensorial con diez jueces evaluadores, usando un método de comparación múltiple,

contrastando diferentes variables frente al testigo para atributos característicos de tomate de árbol, amarillo gigante, cultivado en Ecuador, en donde se encontró que no existe una influencia del estrés hídrico y luminoso en los atributos característicos de la fruta. Adicionalmente, Iza y Trujillo (2020) formularon una pulpa mixta a base de tomate de árbol y naranjilla, aplicando dos métodos de conservación. Para establecer la mejor combinación, realizaron análisis sensorial mediante escala hedónica valorando los atributos aroma, color, sabor y textura. Se obtuvo que el mejor tratamiento posee una formulación de 60% pulpa de tomate de árbol y 40 % de naranjilla y se somete a conservación térmica mediante un proceso de pasteurización a 85 °C, durante dos minutos.

En Colombia, Prieto (2016) evaluó los extractos crudos mediante análisis sensorial de sabor y posteriormente un fraccionamiento para purificar los compuestos responsables del sabor amargo y umami con un panel conformado por ocho personas, quienes evaluaron los descriptores principales de estos dos factores, en tomate de árbol variedad amarilla. Halló que el ácido rosmarínico es uno de los compuestos implicados en la detección del sabor amargo en el tomate de árbol, encontrándose en una concentración por encima de su valor umbral de sabor. Por otra parte, Maca et al. (2012), estudiaron el efecto del procesamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de tomate de árbol (*Solanum betaceum*), los jueces sensoriales determinaron que un zumo sometido a 60 °C durante veinte segundos, es el que presenta mayor similitud con el zumo fresco y mejores características fisicoquímicas.

Andrade et al. (2014), en Colombia, evaluaron sensorialmente frutos de tomate de árbol sometidos a un proceso de recubrimiento con cera de laurel, logrando mantener la firmeza y la calidad sensorial por más tiempo, aumentando la vida útil en un 25% respecto al tratamiento testigo sin recubrimiento. En esa misma línea de investigación, Malquichagua (2022), en Perú, utilizó otro recubrimiento a partir de goma de tara en dos especies, una de ellas tomate de árbol. En sus resultados se muestra que la aplicación de este recubrimiento contribuye al control de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, mostrando que la formulación conformada por 0,52% de goma tara + 0,5 de cera de abeja y 0,98 de glicerol presentó mejor aceptación sensorial.

Aunque se reportan algunas investigaciones relacionadas con el análisis sensorial de tomate de árbol en fresco y procesado, es necesario profundizar en la evaluación sensorial para productos sometidos a procesamiento térmico como secado por aire caliente, secado de pulpa en lámina, confitada, en diferentes variedades que se comercializan en Colombia. Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar el grado de aceptación sensorial de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometido a diferentes técnicas de procesamiento térmico.

2. Metodología

Para el análisis sensorial de la fruta fresca y de los productos procesados, se aplicó una prueba de escala descriptiva, con ayuda de un panel sensorial conformado por ocho (8) jueces entrenados. A los catadores se les presentaron las muestras obtenidas de los

diferentes tratamientos, con el fin de comparar los resultados para estas condiciones. Se codificaron las muestras aleatoriamente con ayuda de una tabla de randomización, y se sirvieron a temperatura ambiente. La información correspondiente a la descripción de la escala compuesta, para la calificación de los factores de calidad se consignó en instrumentos utilizados para la evaluación sensorial. En las tablas 43 a 47 se describen los factores de calidad a tener en cuenta en la evaluación sensorial de tomate de árbol para cada tipo de proceso térmico planteado en esta investigación:

Tabla 43.

Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de pulpa de tomate de árbol, adaptado de Mahecha (1985).

Color de la pulpa
(2 a 6) Anaranjado y/o característico de la fruta, intenso y homogéneo en su variedad.
(1 a 0) Ligeramente opaco, no homogénea, predominando la tonalidad amarilla verdosa.
Aroma y sabor
(8) Característico a tomate de árbol, buen balance ácido dulce.
(3) Muy ácido o amargo, insípido.
(1 a 0) Amargo, fermentado, pútrido.
Textura
(6) Blanda, jugosa.
(3) Muy blanda, gelatinosa.
(1 a 0) Dura, fibrosa.

Tabla 44.

Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a deshidratación osmótica, adaptado de Mahecha (1985).

Color
(6) Anaranjado y/o característico de la fruta, intenso y homogéneo. Puede tener áreas amarillo claro que no sean mayores a la cuarta parte de la unidad, pero ninguna debe tener un color verde claro.
(3) Unidades con área amarillo claro o verde claro, cuyo máximo es la mitad de la unidad.
(2 a 0) Unidades en que predomina el amarillo verdoso claro o el verde claro o matices de colores no característicos de la fruta.
Aroma y sabor
(8) Característico a tomate de árbol, buen balance ácido dulce.
(5) Muy ácido o astringente, a caramelo.
(4 a 0) No característico, amargo, fermentado.
Textura
(6) Unidades uniformes que pueden ir blandas, pero mantienen su forma original sin desintegración del material.
(2) Ligeramente blanda o dura, pero no una masa blanda deshinchada.
(1) Presencia de carnosidad, con ejes deshinchados muy blandos o duros (máx. 10%), fibrosos.
(0) Unidades aplastadas o rotas.

Tabla 45.

Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol secado por aire caliente, adaptado de Castro et al. (2017) y Cerquera et al. (2017).

Color
(6 a 5) Color característico de la fruta, natural, brillante, intenso, ausencia de materias extrañas, homogénea, bordes uniformes completos.
(4 a 3) Ligeramente oscuro, opaco, no homogénea, con burbujas
(2 a 0) Color no característico, café, pardeado, artificial, con residuos de piel.
Aroma y sabor
(8 a 5) Característico a tomate de árbol, buen balance ácido dulce.
(4 a 3) Muy dulce o insípido, sabor residual, metálico.
(2 a 0) No característico, a caramelo, quemado, astringente, a moho, amargo.
Textura
(6 a 5) Blanda, gomosa, masticable.
(4 a 3) Muy dura, cauchosa, pegajosa, rejuda, cueruda.
(2 a 0) Seca, áspera, granulosa, arenosa.

Tabla 46.

Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de pulpa de tomate de árbol secado en lámina, adaptado de Castro et al. (2017) y Cerquera et al. (2017).

Color
(6 a 5) Color característico de la fruta, natural, brillante, intenso, ausencia de materias extrañas, homogénea, bordes uniformes completos.
(4 a 3) Ligeramente oscuro, opaco, no homogénea, con burbujas.
(2 a 0) Color no característico, café, pardeado, artificial, con residuos de piel, partículas negras o extrañas a la fruta.
Aroma y sabor
(8 a 5) Característico a tomate de árbol, buen balance ácido dulce.
(4 a 3) Muy dulce o insípido, sabor residual, metálico.
(2 a 0) No característico, a caramelo, quemado, astringente, a moho, amargo.
Textura
(6 a 5) Blanda, gomosa, masticable.
(4 a 3) Muy dura, cauchosa, pegajosa, rejuda, cueruda.
(2 a 0) Seca, áspera, granulosa, arenosa.

Tabla 47.

Descripción de los factores de calidad para la evaluación sensorial de tomate de árbol confitado, adaptado de Mahecha (1985).

Color
(6) Uniforme, brillante, amarillo – café claro.
(2) Opaco, con manchas rojizas, decolorado, oscuro.
(0) Verde o negro (mohos).
Aroma y sabor
(8) Frutal, característico a tomate de árbol, dulce.
(4) Muy dulce, a caramelo, cocinado.
(3 a 0) Amargo, astringente, fermentado, no característico.
Textura
(6) Firme, textura uniforme dentro y entre unidades.
(2) Granuloso, áspero, rugoso, cauchudo, cuerudo, quebradizo.
(1 a 0) Revenido, muy húmedo, pegajoso, blando, difícil de masticar.

El análisis estadístico de los resultados se hizo utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI.I, haciendo uso de la estadística no paramétrica, mediante una prueba chi-cuadrado, para establecer la prueba de independencia entre la calificación de los jueces y los tratamientos. Seguido, se realizó el análisis de varianza teniendo en cuenta el diseño experimental propuesto y se encontraron las diferencias estadísticamente significativas generadas para cada uno de los factores de calidad y puntuación total calificada, siguiendo un diseño multifactorial de n-vías con cuatro réplicas en donde los factores a evaluar fueron “Variedad” y “Tecnología de procesamiento térmico- Temperatura”. Por último, se efectuó una prueba de comparación de medias y Tukey HSD 95% de confianza para cada uno de los factores de calidad evaluados.

3. Resultados

3.1 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de pulpas de tomate de árbol.

En la tabla 48 se aprecian las calificaciones promedio de los factores de calidad evaluados en pulpas de tomate de árbol. Se destaca que los tratamientos T121-P, equivalente a pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Amarilla” y T223-P, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Púrpura” obtuvieron la mayor calificación para el factor de calidad “Color de la pulpa” con una calificación promedio de 5,00, lo que indica que las muestras de estos tratamientos presentaron colores intensos, homogéneos y característicos de sus variedades.

Los tratamientos con mejores calificaciones en el factor “Aroma y sabor” fueron T123-P, correspondiente a pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Púrpura” y T221-P, obtenido de pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Amarilla”, con un valor de 6,00. Esto quiere decir que según los jueces estos tratamientos son los que presentan sabor característico a tomate de árbol, con buen balance ácido dulce.

Para el factor de calidad “Textura” el tratamiento mejor calificado fue T223-P, es decir, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Púrpura” con un valor de 6,00, con una textura blanda y jugosa.

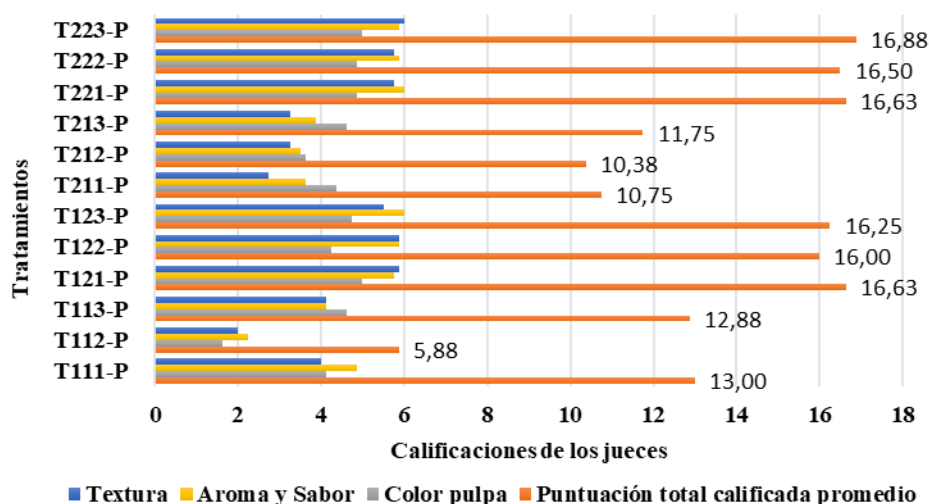
Tabla 48.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.

T	Color pulpa	Aroma y sabor	Textura	Puntuación total calificada	Puntuación total máxima posible
T111-P	4,13	4,88	4,00	13,00	20,00
T112-P	1,63	2,25	2,00	5,88	20,00
T113-P	4,63	4,13	4,13	12,89	20,00
T121-P	5,00	5,75	5,88	16,63	20,00
T122-P	4,25	5,88	5,88	16,00	20,00
T123-P	4,75	6,00	5,50	16,25	20,00
T211-P	4,38	3,63	2,75	10,75	20,00
T212-P	3,63	3,50	3,25	10,38	20,00
T213-P	4,63	3,88	3,25	11,75	20,00
T221-P	4,88	6,00	5,75	16,63	20,00
T222-P	4,88	5,88	5,75	16,50	20,00
T223-P	5,00	5,88	6,00	16,88	20,00

Figura 53.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.



En la figura 53, se aprecia el comportamiento de cada uno de los factores de calidad y la puntuación total calificada para los tratamientos que corresponden a la tecnología “Pulpas”. Revisando la puntuación total calificada se encontró que el tratamiento con

mayor calificación es el tratamiento T223-P correspondiente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura” pasteurizada y edulcorada con un valor de 16,88.

Los resultados de la prueba de independencia se muestran en la tabla 49. En esta prueba se encontró que las calificaciones de los jueces evaluadores son dependientes de los tratamientos que se sometan a evaluación sensorial. Esto indica que el tipo de tratamiento que se vaya a evaluar genera un impacto estadísticamente diferente sobre la calificación otorgada por los jueces evaluadores sobre los diferentes factores de calidad evaluados en los tratamientos de la tecnología “Pulpas”.

Tabla 49.

Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en pulpas de tomate de árbol.

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	2,040	33	1,0000

3.2 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol osmodeshidratado.

En la tabla 50 se muestran las calificaciones promedio de los factores de calidad en evaluación sensorial de tomate de árbol osmodeshidratado. Las evaluaciones estuvieron con una calificación muy homogénea en donde quince de los dieciocho tratamientos de esta tecnología presentan una calificación promedio de 5,38 para el factor de calidad “Color de la pulpa”, mostrando que en general los tratamientos presentaron colores intensos, homogéneos y característicos de la fruta en sus variedades, en donde ninguno presentó color verde claro.

Los tratamientos con mejores calificaciones en el factor “Aroma y sabor” fueron T121-DO, es decir mesocarpio osmodeshidratado a 40 °C, variedad “Amarilla”, T122-DO, mesocarpio osmodeshidratado a 40 °C, variedad “Roja” y T123-DO, mesocarpio osmodeshidratado a 40 °C, variedad “Púrpura”, con un valor de 7,38, mostrando que, según los jueces, estos tratamientos presentan sabor característico a tomate de árbol, con buen balance ácido dulce.

Para el factor de calidad “Textura” todos los tratamientos obtuvieron una calificación de 5,00 lo que se interpreta como tratamientos uniformes, con una textura blanda pero que mantienen su forma original sin desintegrarse.

Tabla 50.

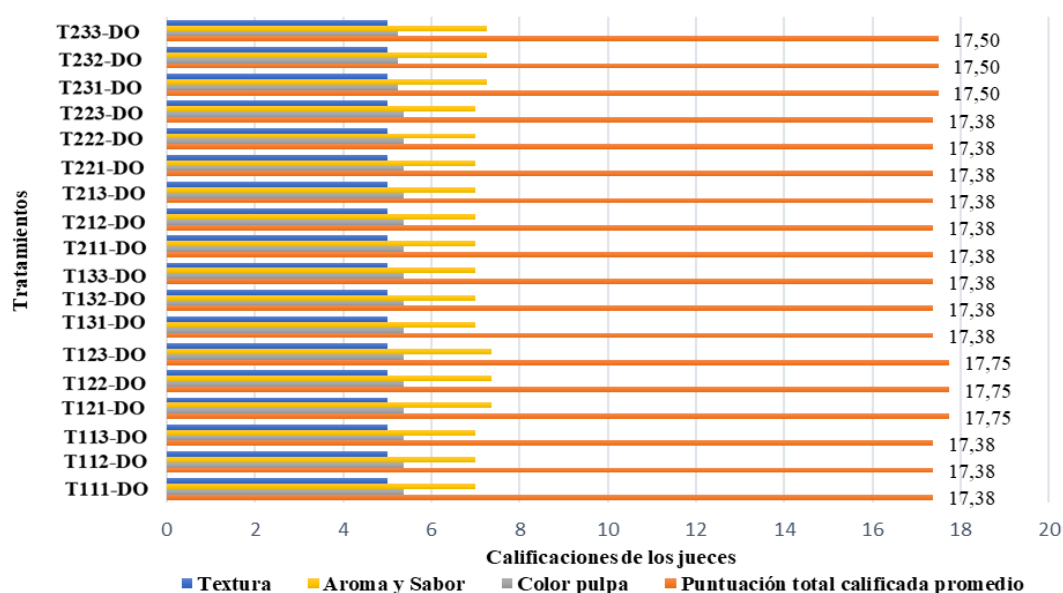
Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol osmodeshidratado.

T	Color pulpa	Aroma y sabor	Textura	Puntuación total calificada	Puntuación total máxima posible
T111-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T112-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T113-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T121-DO	5,38	7,38	5,00	17,75	20,00
T122-DO	5,38	7,38	5,00	17,75	20,00
T123-DO	5,38	7,38	5,00	17,75	20,00
T131-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T132-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T133-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T211-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T212-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T213-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T221-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T222-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T223-DO	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T231-DO	5,25	7,25	5,00	17,50	20,00
T232-DO	5,25	7,25	5,00	17,50	20,00
T233-DO	5,25	7,25	5,00	17,50	20,00

Para revisar el comportamiento de las calificaciones en cada uno de los factores de calidad y la puntuación total obtenida en la evaluación sensorial de tratamientos que corresponden a la tecnología “Deshidratación osmótica”, se muestra la figura 54. En esta figura se encontró que existen tres tratamientos con el mayor valor de puntuación total calificada, estos tratamientos son T121-DO, T122-DO y T123-DO, que corresponden al proceso de osmodeshidratación del mesocarpio a 40 °C, en las tres variedades, con una calificación total de 17,75.

Figura 54.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol osmodeshidratado.



En cuanto a la prueba de independencia para la tecnología “Deshidratación osmótica”, la tabla 51 presentó como resultado que existe una dependencia entre las calificaciones otorgadas por los jueces y los tratamientos sometidos a evaluación sensorial, generando diferentes puntuaciones en el total de las calificaciones otorgadas a cada tratamiento evaluado.

Tabla 51.

Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol osmodeshidratado.

Prueba	Estadístico	Gl	Valor-P
Chi-Cuadrado	0,113	51	1,0000

3.3 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.

Las calificaciones promedio de los factores de calidad en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente (SAC) se resumen en la tabla 52.

En la tabla 52 se observa que las calificaciones estuvieron muy homogéneas, en donde catorce de los dieciocho tratamientos de esta tecnología presentaron una calificación promedio de 4,38 para el factor de calidad “Color de la pulpa”, lo que indica que en general los tratamientos presentaron colores ligeramente oscuros y opacos.

Tabla 52.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.

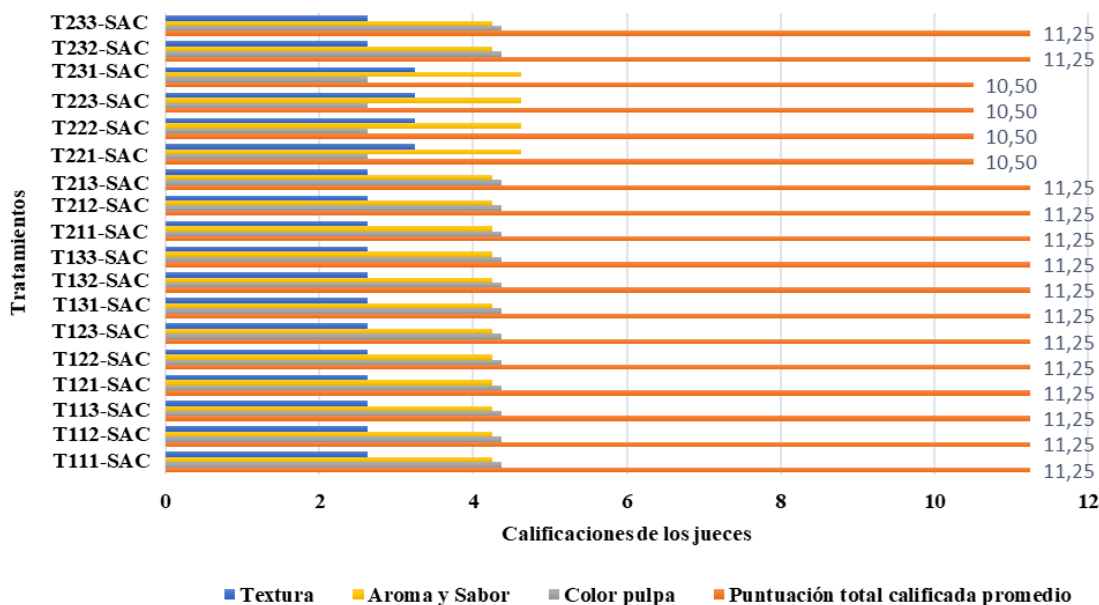
T	Color pulpa	Aroma y sabor	Textura	Puntuación total calificada	Puntuación total máxima posible
T111-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T112-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T113-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T121-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T122-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T123-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T131-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T132-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T133-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T211-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T212-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T213-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T221-SAC	2,63	4,63	3,25	10,50	20,00
T222-SAC	2,63	4,63	3,25	10,50	20,00
T223-SAC	2,63	4,63	3,25	10,50	20,00
T231-SAC	2,63	4,63	3,25	10,50	20,00
T232-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T233-SAC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00

Ocurre algo similar con los otros dos factores de calidad “Aroma y sabor” y “Textura” en donde catorce de los dieciocho tratamientos presentando calificaciones de 4,25 y 2,63, respectivamente. Es decir, para los jueces, estos tratamientos presentan un sabor muy dulce o insípido con sabor residual y una textura muy dura, cauchosa o rejudá.

Revisando la figura 55 se observa que, para la tecnología “Secado por aire caliente” existe una puntuación total calificada predominante en la mayoría de los tratamientos, con un valor de 11,25. Esta puntuación total calificada fue otorgada por los jueces sensoriales a catorce de los dieciocho tratamientos evaluados con esta tecnología.

Figura 55.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.



Respecto a la prueba de independencia para la tecnología “Secado por aire caliente”, en la tabla 53 se indica que existe una dependencia entre las calificaciones otorgadas por los jueces y los tratamientos sometidos a evaluación sensorial, generando diferentes puntuaciones en el total de las calificaciones otorgadas a cada tratamiento evaluado.

Tabla 53.

Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.

Prueba	Estadístico	Gl	Valor-P
Chi-Cuadrado	1,560	51	1,0000

3.4 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.

Las calificaciones promedio de los factores de calidad en evaluación sensorial de tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina (SPL) se exponen en la tabla 54. Se presentó un comportamiento homogéneo en las calificaciones de los jueces para el factor de calidad “Color de la pulpa” con un valor de 5,38 para cinco de los nueve tratamientos evaluados en esta tecnología. Esto indica que en general los tratamientos presentaron color característico de la fruta en sus variedades, natural, brillante, intenso, con ausencia de materias extrañas, homogéneo y con bordes uniformes completos.

Tabla 54.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tratamientos de tomate de árbol sometidos a secado de pulpa en lámina.

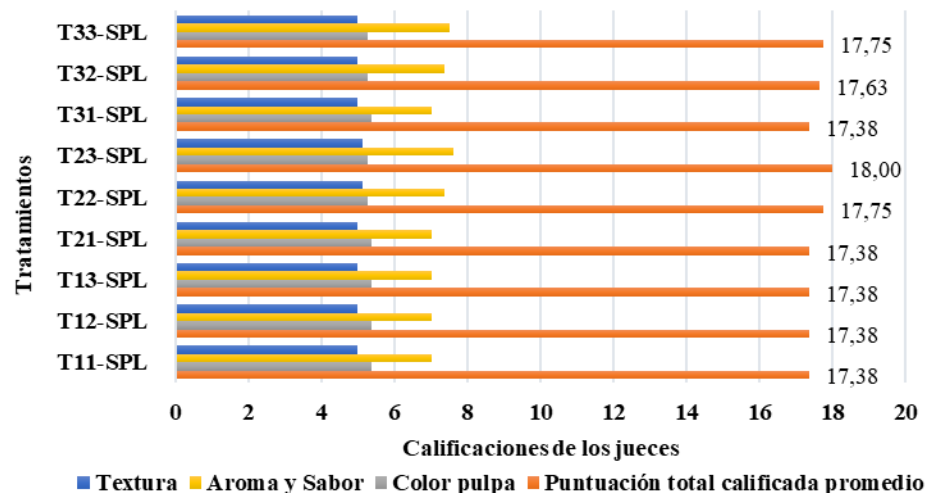
T	Color pulpa	Aroma y sabor	Textura	Puntuación total calificada	Puntuación total máxima posible
T11-SPL	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T12-SPL	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T13-SPL	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T21-SPL	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T22-SPL	5,25	7,38	5,13	17,75	20,00
T23-SPL	5,25	7,63	5,13	18,00	20,00
T31-SPL	5,38	7,00	5,00	17,38	20,00
T32-SPL	5,25	7,38	5,00	17,63	20,00
T33-SPL	5,25	7,50	5,00	17,75	20,00

El tratamiento con mejor calificación en el factor “Aroma y sabor” fue T23-SPL, es decir pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Púrpura”, con un valor de 7,63, mostrando, según los jueces, que este tratamiento presenta sabor característico a tomate de árbol, con buen balance ácido dulce.

Para el factor de calidad “Textura” siete de los nueve tratamientos obtuvieron una calificación de 5,00 indicando que son tratamientos con una textura blanda, gomosa y masticable.

Figura 56.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado pulpa en lámina.



En la figura 56 se muestran las calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a “Secado de pulpa en lámina”. En lo que se relaciona con la puntuación total calificada para cada tratamiento sometido a esta tecnología, la mayor calificación total fue otorgada al tratamiento T23-SPL es decir pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, secado a 40 °C.

A continuación, en la tabla 55, en la prueba de independencia se observa que, existe una dependencia entre las calificaciones otorgadas por los jueces y los tratamientos sometidos a evaluación sensorial, generando diferentes puntuaciones en el total de las calificaciones otorgadas a cada tratamiento evaluado.

Tabla 55.

Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol sometido a secado pulpa en lámina.

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrada	0,166	24	1,0000

3.5 Calificaciones obtenidas en evaluación sensorial de tomate de árbol confitado.

En la tabla 56 se muestran las calificaciones de los factores de calidad en tomate de árbol confitado (FC). Se presentó un comportamiento homogéneo en las calificaciones de los jueces para los tres factores de calidad. Para el factor de calidad “Color de la pulpa”, los tres tratamientos evaluados obtuvieron una calificación de 4,38. Es decir, los tratamientos presentaron color uniforme, brillante, amarillo-café claro.

Tabla 56.

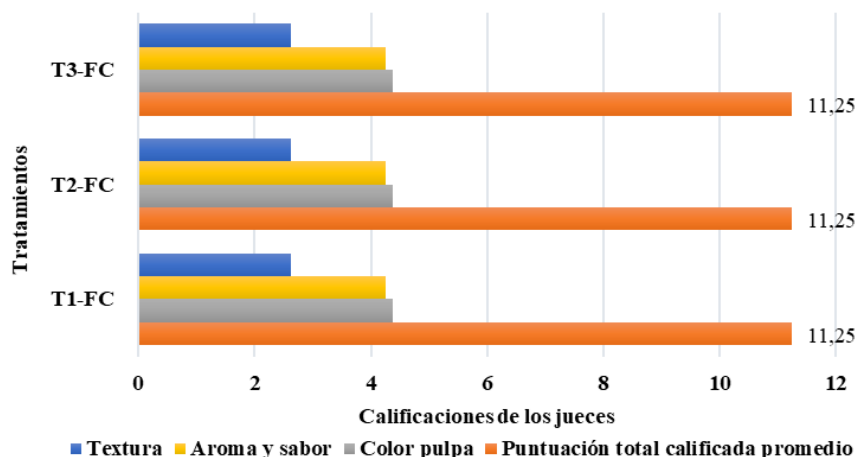
Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.

T	Color pulpa	Aroma y sabor	Textura	Puntuación total calificada	Puntuación total máxima posible
T1-FC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T2-FC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00
T3-FC	4,38	4,25	2,63	11,25	20,00

En el factor “Aroma y sabor” los tratamientos obtuvieron una calificación de 4,25, revelando que, según los jueces, los tratamientos presentan un sabor muy dulce, a caramelo, o a cocinado. Para el factor de calidad “Textura” los tratamientos obtuvieron una calificación de 2,63 indicando que son tratamientos con una textura cauchuda, cueruda.

Figura 57.

Calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.



Para la figura 57, correspondiente a “Fruta confitada” se aprecia que los tres tratamientos que hacen parte de esta tecnología, obtuvieron las mismas calificaciones en todos los factores de calidad. Sin embargo, al revisar la prueba de independencia en la tabla 57 se encontró que existe una dependencia entre las calificaciones y los tratamientos sometidos a evaluación sensorial, generando diferentes puntuaciones en el total de las calificaciones otorgadas a cada tratamiento evaluado.

Tabla 57.

Prueba de independencia, estadística no paramétrica chi-cuadrado aplicada a calificaciones promedio de los factores de calidad en tomate de árbol confitado.

Prueba	Estadístico	Gl	Valor-P
Chi-Cuadrada	0,000	6	1,0000

3.6 Análisis comparativo para cada factor de calidad

Mahecha (1985), afirma que cuando se tiene un número pequeño de datos, se puede usar estadística no paramétrica y el método más recomendado es el método de chi-cuadrado. Sin embargo, además de establecer la dependencia de las calificaciones y los tratamientos sometidos a evaluación por tecnología, se requiere encontrar el tratamiento más diferente o mejor evaluado de la totalidad de tratamientos que conforman esta investigación. Por ello, se optó por realizar adicionalmente, un análisis de varianza y pruebas de comparación Tukey.

3.6.1 Color de la pulpa

En la tabla 58 se encuentra el análisis de varianza realizado al factor de calidad “Color de la pulpa”. Se determinó que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol y la tecnología- temperatura aplicada, con un valor-

P menor a 0,05. Lo que conlleva a que se está ejerciendo un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta con un nivel de confianza del 95%.

Adicionalmente, los efectos principales para “Variedad” y “Tecnología y Temperatura”, presentan diferencias estadísticamente significativas de manera individual. Es decir, que existen diferencias estadísticamente significativas entre las variedades y que además se están presentando diferencias estadísticamente en el efecto principal “tecnología - temperatura” de procesamiento térmico.

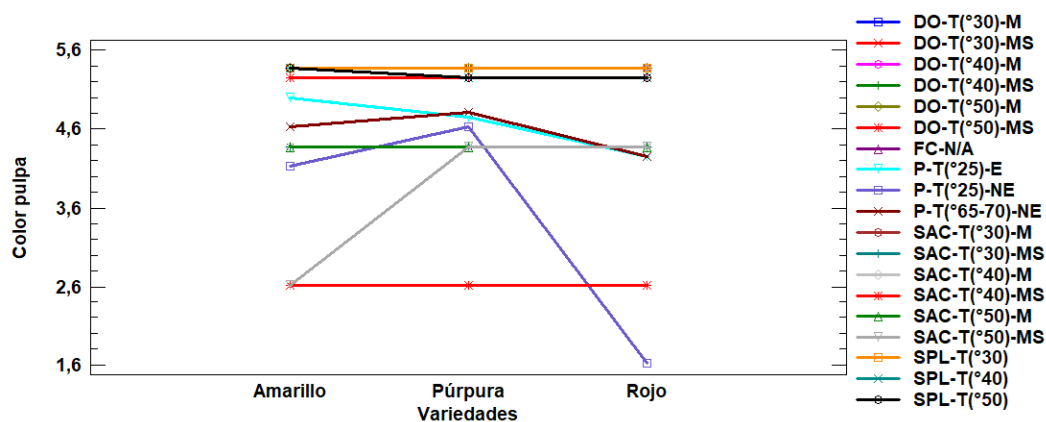
Tabla 58.

Análisis de varianza para el factor de calidad “Color de la pulpa” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	3,57095	2	1,78547	5,99	0,0027
B: Tecnología y Temperatura	263,252	18	14,6251	49,03	0,0000
Interacciones					
AB	58,5042	36	1,62512	5,45	0,0000
Residuos	126,187	423	0,298316		
Total (Corregido)	452,231	479			

Figura 58.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el factor de calidad “Color de la pulpa”.



La figura 58 indica las interacciones entre los tratamientos evaluados y el factor de calidad “Color de la pulpa”. Existe un gran número de tratamientos que poseen la misma media con el valor más alto y en total son veinte tratamientos cuyo valor de media es de 5,38. Sin embargo, al revisar los tratamientos se encontró que estos valores se presentan mayormente en las tecnologías “Deshidratación osmótica” con quince de los dieciocho tratamientos y “Secado de pulpa en lámina” con cinco de los nueve tratamientos, con este

valor de media, indicando que son las tecnologías más diferentes en el Factor de calidad “Color de la pulpa”.

3.6.2 Aroma y sabor

Para el factor de calidad “Aroma y sabor”, en la tabla 59 se aprecia que no hay interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol investigadas y “tecnología y temperatura” evaluadas.

Tabla 59.

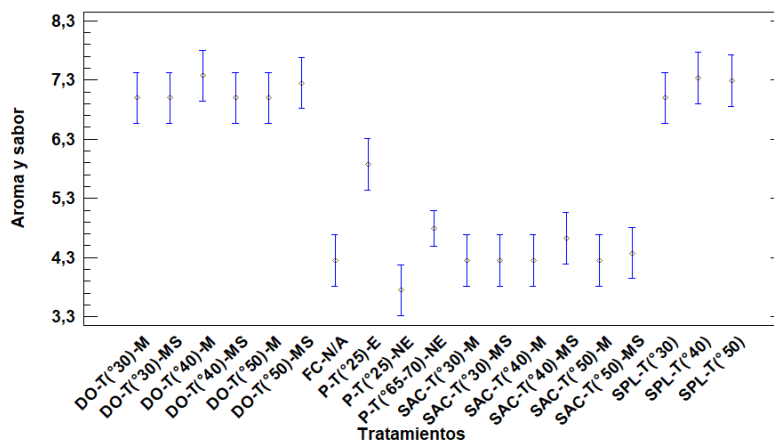
Análisis de varianza para el factor de calidad “Aroma y sabor” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	1,69032	2	0,845158	1,18	0,3071
B: Tecnología y Temperatura	906,29	18	50,3494	70,52	0,0000
Interacciones					
AB	31,4292	36	0,873032	1,22	0,1814
Residuos	302,0	423	0,713948		
Total (Corregido)	1241,5	479			

De manera individual, el efecto principal “Variedad” no está presentando diferencias estadísticamente significativas y sólo se aprecia diferencias estadísticamente significativas entre los niveles del efecto principal “Tecnología y temperatura”, lo que indica que estos son los que están generando un efecto sobre las calificaciones de los evaluadores sensoriales sobre el factor de calidad “Aroma y sabor”.

Figura 59.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Aroma y sabor” de todos los tratamientos evaluados.



En figura 59 se muestra la comparación de medias y la prueba Tukey HSD al 95% de significancia para el factor de calidad “Aroma y sabor” de los tratamientos evaluados. Se encontró que la media más alta corresponde a un tratamiento de la tecnología “SPL” específicamente secada a 40 °C, revisando los valores de media se encontró que el tratamiento con mayor valor de media es SPL-T (°40), variedad “Púrpura”, correspondiente a Pulpa de tomate de árbol variedad “Púrpura” secado en lámina a 40 °C, con nomenclatura equivalente según Tabla 1, a T23-SPL, con un valor de 7,63.

3.6.3 Textura

Continuando con el análisis de varianza, se presenta la tabla 60 con la información relacionada con el factor de calidad “Textura”. En ella se comprende que no existe interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol investigadas y “tecnología y temperatura” evaluadas. El efecto principal “Variedad” no presenta diferencias estadísticamente significativas. Respecto al efecto principal “Tecnología y temperatura” si se muestran diferencias estadísticamente significativas lo que indica que la tecnología y temperatura están generando un efecto sobre las calificaciones de los evaluadores sensoriales sobre el factor de calidad “Textura”.

Tabla 60.

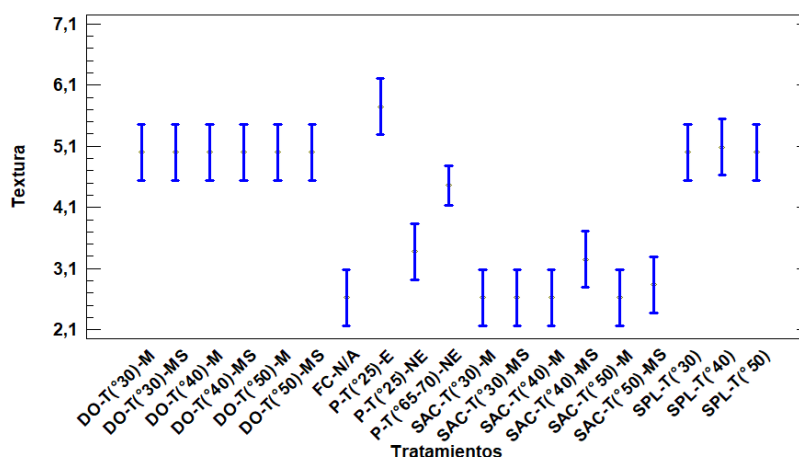
Análisis de varianza para el factor de calidad “Textura” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Variedad	1,25676	2	0,628378	0,78	0,4593
B: Tecnología y Temperatura	579,633	18	32,2019	39,95	0,0000
Interacciones					
AB	25,7667	36	0,715741	0,89	0,6577
Residuos	341,0	423	0,806147		
Total (Corregido)					

Para observar la comparación de medias y la prueba Tukey HSD, se muestra la figura 60. En ella se estableció que la media más alta se presenta en dos tratamientos de la tecnología “Pulpas” correspondiente a P-T (°25)-E para las variedades “Amarilla” y “Roja” con un valor de 5,88. Estos tratamientos pertenecen a T121-P y T122-P tratándose de pulpas sin pasteurizar, edulcoradas, variedades “Amarilla” y “Roja”, respectivamente.

Figura 60.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Textura” de todos los tratamientos evaluados.



3.6.4 Puntuación total

Respecto al análisis de varianza para la puntuación total se generó la tabla 61. Al interpretar los valores encontrados en ella, se aprecia que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate de árbol investigadas y la “tecnología y temperatura” evaluadas. Pero, al revisar los efectos principales, solo existen diferencias estadísticamente significativas en el efecto principal “Tecnología y temperatura” mostrando que la tecnología y temperatura están generando un efecto sobre las calificaciones de los evaluadores sensoriales, percibido en la puntuación total de cada tratamiento.

Tabla 61.

Análisis de varianza para el factor de calidad “Puntuación total calificada” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

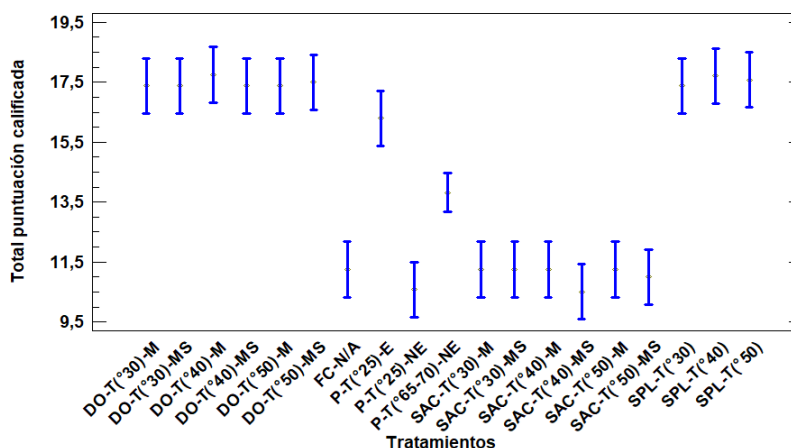
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	17,2477	2	8,62387	2,65	0,0716
B: Tecnología y Temperatura	4349,85	18	241,658	74,36	0,0000
Interacciones					
AB	260,479	36	7,23553	2,23	0,0001
Residuos	1374,69	423	3,24985		
Total (Corregido)	6003,87	479			

La comparación de medias y la prueba Tukey HSD, se aprecia en la figura 61. Se encontró que el tratamiento SPL-T (°40), variedad “Púrpura” es el que presenta mayor

media con un valor de 18. Este tratamiento es equivalente al tratamiento T23-SPL que consiste en pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a secado en lámina a 40 °C.

Figura 61.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el factor de calidad “Puntuación total calificada” de todos los tratamientos evaluados.



La tecnología “Secado de pulpa en lámina” presentó la mayor media para los factores de calidad “aroma y sabor” con un valor de 7,63 y “puntuación total” con media de 18. Globalmente, el tratamiento T23-SPL, equivalente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a proceso de secado en lámina a 40 °C, es el tratamiento mejor calificado por los jueces.

4. Conclusiones

Las calificaciones realizadas por los jueces sensoriales permitieron establecer que la tecnología “Secado de pulpa en lámina” es la mejor calificada, seguida de las tecnologías “Deshidratación osmótica” y “Pulpas”. La tecnología “Secado de pulpa en lámina” presentó la mayor media o estuvo entre las más altas medias para los factores de calidad “color de la pulpa”, “aroma y sabor” y “puntuación total”, encontrando que específicamente el tratamiento T23-SPL, que corresponde a la pulpa de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a proceso de secado en lámina a 40 °C, es el que ostenta ser el mejor calificado en esta investigación.

Referencias

Andrade, J. C., Acosta, D. L., Bucheli, M. A., y Osorio, O. (2014). Desarrollo de un recubrimiento comestible compuesto para la conservación del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.). Información tecnológica, 25(6), 57-66. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000600008&script=sci_arttext&tlng=en

- Ávila, J., y Ruales, J. (2016). Influencia del estrés luminoso e hídrico en la postcosecha, propiedades físico-químicas y estimación de la capacidad antioxidante del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) genotipo gigante amarillo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 30-40. <https://www.redalyc.org/journal/813/81346341005/html/>
- Castro, J.K., Cerquera, N.E., y Pastrana-Bonilla, E. (2017). Physicochemical characterization and sensory evaluation of banana pulp (*Musa paradisiaca*) dehydrated in sheets”. *Journal of Engineering and Applied Sciences* ISSN: 1819-6608 ed: v.12 fasc.05, marzo de 2017. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0317_5783.pdf
- Cerquera, N. E. (2006). Determinación de variables de secado y diseño de un prototipo para deshidratación de pulpa de fruta en lámina. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia, p. 164. <https://repositorio.unal.edu.co/discover>
- Cerquera, N.E., Castro, J.K., y Pastrana-Bonilla, E. (2017). “Physicochemical and sensory characterization for dehydrated passion fruit pulp sheets (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*)”. *Journal of Engineering and Applied Sciences* ISSN: 1819-6608 ed: v.12 fasc.13, julio de 2017. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0717_6153.pdf
- Iza, J. C., y Trujillo, R. A. (2020). Evaluación de una pulpa mixta de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y naranjilla (*Solanum quitoense*), cultivada en la Provincia de Napo. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/887>
- Maca, M., Mejía, D. F., y Osorio, O. (2012). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales del zumo de tamarillo (*Solanum betaceum*). *Vitae*, 19(1), p. 120-122. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914032.pdf>
- Mahecha, G. (1985). Evaluación sensorial en el control de calidad de alimentos procesados. Universidad Nacional de Colombia, p. 134.
- Malquichagua, R. A. (2022). Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de goma de tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze) para prolongar la vida útil de rocoto y tomate de árbol. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2874>
- Osorio-Oviedo, Á. A. (2019). Pruebas de análisis sensorial para el desarrollo de productos de cereales infantiles en Venezuela. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 13(2), 27-37. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21791.51361>. <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt/article/view/2702/1687>

Prieto, L. J. (2016). Estudio de los compuestos bioactivos responsables del sabor del tomate de árbol Var. amarilla (*Solanum betaceum* Cav.). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58622>

Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista ReCiTeIA. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=4_TNm-72U7MC&oi=fnd&pg=PA85&dq=m%C3%A9todo+de+calificaci%C3%B3n+análisis+sensorial&ots=Id2NYIKBwv&sig=ujY4jagGXxaJi_k9Mg_dyJJDDwM#v=onepage&q=m%C3%A9todo%20de%20calificaci%C3%B3n%20análisis%20sensorial&f=false

Capítulo 8

Obtención de curvas de secado de Tomate árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) mediante la aplicación de cuatro técnicas de procesamiento térmico.

Resumen

Se obtuvieron las curvas de secado de tomate de árbol, aplicando cuatro técnicas de procesamiento térmico: Deshidratación osmótica (DO), Secado por aire caliente (SAC), Secado de pulpa en lámina (SPL) y Fruta Confitada (FC), a tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: Amarilla (T1), Roja (T2) y Púrpura (T3), para un total de cuarenta y ocho tratamientos. Cada tratamiento fue sometido a unas condiciones específicas de secado en donde se tomó y se registró el peso el producto, de acuerdo a los tiempos de medición establecidos, hasta lograr contenidos de humedad en base húmeda cercanos o iguales al 12% (contenido de humedad en base seca del 13,64%), excepto en la técnica de deshidratación osmótica la que se considera una técnica de secado parcial. Así mismo, se monitorearon variables como la actividad de agua (A_w), el contenido de humedad en base húmeda (%Hbh) y el contenido de humedad en base seca (%Hbs), sólidos solubles iniciales y sólidos solubles finales. Se evidenció una clara influencia de la temperatura en la velocidad de secado, encontrándose que los menores tiempos de secado se presentaron en los tratamientos sometidos a la temperatura de 50 °C, seguidos de los tratamientos a 40 °C, y con los mayores tiempos de proceso en los tratamientos sometidos a 30 °C. En la mayoría de los tratamientos correspondientes a Secado por aire caliente, Secado de pulpa en lámina y Fruta confitada se logró reducir los valores de actividad de agua hasta niveles seguros de disponibilidad de agua, lo que se puede ver reflejado en su vida útil.

Palabras clave: Osmodeshidratación, Secado por aire caliente, Secado de pulpa en lámina, fruta confitada, actividad de agua.

1. Introducción

De acuerdo con Cano (2014) el secado es un proceso para conservar los productos que, por medio de la eliminación de una gran cantidad de agua presente en ellos, disminuye la probabilidad de proliferación de microorganismos o cualquier actividad enzimática. Padilla-Frías et al. (2020) afirman que en el secado se utiliza aire caliente como medio desecador, implicando mecanismos complejos en donde la temperatura es una de las principales variables del proceso, influyendo en los factores de calidad y contenido nutricional de un alimento. Vega-Mercado et al., (2001) hacen una clasificación de las tecnologías de secado en cuatro generaciones; en ese sentido, haciendo parte de estas generaciones, se encuentran las tecnologías de osmodeshidratación, secado por aire caliente, secado de pulpa en lámina y métodos combinados como la fruta confitada, estudiadas en esta investigación.

La técnica de deshidratación osmótica fue aplicada por Villa et al. (2009) y Marmolejo et al. (2015) quienes plantearon la reutilización de una solución osmótica en procesos de osmodeshidratación en trozos de tomate de árbol usando un jarabe con una

concentración de 65 °Brix en relación solución: fruta de 5:1, encontrando que la solución sostiene su función deshidratante durante siete ciclos sucesivos. El efecto de tres concentraciones y cuatro temperaturas en osmodeshidratación, aplicada a tomate de árbol fue estudiado por Martínez (2012) encontrando que el tratamiento que presenta la mejor cinética en el proceso es utilizando un jarabe con una concentración de 60 °Brix y una temperatura de 55 °C.

Así mismo, López et al. (2018) compararon los parámetros fisicoquímicos de tomate de árbol osmodeshidratado con inmersión en un jarabe de 65 °Brix y ácido ascórbico frente a un testigo sin proceso, en almacenamiento refrigerado, logrando prolongar la vida útil hasta en sesenta días, mientras que el tratamiento testigo solo se conservó la mitad de este tiempo. Anteriormente, Tabares y Velásquez (2003) habían evaluado la vida en anaquel de tomate de árbol osmodeshidratado empacado en atmósferas modificadas usando dos mezclas de gases y evaluando su comportamiento hasta por ochenta días. Se encontró que la mezcla de 1% de O₂, 5% CO₂, con balance de N₂, y con cobertura calibre 5 milésimas de pulgada, fue la que presentó mejores características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

En lo relacionado al secado por aire caliente, Díaz (2021) utilizó un secador con aire caliente, para evaluar su efecto sobre algunas variables en tomate de árbol, utilizando diferentes temperaturas y tiempos de secado, encontrando que las características de interés se sostienen realizando procesos de secado a 57 °C durante 305 minutos. Rodríguez (2014) en Venezuela, desarrolló formulaciones para la elaboración de hojuelas deshidratadas de tomate de árbol utilizando diferentes combinaciones de mezcla de pulpa y almidón, para luego someter el producto a secado por aire caliente en bandejas, como resultado obtuvo que las hojuelas con mayor solubilidad corresponden a las que fueron acondicionadas con 10% de almidón, recomendando su uso para la elaboración de bebidas, usando este producto como ingrediente funcional.

La técnica de secado de pulpa en lámina, no se ha estudiado para pulpas de tomate de árbol. Sin embargo, esta técnica ha sido implementada por autores para otros productos como es el caso de Cerquera et al. (2012) quienes determinaron las variables de secado adecuadas para la obtención de pulpas deshidratadas en lámina de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), encontrando que la temperatura del aire de secado de 65°C y la velocidad del aire de 231,4 m* min⁻¹ son las condiciones más adecuadas para este proceso. Andrade (2015) encontró que, para pulpa de pitahaya madura las condiciones de temperatura de secado 60° C y velocidad de secado de 4 m*s⁻¹ son las más aceptadas sensorialmente, consiguiendo un producto final con buen porcentaje de rendimiento en peso, contenido de humedad final baja y en un tiempo de secado corto.

Vanegas y Parra (2012) deshidrataron pulpa de mango (*Mangifera indica L*) usando un secador dinámico con una velocidad del aire de secado en un rango de 1,5 m*s⁻¹ a 3,5 m*s⁻¹ y temperatura en un rango de 50°C a 70°C, entregando un producto innovador para la presentación de alimentos deshidratados en forma de lámina. Ramos (2014) evaluó los

parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para varios tratamientos en donde se hicieron mezclas de pulpa de mango (*Mangifera indica* L) y manzana (*Malus domestica*), adicionando sacarosa a la formulación. Se obtuvieron productos con una vida útil de hasta dos meses en donde las pruebas microbiológicas arrojaron ausencia de mohos y levaduras. Bravo-Buitrago et al. (2023) estudiaron la estabilidad fisicoquímica y mecánica de láminas comestibles a partir de pulpas de mango (*Mangifera indica*) y piña (*Ananas comosus*), encontrando que tienen una vida útil de cuatro semanas conservando sus características fisicoquímicas y tecnofuncionales aptas para su consumo.

En la implementación de una combinación de procesos térmicos que se deriven en la producción de alimentos confitados a partir de tomate de árbol no se muestran investigaciones reportadas, sin embargo, se resalta la investigación ejecutada por Ampudia (2019) quien desarrollo una línea de confitería con productos elaborados con varias frutas, dando como resultado que las gomitas de tomate de árbol fueron las que obtuvieron mayor aceptación sensorial.

Si bien se han realizado investigaciones relacionadas con la implementación de diferentes técnicas de secado aplicables a la remoción de agua presente en el tomate de árbol, aún falta información científica relacionadas con la fruta, en sus diferentes variedades, que contribuyan a entender el comportamiento de las curvas de secado, respecto al tiempo de aplicación de cada proceso hasta lograr productos estables y con ello, lograr la prolongación de vida útil del alimento.

El objetivo de esta investigación fue establecer el comportamiento de las curvas de secado de tomate árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometidos a la aplicación de cuatro técnicas de procesamiento térmico. La investigación adelantada fue de tipo correlacional.

2. Metodología

2.1 Deshidratación Osmótica

Para este protocolo se trabajó un diseño experimental multifactorial de estructura 2X3X3, en donde el Factor 1 correspondió al componente de fruta a deshidratar (dos niveles: mesocarpio y mesocarpio + endocarpio), Factor 2 temperatura de deshidratación (tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 3 variedad de la fruta (tres niveles: Amarilla, Roja y Púrpura), con 3 repeticiones. Los tratamientos se realizaron a presión atmosférica correspondiente a 442 msnm, sin agitación ni recirculación, en una estufa con temperatura constante, marca Lab Companion.

Se cortó la fruta en trozos homogéneos, de aproximadamente 10 mm de espesor, se tomó una muestra control y se determinó el contenido de humedad inicial por el método de la estufa a 65°C hasta peso constante. Las muestras experimentales tuvieron un peso aproximado de 20 g de fruta en trozos, se registró el peso exacto teniendo en cuenta identificar las muestras correspondientes a cada tratamiento. A continuación, se preparó el jarabe con una concentración de 65 °Brix, conforme a lo sugerido por Pinzón et al. (2011). La fruta a deshidratar y el jarabe se depositaron en bolsas de polietileno de baja densidad

(PEBD) calibre 7 con dimensiones de 0,15 m x 0,40 m, en total se dosificó la fruta y el jarabe en ocho bolsas para cada una de las temperaturas establecidas. La relación Fruta: Jarabe fue 1:5, y durante las primeras siete (7) horas, cada hora se tomó una muestra (bolsa) de cada tratamiento y temperatura, se le retiró el jarabe, se secó la fruta con el papel absorbente, se pesó la fruta y se determinaron los sólidos solubles a la fruta y al jarabe. A una octava muestra (de todos los tratamientos) se le dejó en el proceso de secado hasta completar veinticuatro (24) horas, y se le realizó el mismo procedimiento de las otras muestras, ver figura 62.

Figura 62.

Tecnología deshidratación osmótica.



2.2 Secado por aire caliente

Para el secado convectivo, se estableció un diseño experimental multifactorial de estructura 2X3X3, en donde el Factor 1 correspondió al componente de fruta a deshidratar (dos niveles: mesocarpio y mesocarpio + endocarpio), Factor 2 temperatura de deshidratación (tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 3 variedad de la fruta (tres niveles: Amarilla, Roja y Púrpura), con 3 repeticiones. Las variables para establecer la cinética de secado de esta técnica se describen a continuación:

- **Contenido de humedad en base húmeda (%Hbh) y contenido de humedad en base seca (%Hbs).** Conforme a lo estipulado en la Association of Official Analytical Chemist, AOAC 934.06. Teniendo en cuenta las ecuaciones 1 y 2

$$\%Hbh = \frac{(Wi - Wf)}{Wi} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\%Hbs = \frac{(Wi - Wf)}{Wf} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Wi: Peso inicial de la muestra (g)

Wf: Peso final de la muestra (g)

- **Pérdida de humedad.** El producto a secar se cortó en trozos homogéneos de aproximadamente 10 mm de espesor, se esparció en una sola capa de manera uniforme en bandejas de acero perforadas, con dimensiones de 0,30m x 0,265m x 0,015m, abertura de la malla de 54%, calibre 23, pertenecientes al equipo de secado tipo estático, con flujo de aire horizontal paralelo a la disposición de las bandejas; con velocidad del aire de $5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; tomando el espesor del producto (mm) y el peso inicial de la capa de fruta (g). Este equipo diseñado, construido y calibrado por PROMAIN Ingeniería Ltda. se muestra en la figura 63 y en la figura 64. Para monitorear la cinética del secado de cada tratamiento se pesó la capa de fruta (g) y se midió el espesor de las muestras (mm) con un calibrador pie de rey, antes de iniciar el proceso de secado, y a continuación de acuerdo a los siguientes tiempos de secado: cada 30 minutos durante las tres primeras horas de secado; cada hora durante las horas siguientes, hasta lograr un contenido de humedad en base húmeda final del 12% o menor, o en su defecto, hasta cuando las variaciones de peso en las muestras fueron mínimas.

Figura 63.

Equipo de secado estático en bandejas con flujo de aire horizontal.



Figura 64.*Tecnología secado por aire caliente.*

- **Contenido de humedad final.** Conforme a lo estipulado en la AOAC 934.06.
- **Cinética del secado.** Para evaluar el secado se determinó el contenido de humedad (%H₂) de cada una de las muestras empleadas en los diferentes tiempos de secado, como se muestra en la ecuación 3 (Brooker, 1992):

$$\%H2 = \frac{100P2 - 100P1 + H1P1}{P2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

P2: Peso final de la muestra (g) en un tiempo de medición.

P1: Peso inicial de la muestra (g).

H1: Contenido de humedad en base húmeda inicial del proceso.

2.3 Secado de pulpa en lámina

Se realizó conforme a lo estudiado por Cerquera (2006), utilizando un diseño experimental bifactorial de estructura 3X3, en donde el Factor 1 corresponde a la temperatura de deshidratación (tres niveles: 30 °C, 40 °C y 50°C) y Factor 2 variedad de la fruta (tres niveles: Amarilla, Roja y Púrpura), con 3 repeticiones.

Se utilizó el equipo para pruebas de secado estático, figura 63, obteniendo las curvas de secado con aire forzado para diferentes condiciones de temperatura a una velocidad del aire de 5,3 m*s⁻¹. Así mismo, para analizar la cinética de secado se procedió de forma similar a lo descrito en el ítem 2.2. La pulpa a secar se esparció de manera uniforme sobre la bandeja lisa con de aproximadamente 10 mm de espesor, bandejas con dimensiones de 0,30m x 0,265m x 0,015m, calibre 18, pertenecientes al equipo de secado tipo estático, con flujo de aire horizontal paralelo a la disposición de las bandejas, figura 65.

Figura 65.

Tecnología secado de pulpa en lámina.



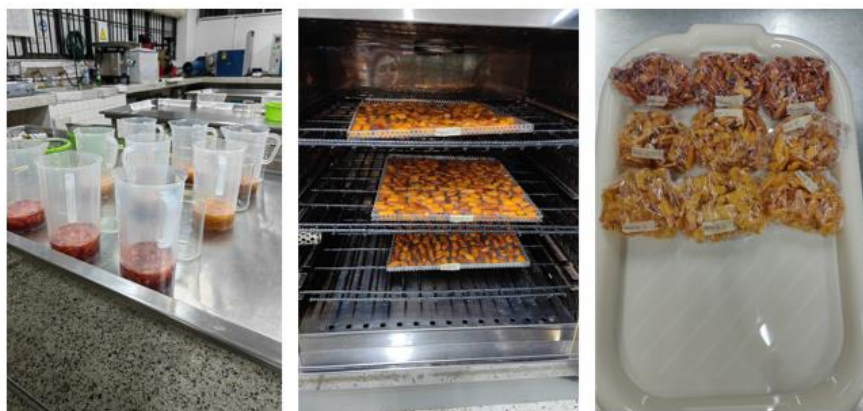
2.4 Fruta confitada

Se realizó un diseño completamente al azar de tres niveles que corresponden a la variedad de la fruta: Amarilla, Roja y Púrpura, con 3 repeticiones. Se determinó el contenido de humedad en base húmeda inicial, se extrajo el mesocarpio cortándolo en trozos de aproximadamente 10 mm. Se realizó la preparación de jarabe de azúcar con una concentración de 35 °Brix, con 0.5% de ácido cítrico y se calentó hasta punto de ebullición. Seguidamente se pesaron los trozos de fruta y se sumergieron en una relación fruta: jarabe de 1:1, dejando reposar durante 2 horas. Al final de esta etapa, se escurrió el almíbar, y se pesó la fruta. Al jarabe resultante se le agregó más sacarosa, para lograr una concentración de 50 °Brix, y de nuevo calentándolo hasta llegar a ebullición; se agregó este jarabe a la fruta obtenida en el paso anterior y se dejó en reposo por un nuevo período de 2 horas.

El proceso descrito se repitió con una concentración del jarabe de 60 °Brix, y con una concentración de 70 °Brix. En cada uno de los pasos en los que se retiró el jarabe de la fruta, esta fue debidamente pesada para, con esta información, posteriormente realizar las respectivas curvas. Se pesó la fruta resultante del proceso anterior y se sometió a secado a una temperatura de 65 °C durante 24 horas, en un equipo secador con aire caliente. Transcurridas las 24 horas se pesó nuevamente la fruta.

Como último paso, se preparó un nuevo jarabe de concentración 70 °Brix, calentándolo hasta ebullición y seguidamente se vació sobre la fruta y se dejó reposar por 2 horas. Se sacó la fruta del recipiente de concentración y se pasó por un cernidor para eliminar el exceso de jarabe, para pesar la fruta y determinar la humedad final del producto, ver figura 66.

Figura 66.
Tecnología fruta confitada



2.5 Parámetros asociados con el proceso de secado.

- Actividad de agua

Se determinó por lectura directa utilizando un equipo Novasina LabSwift-aw.

- Tiempo de secado (h)

Con ayuda de un cronómetro se estableció el tiempo total hasta alcanzar la humedad final de cada tratamiento procesado.

- Sólidos solubles totales inicial y final (°Brix)

Se empleó el método AOAC 932.12 (A.O.A.C 1998), mediante el uso de un refractómetro digital marca ATAGO, modelo Pocket Pal- α 3840.

3. Resultados

En la tabla 62 se hace un consolidado con algunas variables asociadas a la vida útil, en este caso para las materias primas, consideradas tratamientos testigo en esta investigación. Se aprecia que la variable actividad de agua (A_w) es muy alta, alcanzando valores cercanos a 1 y contenidos de humedad en base húmeda (%Hbh) por encima del 85%, característicos de alimentos frescos, pero con alto riesgo de proliferación de agentes patógenos según lo expuesto por Cardona (2019), lo que explica su corta vida útil. El contenido de humedad en base seca permite comparar la masa de agua que contiene un material sólido respecto a su masa seca (Martínez y Lira, 2010). En razón a ello, los tratamientos testigo poseen masas de agua que son entre 6,53 y 7,56 veces mayores que su masa seca.

Tabla 62.

Resultados de variables asociadas a la vida útil del producto para las materias primas

Tratamiento	Aw	%Hbh	%Hbs	SST i (°Brix)
T111-P	0,969	88,32	756,16	10,20
T112-P	0,971	86,73	653,58	13,30
T113-P	0,972	86,98	668,05	9,60

Las variables de sólidos solubles iniciales (SSTi) son características de la fruta fresca.

3.1 Osmodeshidratación del tomate de árbol

Para revisar los resultados de las variables asociadas al proceso de secado para los tratamientos de tomate árbol sometidos a deshidratación osmótica, se consolidó la tabla 63.

Tabla 63.

Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol osmodeshidratado.

Tratamiento	Aw	%Hbh	%Hbs	SST i (°Brix)	SST f (°Brix)
T111-DO	0,913	66,1	195,2	10,2	60,5
T112-DO	0,925	69,1	223,4	13,3	55,2
T113-DO	0,922	63,1	171,2	9,6	51,9
T121-DO	0,929	65,0	185,5	10,2	56,1
T122-DO	0,903	67,5	207,8	13,3	57,7
T123-DO	0,909	63,3	172,6	9,6	58,5
T131-DO	0,919	63,4	173,4	10,2	60,4
T132-DO	0,899	64,4	180,8	13,3	61,7
T133-DO	0,890	61,7	160,9	9,6	60,2
T211-DO	0,915	63,7	175,6	10,2	56,1
T212-DO	0,934	66,6	199,4	13,3	56,5
T213-DO	0,926	68,5	217,9	9,6	56,3
T221-DO	0,923	65,3	187,8	10,2	55,7
T222-DO	0,912	64,8	184,1	13,3	57,9
T223-DO	0,912	64,9	185,1	9,6	52,4
T231-DO	0,908	64,8	183,8	10,2	56,8
T232-DO	0,909	58,7	142,0	13,3	57,2
T233-DO	0,909	68,3	215,9	9,6	57,8

En lo relacionado a la variable Aw, se observa una disminución comparada con los tratamientos testigo para las tres variedades. Se destaca que el valor de menor actividad de

agua corresponde al tratamiento T133-DO, equivalente a mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura” con un valor de 0,890. Si bien se presentó una disminución respecto a su testigo T113-P, que presenta un valor de 0,972, todavía es alta, siendo probable la proliferación de microorganismos patógenos, que acortan la vida útil del producto.

Algo similar ocurre con el contenido de humedad en base húmeda y en base seca de los tratamientos. Los %Hbh disminuyeron, indicando una reducción en la masa de agua presente en cada tratamiento, siendo T232-DO el que obtuvo una mayor reducción de masa de agua, pasando de %Hbh de 86,73% a un 58,7%, teniendo una reducción de masa de agua del 28,03%. Para los %Hbs, en este mismo tratamiento se disminuyó su porcentaje de masa de agua respecto a la masa seca, siendo su masa de agua 1,42 veces mayor a su masa seca. Esto se debe a que este tratamiento correspondiente a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja” fue sometido a deshidratación osmótica con una temperatura de 50°C. Arias et al. (2017) describen que la cinética del proceso de deshidratación osmótica depende de diversos factores entre ellos la temperatura en la que se realiza la osmodeshidratación, en este caso, se corrobora esta afirmación, encontrándose los menores valores para %Hbs en los tratamientos sometidos a DO con esta temperatura.

Adicionalmente, a esta misma temperatura se osmodeshidrató el tratamiento T133-DO, es decir mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura” también aplicando 50 °C. García et al. (2013) reportan que adicional a la temperatura, la geometría y espesor del producto influyen en la deshidratación osmótica del alimento, en este caso al no tener endocarpio se obtiene un contenido de humedad final ligeramente mayor al obtenido en el tratamiento T232-DO.

Continuando con el análisis, los sólidos solubles totales presentaron un aumento considerable especialmente en el tratamiento T132-DO que fue el tratamiento que obtuvo los contenidos mayores en esta variable con SSTf de 61,7 °Brix.

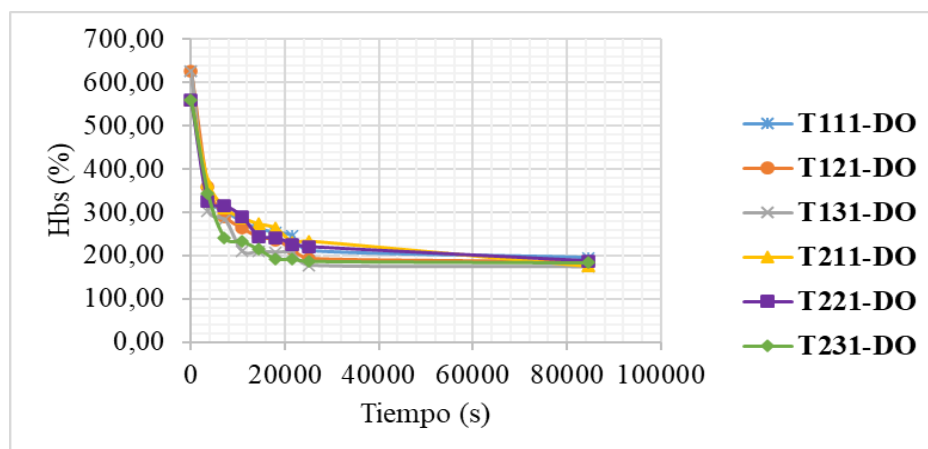
La figura 67 está consolidando las curvas de secado para trozos de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, sometidos a proceso de osmodeshidratación. En ella se observa que en los primeros 7200 s, se presentó una velocidad alta de pérdida de agua, seguida de una segunda etapa de 18000 s, es decir alrededor de cinco horas, en donde la velocidad fue decreciente en el proceso para remover el agua presente en el alimento. Este comportamiento coincidió con lo investigado por Xue (2004), quien encontró que estos procesos son más eficientes cuando poseen una duración máxima de hasta diez horas.

Adicionalmente, se aprecia que el tratamiento T131-DO presentó mayor eliminación de agua en estos primeros 7200 s, es decir dos horas de osmodeshidratación y una vez terminado el proceso fue el tratamiento que presentó menor contenido de humedad en base seca final. Se trata del tratamiento mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla” sometido a DO a 50 °C. Xue (2004), explica que cuando se presenta un aumento en la temperatura del proceso se presenta un aumento en la velocidad de transferencia de

masa, que genera una influencia tanto en la salida de agua presente en el producto como en la entrada de sólidos solubles totales al mismo.

Figura 67.

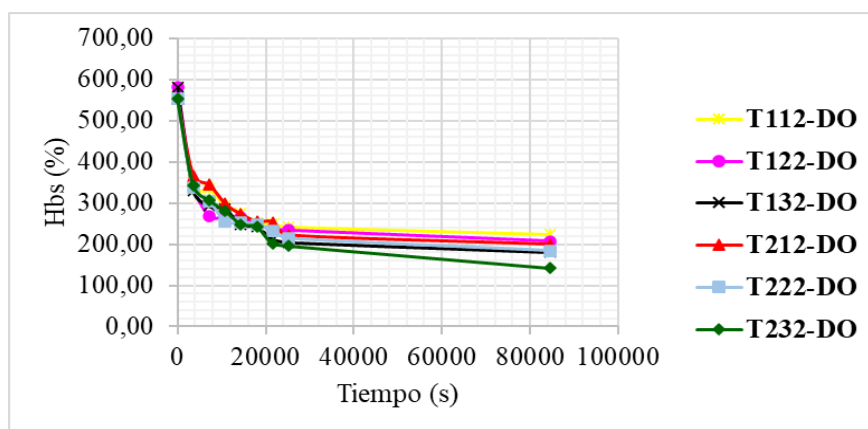
Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Amarilla osmodeshidratado.



Revisando la figura 68, se aprecia el comportamiento para los tratamientos de variedad “Roja” osmodeshidratados. En los primeros 7200 s, el tratamiento T122-DO equivalente a mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja” osmodeshidratado a 40 °C presentó mayor velocidad de eliminación de agua del producto. Sin embargo, una vez terminado el proceso, el tratamiento que presentó el menor contenido de humedad en base seca final fue T232-DO, que corresponde a mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja” sometido a DO a 50 °C.

Figura 68.

Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Roja osmodeshidratado.



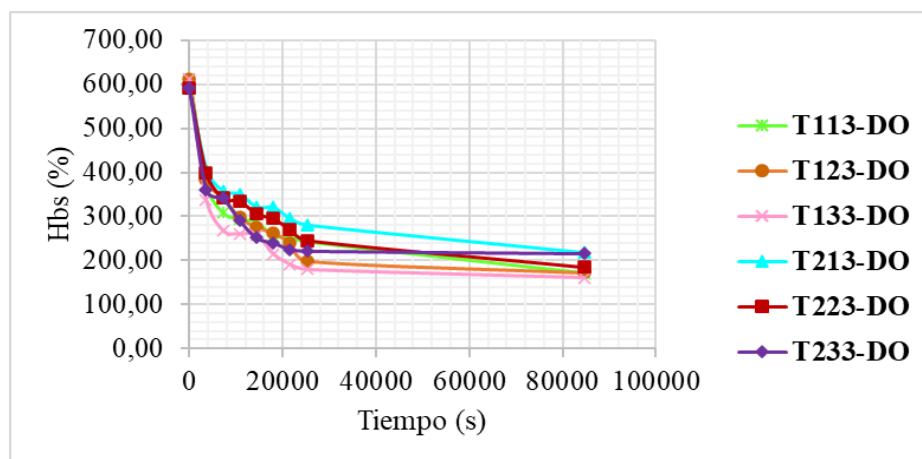
A continuación, en la figura 69, se muestran las curvas de secado para los tratamientos de variedad “Púrpura” osmodeshidratados. Para este caso, tanto en los

primeros 7200 s como al final de proceso el tratamiento que presentó mejor comportamiento fue T133-DO. Esto indica que el mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura” osmodeshidratado a 50 °C, fue el tratamiento que presentó mayor velocidad en la eliminación de agua.

De igual manera, al comparar las curvas de secado se encontró que este tratamiento fue el que mayor reducción del contenido de humedad en base seca presentó, respecto a todos los tratamientos que pertenecen al diseño experimental desarrollado para la tecnología “Deshidratación osmótica” con un % Hbs de 160,9%.

Figura 69.

Curvas de secado para tomate de árbol, variedad Púrpura osmodeshidratado.



3.2 Secado por aire caliente

Para la tecnología “Secado por aire caliente”, en la tabla 64 se aprecian los resultados de las variables asociadas al proceso de secado de tomate de árbol.

Se observa la disminución considerable de la actividad de agua que, en la mayoría de los tratamientos se encuentra por debajo de 0,6, lo que conlleva al aumento de la vida útil y a evitar la proliferación de microorganismos patógenos. El tratamiento que presenta menor actividad de agua es T232-SAC equivalente a mesocarpio más endocarpio, variedad “Roja” sometido a secado por aire caliente a 50 °C, con un valor de 0,498.

Teniendo en cuenta las variables %Hbh y %Hbs, se encontró que el 72% de los tratamientos contienen porcentajes de humedad con valores cercanos o inferiores al 12%, que corresponde a lo establecido por la Resolución 3929 de 2013, del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia y reportado por Cerquera (2006) en donde se indica que las frutas deshidratadas o desecadas, deben poseer un contenido de humedad en base húmeda del 12%.

Se encontró que los tratamientos que corresponden a Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 50 °C, requirieron los menores tiempos de secado, seguidos de los

tratamientos que pertenecen a Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, con tiempos que promedian las 11 horas; obteniéndose en ellos valores de actividad de agua A_w , por debajo de 0,6. En tercer lugar, respecto a los tiempos de secado, para obtener contenidos de humedad en base húmeda del 12% (13,64 %Hbs), se encuentran los tratamientos que equivalen a Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 40 °C y Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 40 °C, con tiempos que promedian las 17 horas. Por último, los tratamientos que corresponden a Mesocarpio sometido a secado por aire caliente a 30 °C y Mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 30 °C, presentaron tiempos que promedian las 30 horas, para obtener el contenido de humedad del 12 %Hbh. En general, se encontró que la temperatura ejerció influencia sobre la velocidad de secado, siendo menores los tiempos de secado a altas temperaturas.

Tabla 64.

Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol sometido a secado por aire caliente.

Tratamiento	A_w	%Hbh	%Hbs	SST i (°Brix)	SST f (°Brix)
T111-SAC	0,537	11,7	13,3	10,2	22,1
T112-SAC	0,567	12,4	14,1	13,3	23,1
T113-SAC	0,620	13,2	15,2	9,6	20,7
T121-SAC	0,532	10,9	12,2	10,2	21,5
T122-SAC	0,600	12,8	14,7	13,3	22,6
T123-SAC	0,604	13,2	15,3	9,6	21,2
T131-SAC	0,530	10,6	11,8	10,2	23,6
T132-SAC	0,516	10,5	11,8	13,3	24,8
T133-SAC	0,549	11,2	12,7	9,6	23,2
T211-SAC	0,579	12,2	13,9	10,2	21,9
T212-SAC	0,579	11,9	13,5	13,3	22,9
T213-SAC	0,621	12,9	14,8	9,6	20,9
T221-SAC	0,603	11,7	13,3	10,2	21,3
T222-SAC	0,562	11,8	13,4	13,3	22,1
T223-SAC	0,548	11,5	12,9	9,6	21,1
T231-SAC	0,505	10,5	11,7	10,2	23,5
T232-SAC	0,498	10,2	11,4	13,3	24,4
T233-SAC	0,542	10,7	11,9	9,6	23,1

En general, la totalidad de los tratamientos tuvieron un aumento en los sólidos solubles totales finales, lo que indica un aumento en el contenido de calorías en la totalidad de los tratamientos. El tratamiento que presenta mayor cantidad de sólidos solubles totales al final del proceso de secado es T132-SAC, conformado por mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja”, sometido a secado por aire caliente a 50°C.

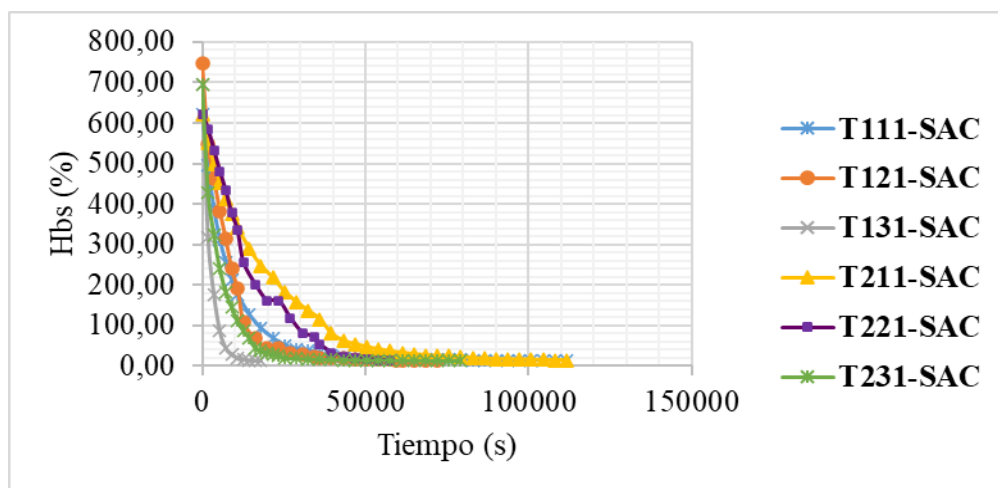
En la figura 70 se presentan las curvas de secado para los tratamientos de tomate de árbol variedad “Amarilla”, sometidos a secado por aire caliente. Al hacer la revisión de

las tres etapas en el proceso de secado planteadas por Cerquera (2006), la etapa de calentamiento no se pudo evidenciar por cuanto ocurre en poco tiempo. La segunda etapa, que corresponde a la velocidad constante, se evidencia claramente en la figura, y en este caso avanza de manera rápida en sus primeras lecturas y posteriormente tiende a estabilizarse, para dar paso a la última etapa, correspondiente a la de velocidad decreciente, hasta llegar a la humedad final del producto en cada tratamiento.

También se aprecia que el tratamiento T131-SAC, presenta un comportamiento diferenciado en los tratamientos de variedad “Amarilla” y el menor tiempo de secado. Para este caso, se trata del tratamiento mesocarpio de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente a 50 °C, con el que obtiene un contenido de humedad en base húmeda final correspondiente a 10,6%, un contenido de humedad en base seca de 11,8% y actividad de agua de 0,53.

Figura 70.

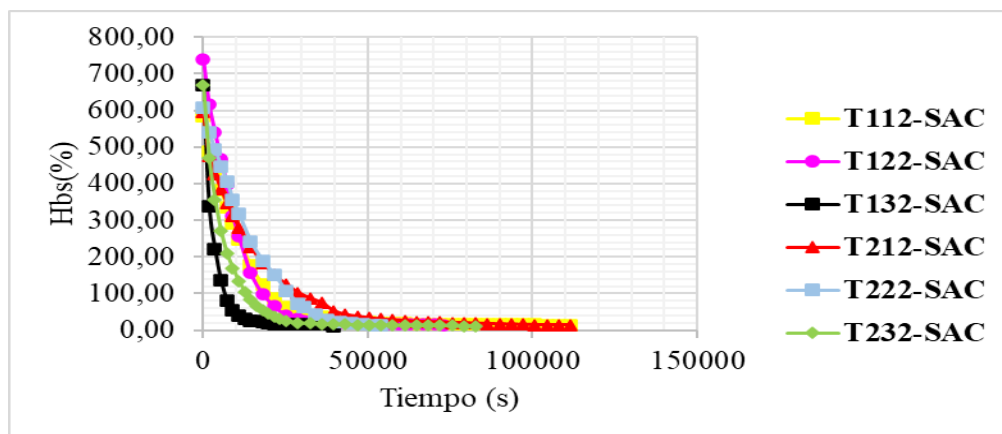
Curvas de secado para tomate de árbol variedad Amarilla sometido a secado por aire caliente.



Por otra parte, en la figura 71 se muestra las curvas de secado para los tratamientos de tomate de árbol, variedad “Roja”. Allí se encontró que T132-SAC equivalente a mesocarpio de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente a 50 °C, es el que presenta la mayor velocidad en el proceso de secado. En este tratamiento se obtuvo un contenido de humedad en base húmeda final de 11,4% (12,9 %Hbs) y actividad de agua de 0,516.

Figura 71.

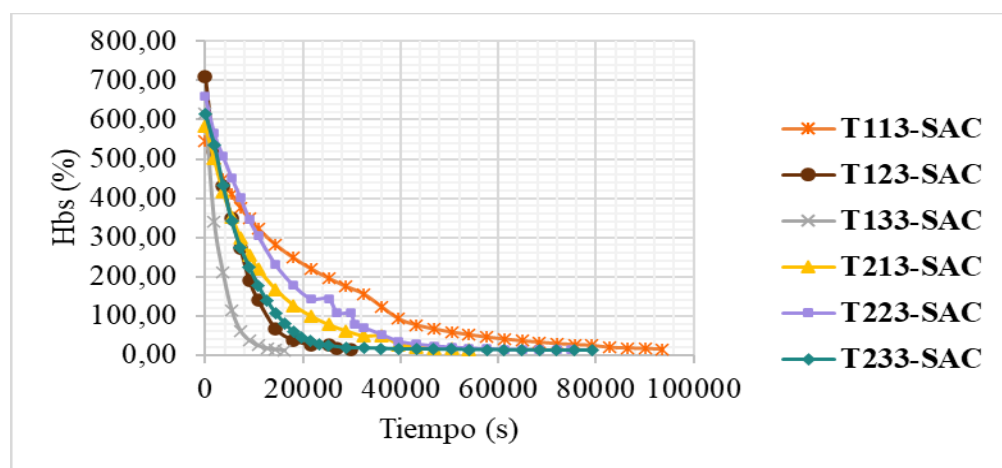
Curvas de secado para tomate de árbol variedad Roja sometido a secado por aire caliente.



En lo relacionado a los tratamientos de tomate de árbol, variedad “Púrpura” sometidos a secado por aire caliente, en la figura 72 se evidencia que el tratamiento T133-SAC correspondiente a mesocarpio de tomate de árbol sometido a secado por aire caliente a 50 °C, presenta la mayor velocidad de secado. En este tratamiento se alcanzó un contenido de humedad en base húmeda final de 11,2% (12,7 %Hbs) y actividad de agua de 0,549.

Figura 72.

Curvas de secado para tomate de árbol variedad Púrpura sometido a secado por aire caliente.



3.3 Secado de pulpa en lámina

Siguiendo con el análisis de las variables asociadas al proceso de secado, en la tabla 65 se presentan los resultados para tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.

Tabla 65.

Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol, sometido a secado de pulpa en lámina.

Tratamiento	Aw	%Hbh	%Hbs	SST i (°Brix)	SST f (°Brix)
T11-SPL	0,585	9,7	10,8	10,2	27,4
T12-SPL	0,609	11,0	12,4	13,3	29,6
T13-SPL	0,622	11,5	13,0	9,6	26,8
T21-SPL	0,614	11,6	13,1	10,2	28,5
T22-SPL	0,625	11,9	13,5	13,3	30,7
T23-SPL	0,579	10,7	12,0	9,6	27,9
T31-SPL	0,535	9,5	10,4	10,2	29,7
T32-SPL	0,618	10,5	11,8	13,3	31,2
T33-SPL	0,632	11,2	12,6	9,6	28,5

La actividad de agua presenta un comportamiento similar al de la tecnología anterior en donde los valores de este parámetro disminuyen y tienden a estar cercanos a 0,6. Sin embargo, solo el 33% de los tratamientos presentan valores inferiores a 0,6. Cardona (2019) afirma que en alimentos con actividad de agua que se encuentren en un intervalo de 0,60-0,65 existe la probabilidad de proliferación de algunas levaduras osmófilas como *Saccharomyces rouxii* y algunos hongos destacando a *Aspergillus echiulatus* y *Monascus bisporus*, generando disminución de la vida útil de los tratamientos. El tratamiento con menor actividad de agua es T31-SPL, correspondiente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Amarilla” sometida a secado de pulpa en lámina a 50 °C, con un valor de 0,535.

En lo relacionado a los contenidos de humedad, el 100% de los tratamientos, alcanzaron contenidos de humedad en base húmeda menores al 12% (12,7 %Hbs).

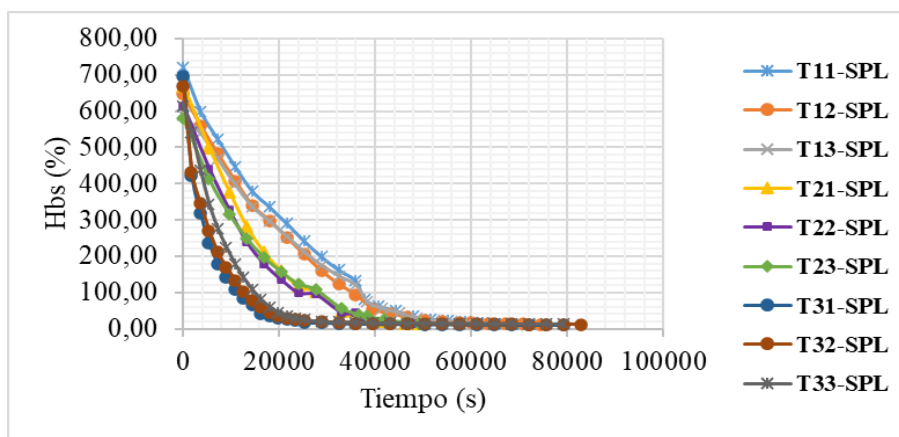
Se encontró que los tratamientos que corresponden al secado en lámina de las tres variedades Amarilla, Roja y Púrpura, sometidos a secado a 50 °C, requirieron los menores tiempos de secado, con tiempos de secado que promedian las 12 horas, para obtener contenidos de humedad en base húmeda menores o iguales al 12%; obteniéndose en ellos valores de actividad de agua Aw, en el rango de 0,535 y 0,632. En cuanto a los tratamientos de las tres variedades estudiadas, sometidos a secado a 40 °C, los tiempos de secado promedian las 14 horas, y se obtuvieron valores finales de actividad de agua en el rango de 0,579 a 0,625. Y respecto a los tratamientos sometidos a secado a 30 °C, los tiempos de secado promediaron las 18 horas, y se obtuvieron valores finales de actividad de agua en el rango de 0,585 a 0,622. En general, se encontró que la temperatura ejerció influencia sobre la velocidad de secado, siendo menores los tiempos de secado a altas temperaturas.

En cuanto a los sólidos solubles totales, la totalidad de los tratamientos presentaron un aumento respecto a los tratamientos testigo.

A continuación, en la figura 73, se observan las curvas de secado para tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.

Figura 73.

Curvas de secado para tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.



Siguiendo con el análisis hecho a la anterior tecnología, se presenta la misma situación con la etapa de calentamiento, al no ser perceptible en las primeras mediciones de los procesos. Coinciden de igual manera, la segunda etapa en donde se desarrolla la eliminación de agua a una velocidad constante hasta estabilizarse y continuar con una velocidad decreciente, que en todos los tratamientos alcanzaron un contenido humedad en base húmeda final menor al 12% (12,7 %Hbs).

Respecto a los tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina, se aprecia que el tratamiento T31-SPL correspondiente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Amarilla” sometida a secado en lámina utilizando una temperatura de 50 °C, presentó la mayor velocidad de secado. En este tratamiento se alcanzó un contenido de humedad en base húmeda final de 9.5% (10,4 %Hbs) y actividad de agua de 0,535.

3.4 Frutas confitadas

A continuación, la tabla 66, muestra los resultados de las variables asociadas al proceso de secado en tomate de árbol confitado. Con esta tecnología que combina deshidratación osmótica y secado por aire caliente, se logró alcanzar valores de actividad de agua por debajo de 0,6. Lo que convierte a todos los tres tratamientos en productos estables, con poca probabilidad de crecimiento de microorganismos patógenos y larga vida útil. Así mismo, los contenidos de humedad se encuentran muy bajos lo que indica que, según lo estudiado por Macias et al. (1990), al presentarse contenidos de humedad con valores inferiores al 7%, se garantiza un almacenamiento prolongado de los tratamientos evaluados. El tratamiento que presenta menor valor en los %Hbh y %Hbs es T1-FC, es decir tomate de árbol, variedad “Amarilla” confitado.

Tabla 66.

Resultados de variables asociadas al proceso de secado para tomate de árbol confitado.

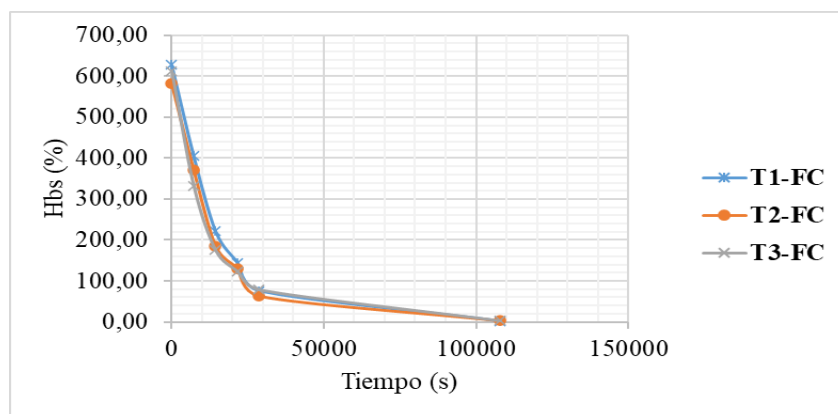
Tratamiento	Aw	%Hbh	%Hbs	SST i (°Brix)	SST f (°Brix)
T1-FC	0,565	2,2	2,3	10,2	65,9
T2-FC	0,570	3,5	3,6	13,3	66,4
T3-FC	0,558	2,7	2,8	9,6	65,6

Respecto a los SSTf el tratamiento que posee mayor contenido de sólidos solubles totales finales es T2-FC, equivalente a tomate de árbol, variedad “Roja” confitado. Al respecto, Della Rocca y Mascheroni (2011), mencionan que la ganancia de sólidos es menor a altas concentraciones de sacarosa, esto se debe a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso a su interior.

En la figura 74 se presentan los tratamientos correspondientes a “Fruta confitada”. En general los tres tratamientos presentan contenidos de humedad en base húmeda muy por debajo del 12% (12,7 %Hbs), convirtiéndolos en los tratamientos con los porcentajes más bajos en esta variable. La actividad de agua en estos tratamientos estuvo entre 0,565 y 0,570.

Figura 74.

Curvas de secado para tomate de árbol confitado.



4. Conclusiones

Se estudió el comportamiento de las curvas de secado en tomate árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometidos a la aplicación de cuatro técnicas de procesamiento térmico. La temperatura de cincuenta grados Celsius ejerció una influencia sobre los tratamientos que se reflejó en los valores de sus variables de respuesta,

especialmente para las tecnologías deshidratación osmótica, secado por aire caliente y secado de pulpa en lámina.

Los menores tiempos de secado se presentaron en los tratamientos sometidos a la temperatura de 50 °C, seguidos de los tratamientos a 40 °C, y con los mayores tiempos de proceso en los tratamientos sometidos a 30 °C. En general el comportamiento de las curvas es muy similar, con una etapa inicial de alta pérdida de humedad, que luego de su punto de inflexión se reduce significativamente, presentando de ahí en adelante una pérdida de humedad baja, hasta finalizar el secado.

Se logró remover gran parte del agua contenida en los tratamientos evaluados, reduciendo su actividad de agua hasta niveles seguros de disponibilidad de agua, lo que se puede ver reflejado en su vida útil.

Referencias

- Ampudia, E. Y. (2019). Creación de línea de productos de confitería: gomitas, caramelos suaves y deshidrataciones a base de tomate de árbol, tuna y granada dirigido a niños y adolescentes. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10531>
- Andrade, R. (2015). Obtención de láminas deshidratadas a partir de pulpa de pitahaya (*Hylocereus undatus*), Ibarra, Ecuador, p 135. <https://core.ac.uk/download/pdf/200326379.pdf>
- Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, Edited by Patricia Cunniff, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Arias, L., Perea, Y., y Zapata, J. E. (2017). Cinética de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins en función de la temperatura. Información tecnológica, 28(3), 47-58. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000300006
- Bravo-Buitrago, J. E., Ciro-Velásquez, H. J. and Márquez-Cardozo, C. J. (2023). Study of the physicochemical and mechanical stability of an edible leather of mango (*Mangifera indica*) and pineapple (*Ananas comosus*) pulp. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 76(1), 10189–10200. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n3.100730>
- Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., y Hall, C. W. (1992). Drying and storage of grains and oilseeds. Springer Science & Business Media. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qx-BaufhXKoC&oi=fnd&pg=PP15&dq=BROOKER,+Bakker,+ARKEMA,+Fred+W,+Drying+cereal+grains.+The+publishing+company.+Estados+Unidos,+1995.>

- [&ots=X7R-EPj1Ia&sig=icb6e9GvTuOif18mfNZFPGuifBw#v=onepage&q&f=false](#)
- Cano, O. (2014). Tipos de secado en alimentos. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/296>
- Cardona, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones. <https://riunet.upv.es/handle/10251/121948>
- Cerquera, N. E. (2006). Determinación de variables de secado y diseño de un prototipo para deshidratación de pulpa de fruta en lámina. Tesis presentada para optar al título de Magister en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia, p. 164. <https://repositorio.unal.edu.co/discover>
- Cerquera-Peña, N. E., Parra-Coronado, A., y Camacho-Tamayo, J. H. (2012). Determinación de variables de secado en lámina para la deshidratación de pulpa de maracuyá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 172–182. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n2/v6n2a06.pdf>
- Della Rocca, P. A., y Mascheroni, R. H. (2011). Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/111733>
- Díaz, K. R. (2021). Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la capacidad antioxidante y el color del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/192>
- García, A., Muñiz, S., Hernández, A., González, L., y Fernández, D. (2013). Analysis the Osmotic and Hot air dehydration kinetic of pineapple fruit (*Ananas Comosus*, *Cayena Lisa variety*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 62-69. Recuperado en 04 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000100011&lng=es&tlng=en.
- López, O. B., Montes, L. M., Serna Cock, L., y Franco, G. (2018). Conservación de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt) mínimamente procesado por deshidratación osmótica. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21319>
- Macias, B., García, H. R., y Galvis, J. A. (1990). Determinación de la humedad de equilibrio en panela. *Agronomía Colombiana*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33843>

- Marmolejo, A. F., Pinzón, M. I., y Arango, L. D. (2015). Reutilización de jarabe en la deshidratación osmótica/calentamiento óhmico de trozos de tomate de árbol. *Alimentos Hoy*, 23(34), 26-34.
<https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/291>
- Martínez, E., y Lira, L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. In *Simposio de metrología* (pp. 27-29).
<https://cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Martínez Barrera, C. A. (2012). Efecto de la concentración y la temperatura en la deshidratación osmótica de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3158/1/AL497.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 3929 de 2013: “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.” Bogotá, D.C, Colombia, p.29.
<https://www.minsalud.gov.co/Normatividad+Nuevo/Resolución%203929%20de%202013.pdf>
- Padilla-Frías, K. A., Granados-Conde, C., Leon-Mendez, G., Pineda, Y. A., y Torrenegra-Alarcon, M. (2020). Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(1), 98-110.
https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/3935
- Pinzón, M. I., Villa, C. C., y Nieto, J. A. (2011). Cambios de color y perfil aromático en soluciones osmóticas usadas en deshidratación osmótica de tomate de árbol. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 121-129.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612011000200014&script=sci_arttext
- Ramos Obregón, J. G. (2014). Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas en láminas de fruta de mango criollo (*Mangifera indica* L.).
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1888>
- Rodríguez, M. (2014). Hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cavanilles): un posible ingrediente para formular alimentos.
<http://saber.ucv.ve/handle/10872/14288>

- Tabares, C., y Velásquez, J. (2003). Estudio de la vida de anaquel del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea*)-osmodeshidratado empacado en atmósferas modificadas. Ingeniería Química. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2693>
- Vanegas, P., y Parra, A. (2012). Producción de láminas de mango (*Mangífera indica L.*) usando deshidratación dinámica. Vitae, 19(1), S75-S77. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914017.pdf>
- Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. Journal of food engineering, 49(4), 271-289. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7)
- Villa, C., Nieto, J., y Pinzón, M. (2009). Cambios composicionales y microbiológicos asociados a ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de Tomate de árbol. Rev.Bio. Agro [online], vol.7, n.1 ISSN 1692-3561 http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612009000100005&script=sci_arttext&tlng=es
- Xue, K. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera blanquilla [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1834>

Capítulo 9

Análisis comparativo del comportamiento de los compuestos bioactivos en el procesamiento térmico del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).

Resumen

Se identificaron y cuantificaron seis compuestos bioactivos para cada uno de los tratamientos que conforman las cinco tecnologías estudiadas: Pulpas (P), deshidratación osmótica (DO), Secado por aire caliente (SAC), Secado de pulpa en lámina (SPL) y fruta confitada (FC). La determinación de cada compuesto se realizó con cuatro repeticiones, aplicadas a tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: Amarilla (T1), Roja (T2) y Púrpura (T3). Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza y prueba de comparación múltiple Tukey HSD, con un nivel de significancia $p < 0,05$. Se estableció la influencia ejercida por los procesos térmicos sobre los compuestos bioactivos, encontrando que el tratamiento que retiene mayormente los compuestos estudiados es T233-SAC, es decir, mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura” sometido a secado por aire caliente a 50 °C, logrando retener contenidos de 13,50 mg ácido gálico* g muestra⁻¹ para Polifenoles totales, 81,67 mg trolox* g muestra⁻¹ en Capacidad antioxidante, 0,24 mg* cianidina 3-glucósido* g muestra⁻¹ de Antocianinas totales, 0,20 mg* g muestra⁻¹ de Ácido ascórbico, 22,15 µg* g muestra⁻¹ para Carotenoides totales y 10,90 mg tocoferol* g muestra⁻¹ para Vitamina E.

Palabras clave: fenoles totales, antocianinas totales, capacidad antioxidante, carotenoides totales, metabolitos secundarios.

1. Introducción

Un componente bioactivo de un alimento es aquel que aporta un beneficio adicional para la salud, el cual se encuentra en pequeñas proporciones en productos de origen vegetal y en alimentos ricos en lípidos (Herrera et al., 2014). Paulino et al. (2013) exponen que la determinación de estos compuestos es de interés creciente debido a que su ingesta regular promueve el mejoramiento de la salud y prevención de enfermedades. Martínez-Navarrete et al. (2008) afirman que los mecanismos de acción de los compuestos son resultado de varias interacciones entre los componentes y organismo que los ingiere. Por lo tanto, aún se investiga si es seguro conseguir los mismos beneficios consumiendo los componentes aislados o procesados como los que se ingieren en fresco con una dieta equilibrada.

Repo de Carrasco y Encina (2008) determinaron la actividad antioxidante y concentración de metabolitos bioactivos presentes en frutas nativas del Perú entre ellas tomate de árbol. Destacaron que el tomate del árbol es la fruta que presenta mayor contenido de carotenos con un valor de 4 mg de caroteno* 100 g⁻¹. Así mismo se cuantificaron otros compuestos como contenido de fibra cruda con un valor de 4,5 g*100 g⁻¹, proteína de 1,9g*100 g⁻¹ y ácido ascórbico con 16,09 mg*100 g⁻¹. Torres (2012) cuantificó compuestos bioactivos en pulpa madura de tomate de árbol encontrando concentraciones de 23,32 mg*100 g⁻¹ de Ácido ascórbico, 1,39 mg de Ácido gálico EAG*g⁻¹ para Polifenoles, 0,29 mg de cianidina 3-glucósido*g⁻¹ de Antocianinas y 1,22

mg*100g⁻¹ de Carotenos como Licopeno, evidenciando que, con estas cantidades, la fruta posee un potencial antioxidante. González y Morales (2022) evaluaron la influencia del grado de madurez, altitud y portainjerto sobre compuesto bioactivos y actividad antioxidante en variedades morada y anaranjada cultivadas en dos temporadas de estudio, en Ecuador. Se encontró que el ecotipo morado gigante presentó compuestos fenólicos con concentraciones más altas con un valor de 1106,34 mg EAG*g⁻¹ en la primera temporada.

Respecto a la presencia de compuestos bioactivos en productos transformados a base de tomate de árbol, Rojas et al. (2017) evaluaron los parámetros para conservar algunos compuestos bioactivos en la elaboración de un néctar a base de tomate de árbol, establecieron que se presentó la mayor retención de compuestos cuando se diseñó un producto a un pH de 3,33, con 13 °Brix y un factor de dilución pulpa: agua de 1:2,5, llevando a pasteurización durante un minuto a una temperatura de 99,5 °C. Lara (2016) hizo un proceso de microencapsulación de los polifenoles encontrados en la piel y pulpa de tomate de árbol variedad anaranjado. Además, caracterizó los parámetros fisicoquímicos, nutricionales y funcionales, encontrando un potencial en el producto por sus contenidos de fibra, calcio y alto grado de metoxilo. Cuesta et al. (2013) estudiaron el contenido de compuestos bioactivos en tomate de árbol variedad morado cultivado a diferentes alturas en Ecuador; como resultado obtuvieron que existe influencia de la ubicación de las plantaciones sobre el contenido de los compuestos presentes en los frutos.

En Colombia, Tigreros (2023) analizó el efecto del escaldado con microondas sobre alguno compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol, variedad roja, determinando que no existe mayor grado de afectación sobre los contenidos de ácido ascórbico, fenoles totales, carotenoides y actividad antioxidante, comparado con la muestra fresca y el tratamiento convencional de escaldado.

A pesar de que se han caracterizado algunos compuestos bioactivos presentes en los frutos de tomate de árbol, especialmente en estado fresco, hacen falta estudios que permitan analizar el comportamiento de estos compuestos cuando son sometidos a procesamiento térmico que reduzca el contenido de agua presente en los tejidos.

El objetivo de esta investigación fue comparar el comportamiento de los compuestos bioactivos en el procesamiento térmico del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt). Así mismo, esta investigación brindará información relacionada con la caracterización de algunos compuestos bioactivos presentes en cada una de las tres variedades mayormente comercializadas en Colombia en estado fresco. La investigación realizada es de tipo correlacional.

2. Metodología

Las pruebas se efectuaron en los Laboratorios de Procesos agroindustriales y Análisis de alimentos de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Surcolombiana, sede Central, Neiva, Huila-Colombia. La determinación de cada compuesto se realizó con cuatro repeticiones.

2.1 Obtención del extracto

El extracto utilizado para las pruebas de fenoles totales y capacidad antioxidante se obtuvo conforme al protocolo descrito por Pastrana (2004). Para lograrlo, se trituraron las muestras de cada uno de los tratamientos, luego se pesó un gramo de cada muestra, para agregar posteriormente 10 mL de una solución HCl 6N: MeOH 20:80, homogeneizando con un vortex durante un minuto. Las muestras se sometieron a baño María a una temperatura de 60 °C, durante dos horas para la hidrólisis ácida. Por último, usando un filtro de jeringa de polipropileno de 25 mm x 0,4 micras, se sometió a proceso de filtración cada muestra estudiada.

2.2 Compuestos bioactivos

2.2.1 Fenoles totales (PFT)

Los fenoles totales se determinaron mediante el método de Folin- Ciocalteu, reportado por Magalhães (2010); Pastrana (2003); Tovar (2013) y adaptado por Lorente (2015), este consistió en que para un volumen de 250 µL de extracto (2gr/20:80 HCL: MeOH), se adicionaron 15 mL de agua destilada y 1,25 mL del reactivo Folin- Ciocalteu, se dejó reaccionar la mezcla en oscuridad durante 8 minutos. Seguidamente, se añadió 3,75 mL de carbonato sódico al 7,5% (p/v) y agua destilada hasta completar 25 mL. Transcurrido un tiempo de 2 horas en oscuridad se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV/Visible, Genesys 180 Thermo Scientific. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico (AG). El blanco de los extractos se preparó a partir de 50 µL del extracto y 150 µL de agua. A esta solución se le midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm.

2.2.2 Capacidad antioxidante (CA)

Esta determinación se realizó por el método ABTS, para esto fue necesario preparar el compuesto ABTS (*2,2'-Azino-bis (3 – Etil Benzotiazolin)-6-Sulfonato de amonio*) en solución de concentración 7 mM, el cual se mezcló con persulfato de potasio (K₂S₂O₈) de concentración 2,45 mM en una relación 1:1 y así generar el radical catiónico ABTS, luego, esta mezcla se dejó en reposo por 16 horas en la oscuridad, seguidamente, se leyó la longitud de onda a una absorbancia a 734 nm, y este se ajustó con etanol grado analítico hasta que diera un valor de 0,7. Para realizar las lecturas de los tratamientos, se tuvo en cuenta lo propuesto por Márquez et al., (2014), en donde se tomó 1 gramo del extracto obtenido descrito anteriormente en el ítem 2.1 y se le agregó 9ml del extracto de ABTS+, se mezcló durante 30 segundos, luego, de este se tomó 4ml y se agregó en la cubeta de cuarzo para llevarlo a lectura en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 734 nm, lo mismo se realizó a los 30 minutos de reacción en oscuridad con el fin de hallar el porcentaje de inhibición con la ecuación 5:

$$\text{Porcentaje de inhibición} = 1 - \left(\frac{\text{Amuestra} - \text{Ablanco}}{AR} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

Amuestra= Es la absorbancia de la muestra (con el radical presente)

Ablanco = Es la absorbancia del blanco (con etanol adicionado)

AR= Absorbancia de referencia (que contiene el radical y el solvente de la muestra)

2.2.3 Antocianinas totales (AT)

Teniendo en cuenta que las antocianinas son más susceptibles a diversos factores, fue necesario realizar un nuevo extracto donde se tuvo en cuenta ciertas consideraciones. Para esto, se siguió lo planteado por Cuesta et al., (2013) de esta manera, se tomó 0,2 gramos de muestra y se mezcló con 10 mL de metanol- HCl 1% a través de vortex durante 5 minutos, seguidamente, se llevó a centrifuga a 4200 rpm durante 10 minutos. Este proceso se hizo rápidamente para proceder a agregar el reactivo en frío para conservar las temperaturas, luego, se filtró con papel filtro Whatman, y del mismo modo, se hizo dos veces la extracción para finalmente aforar a 25 ml con el solvente. Una vez realizada la extracción, se hizo un barrido espectral en el espectrofotómetro y así poder posteriormente hacer la lectura de su absorbancia a 530 nm, Para la cuantificación de la concentración de antocianinas se utilizó la ecuación 6:

$$C = \left(\frac{A}{E}\right) \left(\frac{Vol}{1000}\right) (PM) \left(\frac{1}{\text{peso de la muestra}}\right) (10^6) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

C: concentración de antocianinas totales (mg*g⁻¹)

A: absorbancia máxima

E: absortividad molar de la cianidina 3-glucósido (25965 cm⁻¹M⁻¹)

Vol: volumen total del extracto de antocianinas

PM: peso molecular de cianidina 3-glucósido (449 Da).

2.2.4 Ácido ascórbico (ÁA)

Para la determinación de ácido ascórbico se realizó haciendo unas modificaciones según lo planteado por Ndisanze y Koca, (2022) en donde se tomó 0,5 gramos de muestra previamente triturada y se le agregó 15 mL de ácido oxálico (0,4 gramos en 1 litro de agua destilada), este se llevó a centrifugar a 4200 rpm por 12 minutos, luego se filtró para generar el extracto. Posteriormente, se tomó 300 uL de ese extracto y se mezcló con 2700 uL de 2-6 Diclorofenolindofenol al 0,01% (diluido 1:5 con agua destilada), y así leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 520 nm, con el fin de comparar la reducción se hizo un blanco, el cual era 300 uL de ácido oxálico con 2700 uL de 2-6 Diclorofenolindofenol y la lectura se hizo a la misma absorbancia. Para hallar el porcentaje de reducción se usó la ecuación 7:

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{\text{Absorbancia del control} - \text{Absorbancia del extracto}}{\text{Absorbancia del control}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

2.2.5 Carotenoides totales (CT)

Partiendo de que los carotenoides son compuestos liposolubles y que presentan ciertas sensibilidades, fue necesario realizar un nuevo extracto para la determinación de

este compuesto. Teniendo en cuenta lo anterior, se siguió la metodología planteada por Ibáñez, (2018). Para la preparación del extracto, se utilizó 0,5 g de muestra según los tratamientos, previamente triturada, esta se llevó a un tubo Falcón de 15 mL, del mismo modo, a este se le agregó 10 mL de Hexano, seguidamente, se llevó a Vortex para homogenizar, luego, se llevó a baño ultrasonido por 10 min, para finalmente llevarlo a centrifuga por 12 minutos a 4200 rpm, en este proceso se omitió el filtrado, puesto que se volatilizaba muy rápido la muestra, no obstante, inmediatamente se sacaba la muestra para llevar a lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 450 nm, se usó como blanco la solución de extracción. Por último, se hizo la cuantificación mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{A_{450\text{ nm}} * \text{Volumen final (L)} * M * 10^3}{\epsilon * \delta * \text{peso muestra (g)}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde

C: concentración de carotenos totales ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

A: absorbancia a 450 nm

M: masa molecular de β -caroteno = $537 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

10^3 : constante de conservación de unidades ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

ϵ : coeficiente de extinción molar del β -caroteno en Hexano ($139200 \text{ L} \cdot (\text{mol} \cdot \text{cm})^{-1}$)

δ : camino óptico (cm)

2.2.6 Vitamina E (Vit E)

La determinación de este compuesto se hizo según lo planteado por Moreno, (2014) en donde a un tubo de ensayo se agregó 0,5g de muestra, del mismo modo, se le agregó 3 mL de Hexano y 0,1 mL de BHT, para seguidamente, agitar en vortex por 30 segundos, una vez conseguido, se llevó a baño María a 60°C por 20 minutos, y así luego someter a centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos, esto con el fin de que haya una separación de fases y poder filtrar el sobrenadante, y al residuo poderle hacer 2 extracciones más con los mismos procesos mencionados anteriormente. Finalmente, con las tres extracciones, es decir, los tres sobrenadantes se combinaron y se depositaron en un balón volumétrico de 10 mL para ser aforado con hexano. Ya obtenido el extracto se tomó aproximadamente 1 mL de este para el análisis por HPLC, en este se siguió la metodología planteada por Tangolar et al., (2011) citado por Moreno, (2014) con algunas modificaciones.

Se empleó un cromatógrafo líquido de alta eficiencia HPLC Agilent 1260 Infinity II con desgasificador 1260 Quat Pump VL y detector UV/VIS Genesys 180 Thermo Scientific con loop de inyección de $20 \mu\text{L}$. La columna empleada fue un Supelco C-18 con las siguientes dimensiones 250 mm de longitud, $4,6 \mu\text{m}$ de diámetro interno y $5 \mu\text{m}$ de tamaño de partícula. El método se llevó a cabo con elución isocrática y la fase móvil consistió de metanol: acetonitrilo (50:50 v/v) con un flujo de $1 \text{ mL} / \text{min}$ y un tiempo de corrida de 20 min. El volumen de inyección fue de $20 \mu\text{L}$ y la detección fue monitoreada a 295 nm.

Por último, se realizó una curva de calibración en la cual se tomó como referencia el

alfa-tocoferol.

2.3 Análisis estadístico

Se analizaron los resultados con el programa Statgraphics Centurion XVI.I, utilizando una nomenclatura descrita en la tabla 1 de la tesis doctoral. Los tratamientos se distribuyeron siguiendo un diseño multifactorial de n-vías con cuatro réplicas en donde los factores a evaluar fueron Variedad y Tecnología de procesamiento térmico- Temperatura, en donde los tratamientos testigos fueron T111-P, T112-P y T113-P. Se aplicó el análisis de varianza teniendo en cuenta el diseño experimental propuesto y se estableció la existencia de diferencias estadísticamente significativas para cada uno de los factores. Así mismo, se realizó una prueba de comparación de medias y Tukey HSD 95% de confianza para cada uno de los compuestos bioactivos evaluados.

3. Resultados

3.1 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos en pulpas de tomate de árbol.

En la tabla 67 se encuentran resumidos los valores promedios determinados para algunos compuestos bioactivos presentes en las pulpas que se estudiaron en esta investigación.

Tabla 67.

Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en pulpas de tomate de árbol.

T	PFT (mg ácido gálico * g muestra ⁻¹)	CA (mg trolox * g muestra ⁻¹)	AT (mg * g muestra ⁻¹)	ÁA (mg * g muestra ⁻¹)	CT (µg * g muestra ⁻¹)	Vit E (mg tocoferol * g muestra ⁻¹)
T111-P	7,07	85,55	0,00	1,81	26,40	14,29
T112-P	9,81	68,03	0,09	1,62	24,50	17,70
T113-P	15,63	115,77	0,29	2,19	26,10	14,36
T121-P	2,81	14,60	0,00	1,08	8,60	4,36
T122-P	3,06	14,02	0,00	1,51	5,25	4,61
T123-P	3,40	22,05	0,19	0,61	3,10	3,58
T211-P	4,59	48,08	0,00	1,60	19,00	10,03
T212-P	7,00	53,55	0,00	1,39	19,55	10,85
T213-P	12,18	75,86	0,15	2,00	21,10	10,72
T221-P	2,96	17,23	0,00	0,39	5,05	3,80
T222-P	2,59	19,55	0,00	0,33	2,25	4,12
T223-P	2,68	19,20	0,14	0,58	6,70	2,89

Para el compuesto polifenoles totales se encontró que el tratamiento T213-P, equivalente a pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Púrpura”, es el que más retiene polifenoles totales con un valor de 12,18 mg ácido gálico* g muestra⁻¹, respecto a su testigo T113-P. Ocurrió lo contrario con T222-P, es decir pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad

“Roja” que con un contenido de polifenoles totales de 2,59 mg ácido gálico* g muestra⁻¹ es el tratamiento que registra el contenido más bajo. Respecto a los tratamientos T111-P, T112-P y T113-P, contemplados como tratamientos testigo, presentan contenidos por encima de los contenidos resumidos por Revelo (2011) quien muestra valores de 0,92 mg ácido gálico* g muestra⁻¹, en la variedad Amarilla, 0,84 mg ácido gálico* g muestra⁻¹, para variedad anaranjada (Roja) y 0,83 mg ácido gálico* g muestra⁻¹ en la variedad Púrpura.

Así mismo, el tratamiento T213-P, es decir pulpa pasteurizada, variedad “Púrpura” es el que más retiene capacidad antioxidante con un contenido de 75,86 mg trolox* g muestra⁻¹, en por el contrario T122-P, pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Roja” presenta el contenido menor de capacidad antioxidante con un valor de 14,02 mg trolox* g muestra⁻¹. Al revisar los contenidos de capacidad antioxidante para los testigos T111-P, T112-P y T113-P, sólo se pudo contrastar con variedad Roja T112-P, en donde González y Morales (2022) reportan un contenido de 50,98 $\mu\text{mol} \cdot \text{g muestra}^{-1}$, el cual se encuentra por debajo de lo cuantificado en esta investigación.

El tratamiento que presenta mayor contenido de antocianinas totales es T123-P, es decir pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Púrpura” con un valor de 0.19 mg* g muestra⁻¹. El que menos retuvo las antocianinas fue el tratamiento T223-P, correspondiente a pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Púrpura”. Contrastando el tratamiento testigo T113-P, Revelo (2011) reporta contenidos de antocianinas totales con un valor de 3,43 mg* g muestra⁻¹ en la variedad “Púrpura”, encontrándose por encima del contenido encontrado en esta investigación que fue de 0,29 mg* g muestra⁻¹.

Siguiendo con este análisis, el tratamiento que obtuvo mayor retención respecto a su tratamiento testigo T113-P, para el compuesto Ácido ascórbico de esta tecnología fue T213-P, equivalente a pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Púrpura”, con un valor de 2,00 mg* g muestra⁻¹. Por otra parte, el tratamiento con más bajo contenido de ácido ascórbico fue T222-P, con contenido de 0,33 mg* g muestra⁻¹. Comparando lo encontrado, en Ecuador, por Revelo (2011) se reportan valores de 0,29 mg* g muestra⁻¹ para variedad Amarilla, 0,33 mg* g muestra⁻¹ para variedad anaranjado gigante (Roja) y 0,28 mg* g muestra⁻¹ para variedad Púrpura. En los tres casos, los tratamientos testigo estudiados en esta investigación, se encuentran por encima de estos valores, con 1,81 mg* g muestra⁻¹, para T111-P, 1,62 mg* g muestra⁻¹ en T112-P y 2,19 mg* g muestra⁻¹ para T113-P.

Para los carotenoides totales, el tratamiento T213-P, correspondiente a pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Púrpura”, es el tratamiento que posee mayor retención de carotenoides totales con un valor de 21,1 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$, comparado con su tratamiento testigo T113-P. Así mismo, se encontró que el tratamiento con menor contenido de carotenoides es T222-P, es decir, pulpa pasteurizada, edulcorada, variedad “Roja” con un valor de 2,25 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$. En relación a los testigos T111-P, T112-P y T113-P, se encontraron valores de 26,40 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$, 24,50 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$ y 26,10 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$, respectivamente; comparando con los reportes de Revelo (2011), los contenidos se encuentran por debajo de los cuantificados en esa investigación en donde la

variedad Amarilla presenta concentración de $220 \mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$ y la variedad Roja con $230 \mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$.

En el caso de la Vitamina E el tratamiento que presentó mayor retención de este compuesto fue T212-P, es decir pulpa pasteurizada, no edulcorada, variedad “Roja” con un valor de $10,85 \text{ mg tocoferol} \cdot \text{g muestra}^{-1}$.

3.2 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a DO.

Los valores promedios obtenidos en algunos compuestos bioactivos para tratamientos osmodeshidratados, se observan en la tabla 68.

Tabla 68.

Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos osmodeshidratados.

T	PFT (mg ácido gálico $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)	CA (mg trolox $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)	AT (mg $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)	ÁA (mg $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)	CT (μg $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)	Vit E (mg tocoferol $\cdot \text{g muestra}^{-1}$)
T111-DO	1,88	22,98	0,00	0,91	1,70	5,53
T112-DO	2,07	20,33	0,00	0,62	1,65	5,42
T113-DO	2,02	13,20	0,18	1,00	2,65	4,64
T121-DO	1,45	18,95	0,00	0,68	1,45	5,38
T122-DO	1,58	19,50	0,00	0,77	1,55	5,36
T123-DO	1,66	22,00	0,14	0,57	1,55	5,52
T131-DO	1,30	14,50	0,00	0,83	1,50	5,91
T132-DO	1,43	9,86	0,00	0,64	1,10	5,80
T133-DO	1,72	11,78	0,16	0,24	1,20	4,41
T211-DO	2,49	9,78	0,00	0,39	4,25	7,45
T212-DO	2,15	16,29	0,00	1,23	1,65	6,65
T213-DO	5,68	5,47	0,20	0,33	3,00	6,40
T221-DO	1,96	15,89	0,00	0,40	2,75	6,47
T222-DO	2,36	15,09	0,00	0,43	2,40	6,31
T223-DO	3,40	11,02	0,19	0,35	2,35	6,36
T231-DO	2,68	11,41	0,00	0,58	8,05	6,55
T232-DO	2,85	13,07	0,00	0,48	11,10	5,85
T233-DO	4,40	12,42	0,14	0,44	16,45	6,28

El tratamiento T213-DO, equivalente a mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 30°C , variedad “Amarilla” posee la mayor retención de polifenoles totales, comparado con el testigo T113-P, con un valor de $5,68 \text{ mg ácido gálico} \cdot \text{g muestra}^{-1}$. El tratamiento T131-DO, mesocarpio, osmodeshidratado a 50°C , variedad

“Amarilla” es el que menos retiene polifenoles con un valor de 1,30 mg ácido gálico* g muestra⁻¹.

Para la capacidad antioxidante, el tratamiento T123-DO, equivalente a mesocarpio, osmodeshidratado a 40 °C, variedad “Púrpura” posee la mayor retención de capacidad antioxidante, respecto a T113-P, con un valor de 22,00 mg trolox* g muestra⁻¹. El tratamiento T213-DO, mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Púrpura” es el que menos retiene este compuesto con un valor de 5,47 mg trolox* g muestra⁻¹.

En lo referente a Antocianinas totales, el tratamiento que mayor retiene este compuesto es T213-DO, correspondiente a mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Púrpura” con un valor de 0,20 mg* g muestra⁻¹. Ocurrió lo contrario con T233-DO, correspondiente a mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Púrpura” que presentó la más baja retención de este compuesto con un valor de 0,14 mg* g muestra⁻¹.

La mayor retención de Ácido ascórbico se presentó en T212-DO, mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Roja” con un valor de 1,23 mg* g muestra⁻¹. El tratamiento T133-DO, mesocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Púrpura”, con un valor de 0,24 mg* g muestra⁻¹ es el que menos retiene ácido ascórbico, para esta tecnología.

El tratamiento T233-DO, equivalente a mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Púrpura” es el tratamiento que posee mayor retención de carotenoides totales, con un valor de 16,45 µg* g muestra⁻¹. Por otro lado, el que menos retiene es T132-DO, mesocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Roja”, con 1,1 µg* g muestra⁻¹.

Respecto a la vitamina E, el tratamiento que mayor retención de este compuesto presenta es T211-DO, mesocarpio más endocarpio, osmodeshidratado a 30 °C, variedad “Amarilla” con 7,45 mg tocoferol * g muestra⁻¹. Ocurrió lo contrario con T133-DO, mesocarpio, osmodeshidratado a 50 °C, variedad “Púrpura” que presentó un valor de 4,41 mg tocoferol * g muestra⁻¹.

3.3 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos para SAC.

En la tabla 69, se observan los valores promedios para algunos compuestos bioactivos determinados en tratamientos que fueron sometidos a secado por aire caliente.

Tabla 69.

Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a secado por aire caliente.

T	PFT (mg ácido gálico * g muestra ⁻¹)	CA (mg trolox * g muestra ⁻¹)	AT (mg * g muestra ⁻¹)	ÁA (mg * g muestra ⁻¹)	CT (µg * g muestra ⁻¹)	Vit E (mg tocoferol * g muestra ⁻¹)
T111-SAC	4,76	52,32	0,00	0,26	14,40	3,37
T112-SAC	6,81	56,02	0,00	0,13	11,95	2,35
T113-SAC	11,59	53,65	0,13	0,27	9,25	2,49
T121-SAC	4,68	44,15	0,00	0,34	17,70	2,75
T122-SAC	6,42	51,25	0,00	0,18	11,90	2,91
T123-SAC	12,22	57,93	0,11	0,16	12,30	2,91
T131-SAC	4,50	43,41	0,00	0,37	18,40	2,27
T132-SAC	6,21	47,87	0,00	0,13	14,90	2,57
T133-SAC	12,28	63,66	0,18	0,14	11,65	2,60
T211-SAC	4,18	54,84	0,00	0,31	20,00	1,94
T212-SAC	6,57	51,37	0,00	0,13	16,70	2,11
T213-SAC	13,22	57,72	0,16	0,31	12,55	2,74
T221-SAC	4,13	37,25	0,00	0,30	19,80	4,02
T222-SAC	7,00	42,09	0,00	0,17	13,05	3,87
T223-SAC	12,53	58,95	0,20	0,17	13,45	4,53
T231-SAC	5,40	44,95	0,00	0,28	24,20	8,17
T232-SAC	7,50	42,14	0,00	0,27	22,50	8,26
T233-SAC	13,50	81,67	0,24	0,20	22,15	10,90

En este consolidado de resultados se encontró que el tratamiento T233-SAC, equivalente a mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Púrpura” posee la mayor retención de polifenoles totales, con un valor de 13,50 mg ácido gálico* g muestra⁻¹. Ocurrió lo contrario con el tratamiento T221-SAC, es decir, mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 40 °C, variedad “Amarilla” el cual es el que menos retiene polifenoles con un valor de 4,13 mg ácido gálico* g muestra⁻¹.

Ocorre el mismo comportamiento para la capacidad antioxidante. El tratamiento T233-SAC, posee la mayor retención de capacidad antioxidante, respecto a T113-P, con un valor de 81,67 mg trolox* g muestra⁻¹ y el tratamiento T221-SAC, es el que menos retiene este compuesto con un valor de 37,25 mg trolox* g muestra⁻¹.

En lo relacionado a Antocianinas totales, el tratamiento que mayor retiene este compuesto es nuevamente T233-SAC, con un valor de 0,24 mg* g muestra⁻¹. El tratamiento

T123-SAC, equivalente a mesocarpio, secado por aire caliente a 40 °C, variedad “Púrpura” presentó la más baja retención de este compuesto con un valor de 0,11 mg* g muestra⁻¹.

Para el Ácido ascórbico el tratamiento T131-SAC, mesocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Amarilla”, presentó la mayor retención de este compuesto con un valor de 0,37 mg* g muestra⁻¹. El tratamiento T132-SAC, mesocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Roja”, con un valor de 0,13 mg* g muestra⁻¹ es el que menos retiene ácido ascórbico con la implementación de esta tecnología.

En carotenoides totales ocurre algo importante y es el hecho de que T231-SAC, T232-SAC y T233-SAC poseen los tres primeros lugares respectivamente, en la retención de este compuesto bioactivo, mostrando que someter mesocarpio más endocarpio a secado por aire caliente a 50°C fue efectivo en los tres casos. El tratamiento T231-SAC, para variedad “Amarilla” es el tratamiento que posee mayor retención de carotenoides totales, con un valor de 24,20 µg* g muestra⁻¹. Por otro lado, el que menos retiene es T113-SAC, mesocarpio, secado por aire caliente a 30 °C, variedad “Púrpura”, con 9,25 µg* g muestra⁻¹.

Para la vitamina E, el tratamiento que mayor retención de este compuesto presenta es T233-SAC, equivalente a mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, variedad “Púrpura” con 10,90 mg tocoferol * g muestra⁻¹. Ocurrió lo contrario con T211-SAC, mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 30 °C, variedad “Amarilla” que presentó un valor de 1,94 mg tocoferol * g muestra⁻¹.

3.4 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos SPL.

En la tabla 70, se aprecian los valores promedios para algunos compuestos bioactivos determinados en tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.

El tratamiento T33-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Púrpura” posee la mayor retención de polifenoles totales, con un valor de 10,76 mg ácido gálico* g muestra⁻¹. Con el tratamiento T11-SPL, es decir, pulpa sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad “Amarilla” ocurrió lo contrario y es el tratamiento que menos retiene polifenoles con un valor de 5,07 mg ácido gálico* g muestra⁻¹.

En cuanto a la capacidad antioxidante, el tratamiento T23-SPL, equivalente a pulpa sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad “Púrpura”, presenta la mayor retención de capacidad antioxidante, respecto a T113-P, con un valor de 64,62 mg trolox* g muestra⁻¹ y el tratamiento T11-SPL, es el que menos retiene este compuesto con un valor de 34,68 mg trolox* g muestra⁻¹.

Respecto a las antocianinas totales, el tratamiento que mayor retiene este compuesto es T13-SPL, correspondiente a pulpa sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad “Púrpura” con un valor de 0,18 mg* g muestra⁻¹. El tratamiento T33-SPL,

equivalente a pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Púrpura”, presentó la más baja retención de este compuesto con un valor de 0,13 mg* g muestra⁻¹.

Para el Ácido ascórbico el tratamiento T32-SPL, equivalente a pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Roja”, presentó la mayor retención de este compuesto con un valor de 0,21 mg* g muestra⁻¹. El tratamiento T12-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad “Roja”, con un valor de 0,11 mg* g muestra⁻¹ es el que menos retiene ácido ascórbico usando la tecnología de secado de pulpa en lámina.

Tabla 70.

Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en tratamientos sometidos a secado de pulpa en lámina.

T	PFT (mg ácido gálico * g muestra ⁻¹)	CA (mg trolox * g muestra ⁻¹)	AT (mg * g muestra ⁻¹)	ÁA (mg * g muestra ⁻¹)	CT (µg * g muestra ⁻¹)	Vit E (mg tocoferol * g muestra ⁻¹)
T11-SPL	5,07	34,68	0,00	0,12	19,60	2,18
T12-SPL	6,80	46,24	0,00	0,10	16,15	2,60
T13-SPL	9,45	63,51	0,18	0,17	14,20	2,60
T21-SPL	5,52	37,06	0,00	0,14	20,00	2,73
T22-SPL	6,80	44,48	0,00	0,16	17,60	2,38
T23-SPL	10,66	64,62	0,16	0,13	16,83	3,11
T31-SPL	5,55	38,22	0,00	0,11	20,10	2,57
T32-SPL	7,66	42,03	0,00	0,21	17,00	3,20
T33-SPL	10,76	60,47	0,13	0,16	18,10	3,02

El tratamiento T31-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Amarilla” es el tratamiento que posee mayor retención de carotenoides totales, con un valor de 20,10 µg* g muestra⁻¹. Por otro lado, el que menos retiene es T13-SPL, pulpa sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad “Púrpura”, con 14,20 µg* g muestra⁻¹.

En lo relacionado a vitamina E, el tratamiento que mayor retención de este compuesto presenta es T32-SPL, equivalente a pulpa sometida a secado en lámina a 50 °C, variedad “Roja” con 3,20 mg tocoferol * g muestra⁻¹. Ocurrió lo contrario con T11-SPL, es decir, pulpa sometida a secado en lámina a 30 °C, variedad “Amarilla”, que presentó un valor de 2,18 mg tocoferol * g muestra⁻¹.

3.5 Determinación y cuantificación de algunos compuestos bioactivos para FC.

A continuación, la tabla 71 presenta los valores promedios para los compuestos bioactivos presentes en los tres tratamientos que fueron sometidos a fruta confitada.

Para polifenoles totales, el tratamiento T3-FC, equivalente a fruta confitada, variedad “Púrpura” es el que obtuvo la mayor retención con un valor de 8,26 mg ácido

gálico* g muestra⁻¹. Continuando con este análisis, este mismo tratamiento es el que más retiene capacidad antioxidante de los tres, con un valor de 17,29 mg trolox* g muestra⁻¹. Ocurre lo mismo con el ácido ascórbico que para este tratamiento obtuvo un valor de 0,17 mg * g muestra⁻¹. En el caso de las antocianinas totales no hubo retención de este bioactivo en ninguno los tres tratamientos, siendo sus concentraciones en esta tecnología de 0,00 mg * g muestra⁻¹.

En lo relacionado a carotenoides totales y vitamina E, se retuvieron en mayor cantidad en T2-FC, es decir fruta confitada, variedad “Roja”, con valores de 18,50 µg * g muestra⁻¹ para carotenoides totales y 2,97 mg tocoferol * g muestra⁻¹ para vitamina E.

Tabla 71.

Valores promedios para algunos compuestos bioactivos en fruta confitada.

T	PFT (mg ácido gálico * g muestra ⁻¹)	CA (mg trolox * g muestra ⁻¹)	AT (mg * g muestra ⁻¹)	ÁA (mg * g muestra ⁻¹)	CT (µg * g muestra ⁻¹)	Vit E (mg tocoferol * g muestra ⁻¹)
T1-FC	4,37	15,93	0,00	0,14	12,60	2,87
T2-FC	4,55	3,06	0,00	0,17	18,50	2,97
T3-FC	8,26	17,29	0,00	0,17	16,05	2,76

3.6 Análisis de varianza y pruebas de comparación de medias y Tukey HSD 95% para los compuestos bioactivos evaluados.

La tabla 72 muestra el análisis de varianza de la variable “Polifenoles totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Tabla 72.

Análisis de varianza para el parámetro “Polifenoles totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	862,888	2	431,444	297,87	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	1746,54	18	97,03	66,99	0,0000
Interacciones					
AB	394,541	36	10,9595	7,57	0,0000
Residuos	265,066	183	1,44845		
Total (Corregido)	3273,08	239			

En ella se observa la existencia de una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol estudiadas y la tecnología y temperatura evaluadas, con un valor-P menor a 0,05, indicando que la interacción tiene un efecto estadísticamente

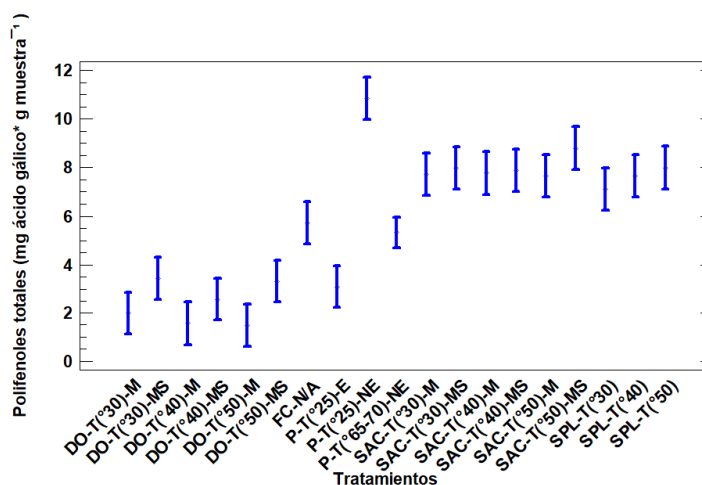
significativo sobre el contenido de polifenoles totales evaluada en los tratamientos con un 95,0% de nivel de confianza.

Algo similar ocurre con los efectos principales, para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, los cuales de forma independiente presentan diferencias estadísticamente significativas. Esto indica que entre las variedades de tomate de árbol se presentan contenidos diferentes de polifenoles totales y que, dependiendo de la temperatura y tecnología del proceso, están variando los contenidos de esta variable de respuesta en el producto final.

A continuación, en la figura 75 se muestra la gráfica de comparación de medias y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD al 95% de significancia, para el parámetro polifenoles totales. Se encontró que la media más alta corresponde a la tecnología “Secado por aire caliente-SAC” con una temperatura de secado de 50°C.

Figura 75.

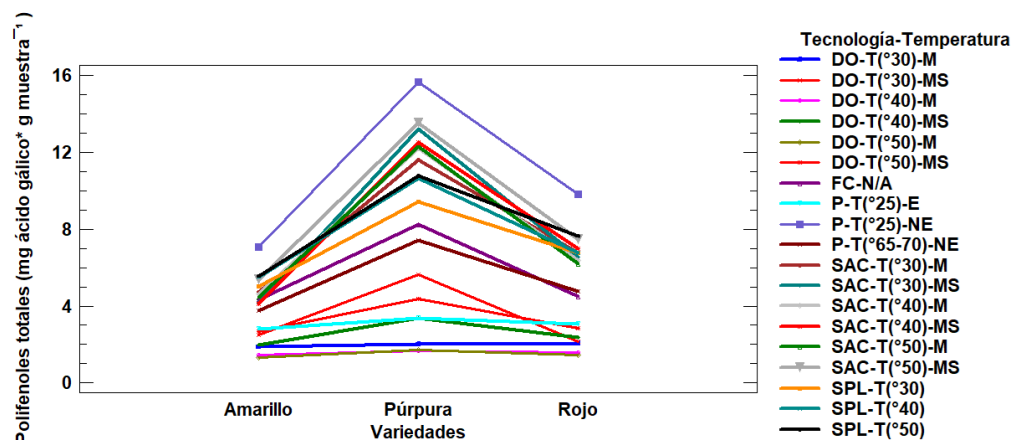
Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Polifenoles totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.



Además de ello, para encontrar el tratamiento más diferente, en la figura 76 se muestra la interacción de los tratamientos evaluados y el contenido de polifenoles totales. El tratamiento de mesocarpio más endocarpio (MS), sometido a secado por aire caliente a 50 °C (SAC-T(°50)), variedad “Púrpura” es decir T233-SAC, es el tratamiento que, respecto a su testigo, presenta la mayor media para la variable polifenoles totales de todos tratamientos evaluados y que conforman esta investigación, con una media de 13,50 mg ácido gálico* g muestra⁻¹.

Figura 76.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Polifenoles totales”.



En la tabla 73 se aprecia el análisis de varianza para la variable “Capacidad antioxidante” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. Al revisarla se encontró que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura evaluadas, con un valor-P menor a 0,05, mostrando que hay un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante evaluada en cada uno de los tratamientos con un 95,0% de nivel de confianza.

En lo relacionado con los efectos principales, para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, también se presentan, de manera independiente, diferencias estadísticamente significativas. Es decir, que entre las variedades de tomate de árbol se muestran diferencias estadísticamente significativas y que, dependiendo de la temperatura y tecnología del proceso, también está variando la capacidad antioxidante en el producto final.

Tabla 73.

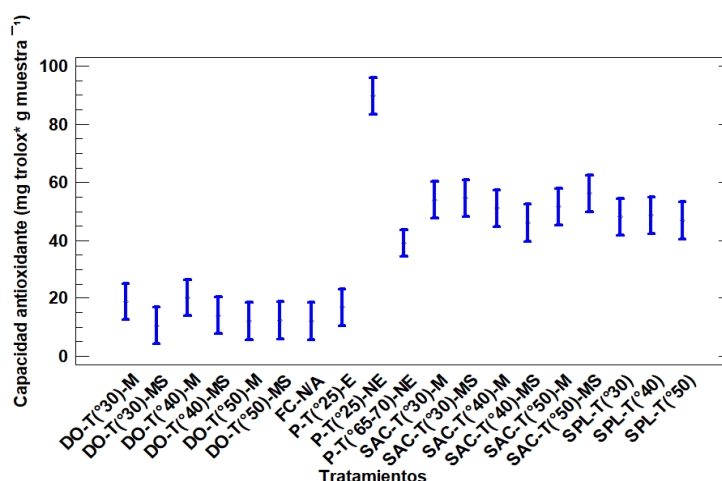
Análisis de varianza para el parámetro “Capacidad antioxidante” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	6133,06	2	3066,53	40,30	0,0000
B: Tecnología y Temperatura	104690,	18	5816,11	76,44	0,0000
Interacciones					
AB	11142,9	36	309,524	4,07	0,0000
Residuos	13924,8	183	76,0918		
Total (Corregido)	136149,	239			

En la figura 77 se observa la gráfica de comparación de medias y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD al 95% de significancia, para la capacidad antioxidante. Se indica que la media más alta, diferente a la tecnología testigo P-T (°25)-NE, corresponde a la tecnología “Secado de pulpa en lámina-SPL” con una temperatura de secado de 50°C.

Figura 77.

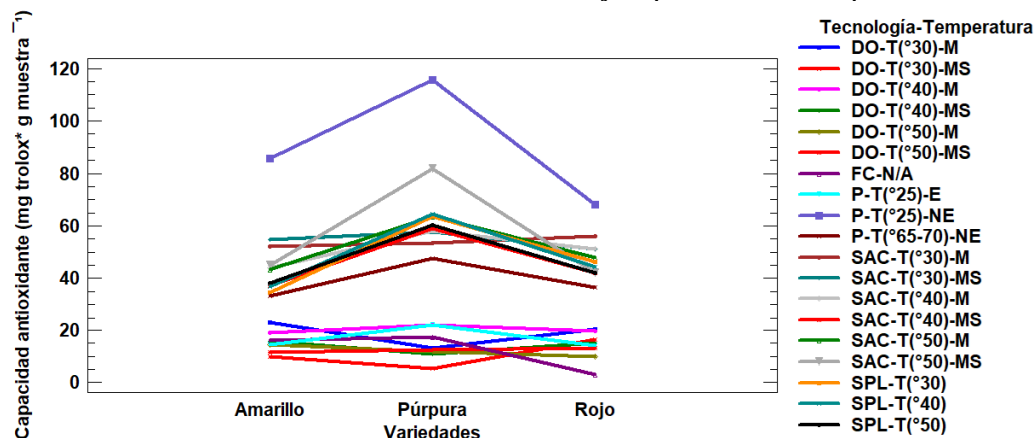
Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Capacidad antioxidante” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.



Siguiendo con este análisis, en la figura 78 se muestra la interacción de los tratamientos evaluados y la capacidad antioxidante. El tratamiento de mesocarpio más endocarpio, sometido a secado por aire caliente a 50°C, variedad “Púrpura” equivalente a SPL-T (°50), variedad “Púrpura” es decir T233-SAC, es el tratamiento que presenta la mayor media para la variable capacidad antioxidante con una media de 81,67 mg trolox* g muestra⁻¹.

Figura 78.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Capacidad antioxidante”.



El análisis de varianza para el parámetro “Antocianinas totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología, se presenta en la tabla 74. En ella se observa que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura evaluadas, mostrando que hay un efecto estadísticamente significativo sobre las antocianinas totales evaluadas en cada uno de los tratamientos, con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 74.

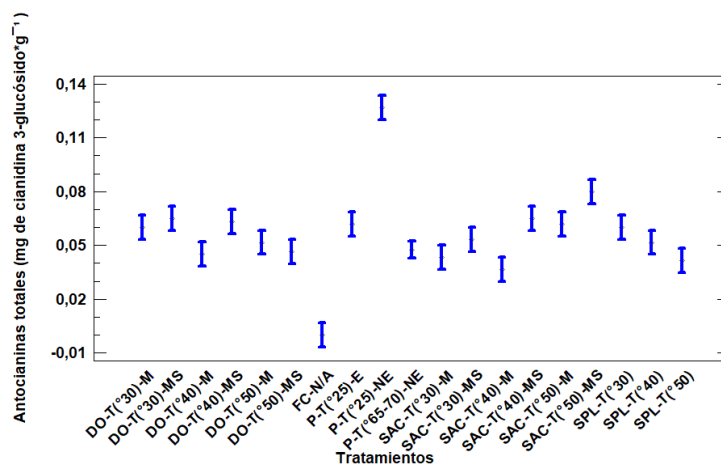
Análisis de varianza para el parámetro “Antocianinas totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad					
B: Tecnología y Temperatura	1,33958	2	0,66979	7782,32	0,0000
Interacciones	0,121775	18	0,00676528	78,61	0,0000
AB					
Residuos	0,15121	36	0,00420028	48,80	0,0000
Total (Corregido)	0,01575	183	0,0000860656		

Así mismo, los efectos principales, para “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, de manera individual, presentan diferencias estadísticamente significativas. Es decir, que entre las variedades de tomate de árbol se muestran diferencias estadísticamente significativas y que, además, dependiendo de la temperatura y tecnología del proceso, también está variando el contenido de antocianinas totales en el producto final.

Figura 79.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Antocianinas totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

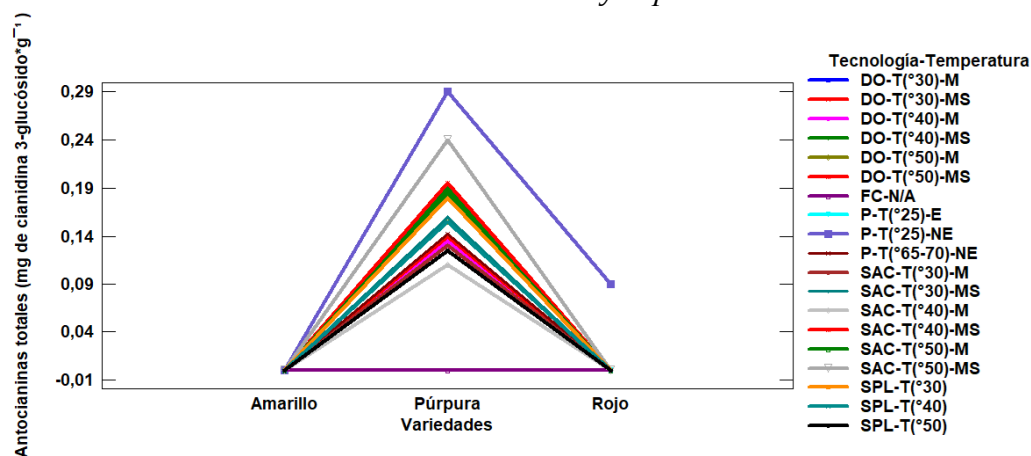


La gráfica de comparación de medias y Tukey HSD al 95%, para el parámetro antocianinas totales se enseña en la figura 79. Al revisar, se revela que la media más alta corresponde a la tecnología “Secado por aire caliente-SAC” con una temperatura de secado de 50°C respecto a su testigo en la tecnología P-T (°25)-NE.

Para encontrar el tratamiento más diferente, en la figura 80 se muestra la interacción de los tratamientos evaluados y el contenido de antocianinas totales. El tratamiento de mesocarpio más endocarpio (MS), sometido a secado por aire caliente a 50 °C (SAC-T(°50)), variedad “Púrpura” es decir T233-SAC, es el tratamiento que presenta la mayor media para el contenido de antocianinas totales de todos tratamientos que conforman esta investigación, con una media de 0,24 mg * g muestra⁻¹.

Figura 80.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Antocianinas totales”.



La información correspondiente con el análisis de varianza para el parámetro “Ácido ascórbico” en relación con la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología, se indica en la tabla 75. Allí se presentó una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura evaluadas, mostrando que hay un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de ácido ascórbico evaluado en cada uno de los tratamientos, con un 95,0% de nivel de confianza.

Igualmente, en el efecto principal “Temperatura y Tecnología”, presenta diferencias estadísticamente significativas de forma independiente. Independientemente de cuál sea la variedad de tomate árbol evaluada, la temperatura y tecnología del proceso, está generando una variación en el contenido de ácido ascórbico presente en el producto final.

Tabla 75.

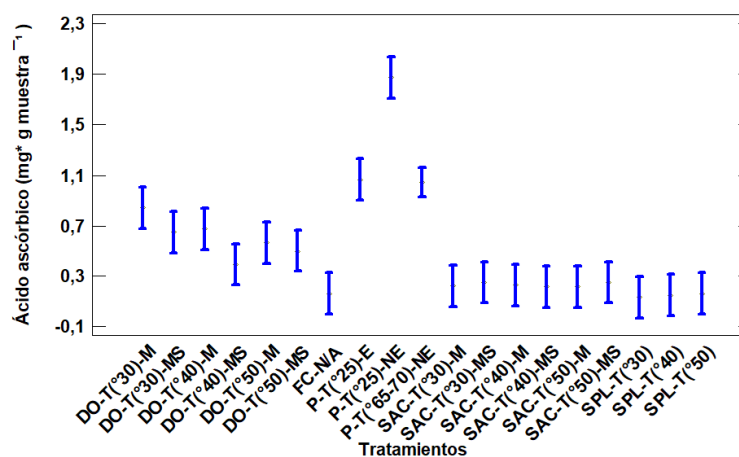
Análisis de varianza para el parámetro “Ácido ascórbico” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	0,152273	2	0,0761365	1,49	0,2283
B: Tecnología y Temperatura	46,9159	18	2,60644	50,97	0,0000
Interacciones					
AB	6,64262	36	0,184517	3,61	0,0000
Residuos	9,35715	183	0,051132		
Total (Corregido)	62,9817	239			

La figura 81 presenta la comparación de medias y Tukey HSD al 95%, para el contenido de ácido ascórbico respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. Se estableció que la media más alta corresponde a la tecnología “Pulpas” edulcoradas. Se aprecia también que las medias más bajas se presentan en las tecnologías “Secado por aire caliente” y “Secado pulpa en lámina”.

Figura 81.

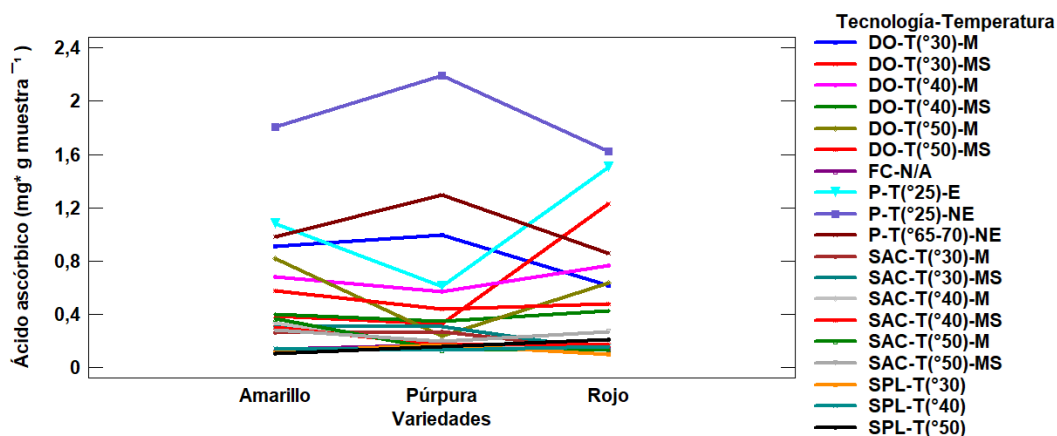
Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Ácido ascórbico” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.



La figura 82 muestra la interacción de los tratamientos evaluados y el parámetro ácido ascórbico. Se determinó que el tratamiento de pulpa sin pasteurizar, edulcorada, variedad “Roja” es decir T122-P, es el tratamiento que presenta la mayor media para el contenido de ácido ascórbico de todos tratamientos, con una media de 1,51 mg * g muestra⁻¹.

Figura 82.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Ácido ascórbico”.



Seguidamente, en la tabla 76 se observa el análisis de varianza para el parámetro “Carotenoides totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. En este caso, se presentó una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura evaluadas, mostrando que existe un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de carotenoides totales evaluado en cada uno de los tratamientos, con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 76.

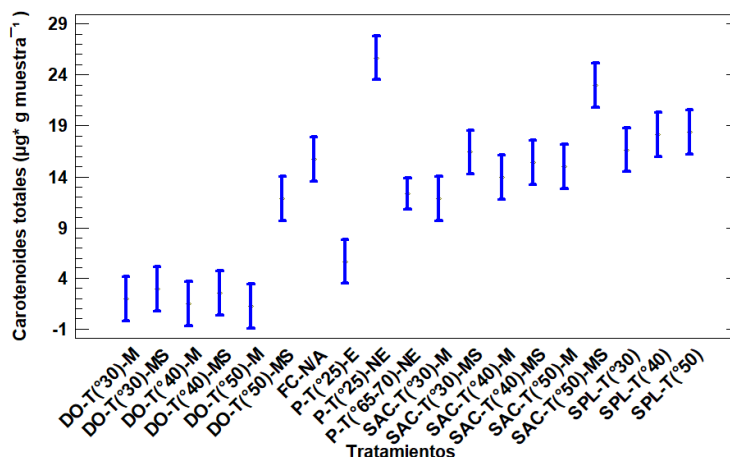
Análisis de varianza para el parámetro “Carotenoides totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Efectos principales					
A: Variedad	180,324	2	90,1622	10,19	0,0001
B: Tecnología y Temperatura	12025,1	18	668,058	75,51	0,0000
Interacciones					
AB	738,244	36	20,5068	2,32	0,0002
Residuos	1619,15	183	8,84783		
Total (Corregido)	14547,3	239			

Del mismo modo, los efectos principales “Variedad” y “Temperatura y Tecnología”, presentan diferencias estadísticamente significativas individualmente. Lo que indica que, entre las variedades de tomate de árbol se muestran diferencias estadísticamente significativas y que, además, dependiendo de la temperatura y tecnología del proceso, está variando el contenido de carotenoides totales presentes en el producto final.

Figura 83.

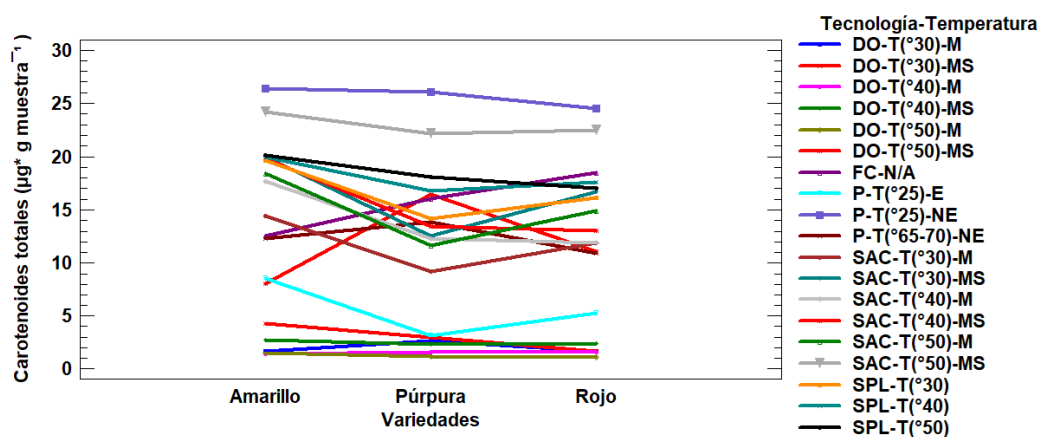
Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Carotenoides totales” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.



La figura 83 muestra la comparación de medias y Tukey HSD al 95%, para el contenido de carotenoides totales respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. Se deduce que la media más alta corresponde a la tecnología “Secado por aire caliente-SAC” con una temperatura de secado de 50°C.

Figura 84.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Carotenoides totales”.



Analizando la figura 84 se expone la interacción de los tratamientos evaluados y el contenido de carotenoides totales. El tratamiento de mesocarpio más endocarpio (MS), sometido a secado por aire caliente a 50 °C (SAC-T(°50)), variedad “Amarilla” es decir T231-SAC, es el tratamiento que presenta la mayor media para el contenido de carotenoides totales de todos tratamientos que conforman esta investigación, con una media de 24,20 $\mu\text{g} \cdot \text{g muestra}^{-1}$. Sin embargo, se resalta que en esta gráfica también se

encuentran otros dos tratamientos con un valor muy cercano. Se trata del tratamiento SAC-T(°50)-MS, variedad “Roja”, y SAC-T(°50)-MS, variedad “Púrpura”, equivalente a T232-SAC y T233-SAC con valores de media de $22,50 \mu\text{g} * \text{g muestra}^{-1}$ y de $22,15 \mu\text{g} * \text{g muestra}^{-1}$, respectivamente.

Tabla 77.

Análisis de varianza para el parámetro “Vitamina E” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Variedad	0,959614	2	0,479807	0,30	0,7398
B: Tecnología y Temperatura	2236,8	18	124,267	78,20	0,0000
Interacciones					
AB	71,4064	36	1,98351	1,25	0,1746
Residuos	290,806	183	1,58911		
Total (Corregido)	2600,38	239			

En la tabla 77 se indica el análisis de varianza para el parámetro “Vitamina E” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología. Se mostró una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de tomate árbol y la tecnología y temperatura evaluadas, lo que se convierte en la existencia de un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de vitamina E determinado en cada uno de los tratamientos, con un 95,0% de nivel de confianza.

Observando la figura 85, se comprobó que la media más alta corresponde a la tecnología tecnologías “Secado por aire caliente” con una temperatura de secado de 50°C.

Figura 85.

Comparación de medias y Tukey HSD 95%, para el parámetro “Vitamina E” respecto a la totalidad de los tratamientos evaluados por tecnología.

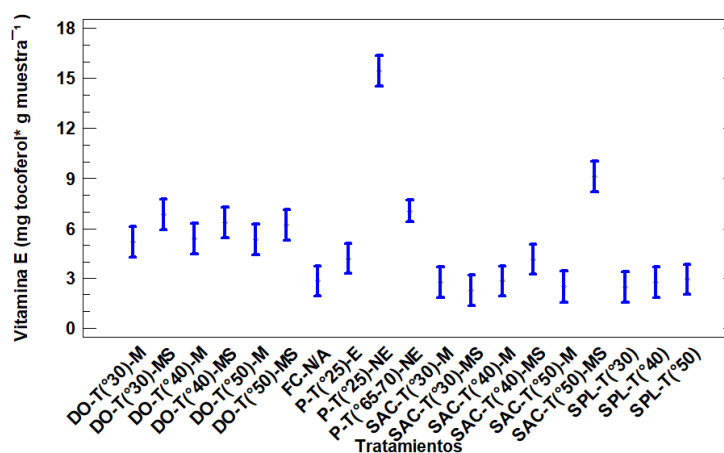
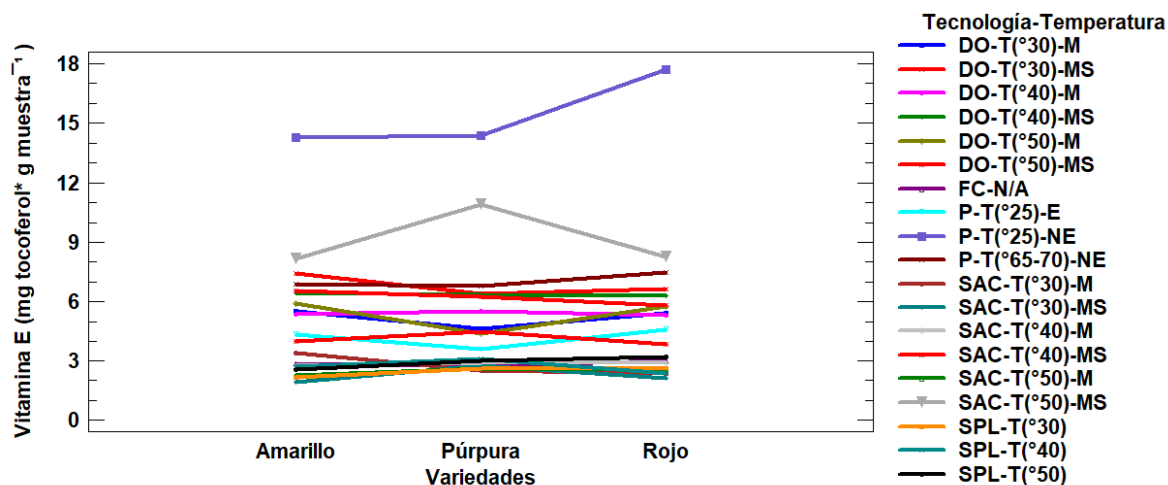


Figura 86.

Interacciones entre los tratamientos evaluados y el parámetro “Vitamina E”.



En la figura 86 se plasma la interacción de los tratamientos evaluados y la variable vitamina E. Se considera que el tratamiento de mesocarpio más endocarpio (MS), sometido a secado por aire caliente, con una temperatura de 50 °C (SAC-T(°50)), variedad “Púrpura” es decir T233-SAC, es el tratamiento que presenta la mayor media para el contenido vitamina E de todos tratamientos estudiados, con una media de 10,90 mg tocoferol * g muestra⁻¹. Igual que ocurrió en el compuesto bioactivo anterior, se resalta que en esta gráfica también se encuentran otros dos tratamientos con valores cercanos a la media más alta. Se trata del tratamiento SAC-T(°50)-MS, variedad “Roja”, y SAC-T(°50)-MS, variedad “Amarilla”, equivalente a T232-SAC y T231-SAC con valores de media de 8,26 mg tocoferol * g muestra⁻¹. y de 8,17 mg tocoferol * g muestra⁻¹, respectivamente.

Al realizar una comparación global del comportamiento de medias en los seis compuestos bioactivos estudiados en esta investigación, se encontró que el tratamiento SAC-T (°50)-MS, variedad Púrpura equivalente a T233-SAC, conformado por el mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, es el tratamiento que retiene la mayor cantidad de compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol procesado. De esta manera, se brinda respuesta al interrogante planteado en esta tesis doctoral.

Si bien T233-SAC no ocupa el primer lugar en todas las comparaciones de medias más altas, en la mayoría de ellas se encuentra dentro de los primeros cinco lugares con valores muy cercanos al primer lugar, mostrando su excelente capacidad de retención de los compuestos bioactivos y logrando este reconocimiento.

4. Conclusiones

Se encontró que la tecnología que retiene la mayor cantidad de compuestos bioactivos es la tecnología “Secado por aire caliente – SAC”, reteniendo los metabolitos polifenoles totales, capacidad antioxidante, antocianinas totales, carotenoides totales y vitamina E. En segundo lugar, se ubica la tecnología “Pulpas” reteniendo el ácido ascórbico.

Se comparó el comportamiento de los compuestos bioactivos en el procesamiento térmico del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) utilizando cinco técnicas diferentes. Esto conllevó a establecer que la tecnología de procesamiento térmico con mayor capacidad de retención de compuestos bioactivos corresponde a “Secado por aire caliente”, utilizando el mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad Púrpura sometido a este proceso, con una temperatura de secado de cincuenta grados Celsius.

Referencias

- Cuesta, L., Andrade, M. J., Moreno, C., y Concellón, A. (2013). Contenido de compuestos antioxidantes en tres estados de maduración de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) cultivado a diferentes alturas (m.s.n.m.). Enfoque UTE, 4(01), 32-49. https://www.scipedia.com/wd/images/3/35/Draft_Content_964255010-23-8482-document.pdf
- González, D. F., y Morales, J. E. (2022). Influencia del grado de madurez, altitud y portainjerto sobre los compuestos bioactivos y actividad antioxidante de tomate de árbol, ecotipo “anaranjado gigante” y “morado gigante” en dos temporadas de estudio. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26758>
- Herrera, F., Betancur, D., y Segura, M. R. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. Nutrición hospitalaria, 29(1), 10-20. DOI: <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.29.1.6990>
- Ibáñez, F. (2018). 4. Protocolo para la determinación de carotenoides en frutos nativos. https://www.researchgate.net/publication/332094222_421_Protocolo_para_la_determinacion_de_carotenoides_en_frutos_nativos
- Lara Rosas, C. E. (2016). Caracterización y microencapsulación de compuestos bioactivos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) variedad gigante anaranjado. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6159>
- Lorente, S. (2015). Efecto de la adición de goma arábiga en la actividad antioxidante y antiinflamatoria de extractos de acerola y kiwi liofilizados. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España, p. 41. <https://riunet.upv.es/handle/10251/55635>

- Magalhães L.M., Santos F., Segundo M.A., Reis S., Lima J. (2010). Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. *Talanta*; 83: 441–447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.042>
- Márquez, C., Otero, C., Rojano, B., y Osorio, J. (2014). Actividad antioxidante y concentración de Compuestos fenólicos del Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Temas agrarios*, 19(02), 173-184. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/732/848>.
- Martínez-Navarrete, N., Vidal, M. D. M. C., y Lahuerta, J. J. M. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad dietética*, 12(2), 64-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2)
- Moreno, E. (2014). Análisis nutricional y estudio de la actividad antioxidante de algunas frutas tropicales cultivadas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53992/Trabajo%20final-ELIZABETH%20MORENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ndisanze, M. A., y Koca, I. (2022). Dehydration and Rehydration Kinetics Modeling in the Phytochemical, Aroma, and Antioxidant Capacity of Tree Tomato Fruit Dried with Microwaves and Freeze Driers: A Comparative Study. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/pr10081437>.
- Pastrana, E. (2003). Characterization of selected phenolic compounds in Georgia-Grown Muscadine Grapes. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree. Athens, Georgia, p 122. https://getd.libs.uga.edu/pdfs/pastrana-bonilla_eduardo_200305_phd.pdf
- Pastrana, E. (2004). Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la *Vitis rotundifolia* michx. *Ingeniería y Región*, 3, p. 29-38. <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/855>
- Paulino, C., Kessler, A., Ochoa, M., y De Michelis, A. (2013). Compuestos bioactivos en frutas pequeñas de la Patagonia Argentina: Efecto del solvente de extracción en su determinación cuantitativa. *Revista ReCiTeIA*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=36QMMnJ9LMAC&oi=fnd&pg=PA8&dq=compuestos+bioactivos+en+frutas&ots=IfeHt1ydCO&sig=pFvgkAjo-wgWRhP6RQ4cpKIwglM#v=onepage&q=compuestos%20bioactivos%20en%20frutas&f=false>

- Repo de Carrasco, R., y 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. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s1810-634x2008000200004&script=sci_arttext
- Revelo, V. H. (2011). Evaluación de la calidad poscosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3918>
- Rojas, D. S., Repo de Carrasco, R., y Encina, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(2), 174-186. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a04v83n2.pdf>
- Tigeros, J. A. (2023). Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85235>
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendt. *Archivos latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. Vol. 62 N° 4, 2012, p. 381-388. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000400010
- Tovar, J. (2013). Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera. Trabajo de Grado. Facultad de Tecnología–Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, p. 133. <https://hdl.handle.net/11059/3636>

Capítulo 10

Identificación de algunos compuestos fitoquímicos presentes en Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometidos a procesamiento térmico, empleando espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, ATR-FTIR.

Resumen.

Se identificaron algunos compuestos fitoquímicos en productos sometidos a procesamiento térmico como: Pulpas (P), deshidratación osmótica (DO), Secado por aire caliente (SAC), Secado de pulpa en lámina (SPL) y fruta confitada (FC), de tres variedades de tomate de árbol clasificadas por color: Amarillo (T1), Rojo (T2) y Púrpura (T3), usando espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, FTIR. Se llevaron las muestras de forma sólida al aditamento de reflectancia total atenuada, ATR, usando un espectrómetro en un rango de infrarrojo medio de 650 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , generando los espectros y haciendo la comparación de manera descriptiva, con bases de datos científicas especializadas, para identificar los grupos funcionales presentes en el producto. En este estudio se encontró que en la totalidad de los tratamientos se identificaron con esta metodología ocho compuestos fitoquímicos presentes en el tomate de árbol: Ácido gamma-aminobutírico (GABA), Ácido rosmarínico, Antocianinas, Glucosa, Fructosa, Sacarosa, Agua y Pectina. Se destaca el tratamiento T12-SPL, que corresponde a pulpa de tomate de árbol, variedad Roja sometido a secado de pulpa en lámina a treinta grados Celsius, el cual presentó los mayores valores de absorbancia en la mayoría de los grupos funcionales estudiados.

Palabras clave: *Cyphomandra betacea* Sendt, ATR-FTIR, GABA y Ácido Rosmarínico.

1. Introducción.

Conforme a lo investigado por Cazar (2016) la técnica de espectroscopía es una valiosa herramienta para realizar el monitoreo de la calidad de las frutas y en general, con mucho potencial en la predicción de atributos de calidad en los alimentos. Dentro de las técnicas de espectroscopía se encuentra la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, FTIR, esta técnica tiene como fundamento el análisis de una muestra con un haz de infrarrojo, en donde los grupos funcionales absorben la radiación, vibrando de una manera reconocida que puede ser correlacionada con grupos químicos o bioquímicos (Saavedra-Charca et al., 2015).

Ellis et al. (2002); Ellis et al. (2005) y Walsh et al. (2007) coinciden en afirmar que pueden existir limitaciones en esta técnica, debido a que la absorción del agua es muy intensa, sin embargo, se puede solucionar esta situación, sometiendo a deshidratación la muestra para retirar el contenido de agua del producto o utilizando un método de muestreo llamado reflectancia total atenuada (ATR). Guzmán (2022) define la ATR como un método de muestreo que introduce la luz al interior de una muestra para obtener información estructural y de composición. Se usa bastante en espectroscopia FTIR debido a que permite analizar muestras sólidas y líquidas de forma ordenada, simplificando la medición de la mayoría de las sustancias.

Para café (*Coffea arabica*), Bahamón et al. (2018) evaluaron las mediciones de absorbancia utilizando una línea base de 1600 cm^{-1} a 1800 cm^{-1} por la técnica FTIR-ATR, para reconocer algunos compuestos presentes en muestras de café encapsulados, encontrando relación con algunos grupos funcionales representativos y parámetros fisicoquímicos en el café en polvo y las bebidas a base de café de Colombia. Barrera et al. (2019), caracterizaron diferentes muestras de café, para someterlas a análisis sensorial y espectroscopia FTIR, permitiendo encontrar diferenciación en los picos asociados a ácidos clorogénicos ($1600\text{ -}1650\text{ cm}^{-1}$), entre grano verde y tostado. Barrios-Rodríguez et al. (2021) evaluaron el efecto de cinco métodos de preparación, tres grados de tueste y tres variedades diferentes sobre los compuestos fisicoquímicos del café (*Coffea arabica*) antes y después de la preparación, utilizando información obtenida del espectro infrarrojo medio. Encontraron que algunas longitudes de onda están relacionadas con la presencia de cafeína, ácido clorogénico y trigonelina, que aportan características sensoriales a la bebida final.

En vinos, García-Hernández et al. (2020), a través del uso de espectroscopía ATR-FTIR encontraron que la intensidad de los picos de polifenoles tiene un comportamiento diferente, siendo superior en los vinos jóvenes comparado con los vinos reserva y gran reserva, contrastándose además con su contenido polifenólico el cual resultó ser mayor en los vinos jóvenes. Coelho et al. (2020) utilizaron la técnica para establecer la autenticidad en la adición exclusiva de pulpa y la cantidad de azúcar en néctares de durazno; se analizaron muestras de 23 marcas diferentes encontrando que se presentaron diferencias en la cantidad de azúcar presente, así como la presencia de pulpas de frutas diferentes al durazno.

Para algunas frutas y vegetales, Canteri et al. (2019) aplicaron espectroscopia infrarroja acoplada a análisis multivariados buscando evaluar los principales componentes de la pared celular de una diversidad de frutas y verduras pertenecientes a 29 especies de plantas. Encontraron algunas longitudes de onda que permitió la identificación de azúcares neutros totales, pectina, celulosa y lignina. Sin embargo, reconocieron que hubo limitaciones de los métodos de referencia para analizar los componentes de la pared celular. González-Cabrera et al. (2018) estudiaron los cambios bioquímicos ocurridos en aceitunas durante el proceso de maduración usando FTIR y quimiometría, encontrando que las características de cada espectro, atribuidas a los polifenoles y azúcares cambian durante el proceso de maduración. Por otra parte, Sachadyn-Król et al. (2023) utilizaron la espectroscopía FTIR acoplada a la quimiometría para determinar la composición química de las fresas y las frambuesas, reconociendo algunos grupos funcionales y revelando que la técnica posee potencial por ser rápida, fácil de utilizar y de comprender las diferencias espectrales presentadas entre diferentes variedades de fresa y frambuesa.

A pesar de la existencia de la identificación de algunos grupos funcionales presentes en frutas, no se han identificado estos compuestos para tomate de árbol en estado fresco o transformado usando esta técnica. En ese sentido, el objetivo de esta investigación fue emplear la espectroscopía ATR-FTIR para la identificación de algunos compuestos

fitoquímicos presentes en Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometidos a procesamiento térmico. Esta información permitirá contribuir a la generación de nuevos conocimientos respecto a la utilización de este tipo de técnicas para el control de calidad en productos elaborados a partir de esta fruta y corroborar la presencia de dichos compuestos en el alimento final.

2. Metodología.

2.1 Preparación de las muestras.

Cada muestra deshidratada se sometió a proceso de molienda fina utilizando un molino eléctrico para muestras pequeñas, marca Hamilton Beach. Se empacaron en bolsas de plástico cierre hermético, cada una identificada con su respectivo tratamiento.

2.2 Análisis ATR-FTIR.

Los espectros se realizaron a los tratamientos planteados, estos estaban en forma sólida para posteriormente llevarse en el aditamento ATR (Reflectancia total atenuada) del espectrómetro Infrarrojo de Transformada de Fourier FTIR Agilent Cary 630, en el rango de infrarrojo medio de 650 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} . Se realizó teniendo en cuenta parámetros como el número de barridos de la muestra 8, número de muestras de fondo 8, resolución 4. El procesamiento e interpretación de los espectros se realizó usando el software MicroLab PC, siguiendo la metodología realizada por Bahamón et al. (2018).

Una vez realizado el análisis por FTIR a todos los tratamientos, se realizó una revisión bibliográfica teniendo en cuenta el producto a investigar, en este caso tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt). Posteriormente se identificaron según los grupos funcionales, algunos compuestos químicos, disponibles en tablas de espectroscopía para apreciar las absorciones IR y en bases de datos de identificación de los gráficos generados en el análisis ATR-FTIR, entre ellas Recursos Educativos de Química Orgánica (QUIORED), de la Universidad de Granada, (2024) y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología NIST, (2024). El tipo de análisis realizado en esta investigación es descriptivo y de carácter exploratorio.

3. Resultados

En la tabla 78 se muestra un consolidado de los picos de absorbancia primaria para algunos compuestos presentes en frutos de tomate de árbol y que, con ayuda de las bases de datos, se pudieron identificar.

El primer compuesto de interés en esta investigación y que se encuentra documentado es el Ácido gamma-aminobutírico (GABA). Este tiene características de absorción en C-C entre 922 cm^{-1} y 928 cm^{-1} ; C-O entre 1004 cm^{-1} y 1100 cm^{-1} ; O-H entre 1220 cm^{-1} a 1228 cm^{-1} , y 3000 cm^{-1} a 3600 cm^{-1} ; COO entre 1570 cm^{-1} y 1580 cm^{-1} ; CH entre 2850 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} ; y C-OH de 1061 cm^{-1} (Santos et al., 2024)

Del mismo modo, según (Pabón, 2016), indica que el ácido rosmarínico es uno de los responsables del sabor amargo del tomate de árbol, puesto que se encuentra en una

concentración por encima de su valor umbral de sabor, por eso, al analizar el espectro para cada tratamiento, se muestra una banda de absorción amplia (ancha) en el grupo OH de 3181 cm^{-1} ; además de otras bandas C=O de ácido carboxílico con doble enlace de 1683 cm^{-1} ; anillo aromático, este tiene una menor absorbancia y se evidencia entre 1481 cm^{-1} y 1514 cm^{-1} ; y el estiramiento C-O-C entre 1350 cm^{-1} y 1410 cm^{-1} (Tawfeeq et al., 2018).

Tabla 78.

Picos de absorbancia primaria para algunos compuestos presentes en frutos de tomate de árbol.

Longitud de onda (cm^{-1})	Modelo vibracional	Asignación bioquímica	Referencias
3000-3600	v(OH)	Ácido gamma-aminobutírico (GABA)	Santos et al. (2024)
1220-1228			
2850-3000	v(CH)		
1570-1580	vS (COO)		
1061	v(C-OH)		
1004-1100	v(C-O)		
922-928	v(C-C)	Ácido rosmarínico	Tawfeeq et al. (2018)
3181	v(O-H)		
1683	v (C=O)		
1481-1514	v (Anillo aromático)		
1350-1410	v(C-O-C)		
3200-3500	v(O-H)	Antocianinas	Pavia et al. (2008) obtenido de Condori et al. (2018)
1615-1640	v(C=O)		
1246-1404	(Compuestos aromáticos)		
1054	ρ (C-O) v(C-OH)	Fructosa	(CIATEJ, 2020)
1028	v(C-O) v(C-C) ρ (C-OH)	Glucosa	(CIATEJ, 2020)
1047	v(C-C)	Sacarosa	(CIATEJ, 2020)
991	vS(C-O-C)		
3350	v(O-H)	Agua	(CIATEJ, 2020)
1645	v(H-O-H)		
3100	v(O-H)	Pectina	Hernández et al. (2017)
2930	vAS (CH ₂)		
1581-1712	vS (Carboxilo esterificado)		

v: Extensión, ρ : Flexión, S: Simétrico, AS: Asimétrico

Con respecto a las antocianinas hay vibraciones de C=O entre 1615 cm^{-1} y 1640 cm^{-1} ; compuestos aromáticos entre 1246 cm^{-1} y 1404 cm^{-1} ; y OH quelatados entre 3200 cm^{-1} y 3500 cm^{-1} (Pavia et al., 2008 obtenido de Condori et al., 2018).

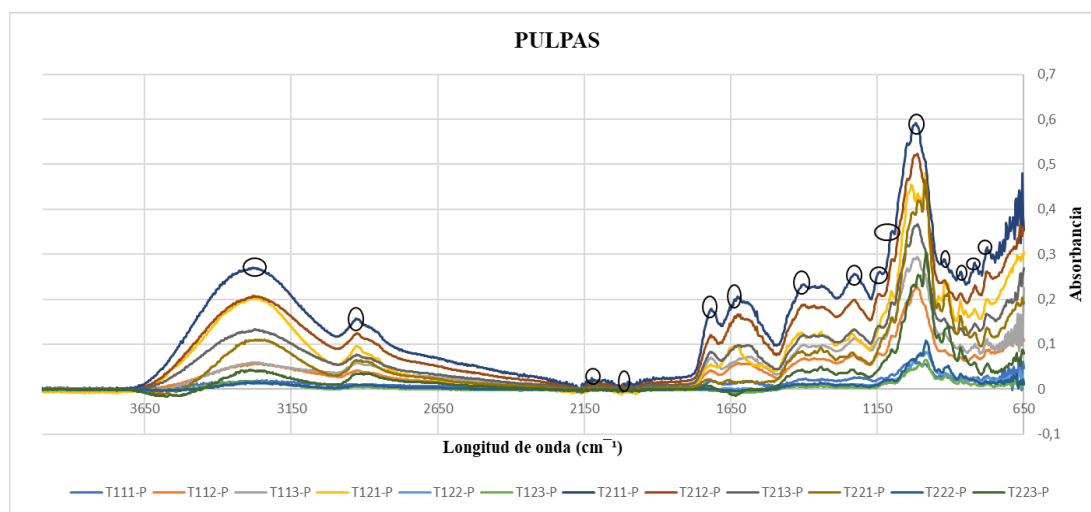
Debido a que este análisis se está realizando a tecnologías aplicadas al tomate de árbol, se corrobora la presencia de azúcares y agua. No obstante, como se implementaron tratamientos como deshidratación osmótica, fruta confitada y pulpas, que en algunos casos fue añadido sacarosa, hace que la visualización de estos compuesto químicos sean más notorios y que se tenga más picos seguidos cerca a la longitud de onda específica; Calle y Cabrera, (2017) mencionan que en el campo de la espectroscopía de infrarrojo los carbohidratos presentan una característica muy particular y es que en las mayorías de veces aparece un pico intenso (o dos, algunas veces), el cual se encuentra ubicado entre 900 cm^{-1} y 1200 cm^{-1} . Específicamente para la fructosa en 1054 cm^{-1} (C-O flexión y C-O-H estiramiento), en la glucosa 1028 cm^{-1} (C-O y C-C, estiramiento y C-O-H, flexión), y la sacarosa presenta dos picos, en 991 cm^{-1} (C-O-C, enlace glicosídico) y 1047 cm^{-1} (C-O, estiramiento); así como para el agua, hay dos picos notables, uno alrededor de los 1645 cm^{-1} (H-O-H) y otro pico muy intenso y ancho ubicado alrededor de los 3350 cm^{-1} (OH) (CIATEJ, 2020).

Por último, para la pectina el espectro del grupo de carboxilos libres y esterificados, se ubican entre 1581 cm^{-1} y 1712 cm^{-1} , en esta sucede de igual manera la banda ancha en el grupo OH alrededor de los 3100 cm^{-1} ; y la tensión del C-H de los grupos CH₂ en 2930 cm^{-1} (Hernández et al., 2017).

Posterior a la identificación de algunos compuestos químicos, en las siguientes figuras se evidencia que en varias tecnologías coinciden en el mismo rango de la longitud de onda según los grupos funcionales, sin embargo, se observa que existe diferencias en la absorbancia de cada una, a continuación, se detalla y se establece el tratamiento que tiene mayor absorbancia para los diversos grupos funcionales.

Figura 87.

ATR-FTIR para tratamientos pulpas de tomate de árbol.

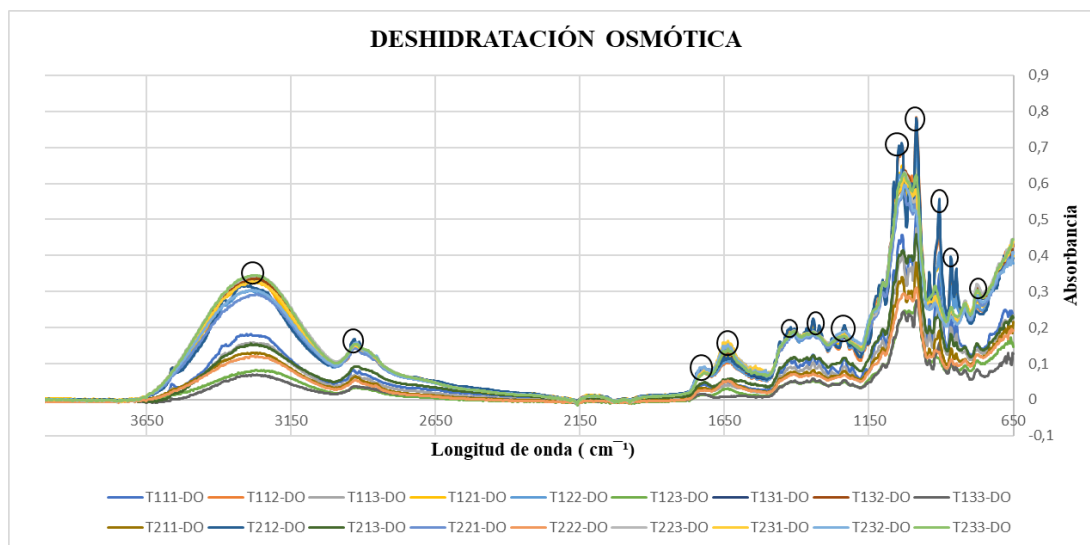


En la figura 87, correspondiente a los tratamientos de pulpas, la absorbancia máxima está en 0,59 para la longitud de 1019 cm^{-1} , y de ese modo, haciendo que el tratamiento T211-P, que corresponde a pulpa de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, pasteurizada y no edulcorada, sea el que presente mayor absorbancia para cada grupo funcional.

Por otra parte, en la figura 88 se puede resaltar que existe varias diferencias entre los tratamientos, no obstante, esta tecnología tiene una máxima absorbancia en 0,78 y uno de los tratamientos con mayor absorbancia es T131-DO, equivalente a mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, sometido a osmodeshidratación a una temperatura de 50 °C, que, de acuerdo a lo relacionado en la tabla 77, este pico con mayor absorbancia se debe a que en esta tecnología hay mayor presencia de carbohidratos (Glucosa, Fructosa y Sacarosa).

Figura 88.

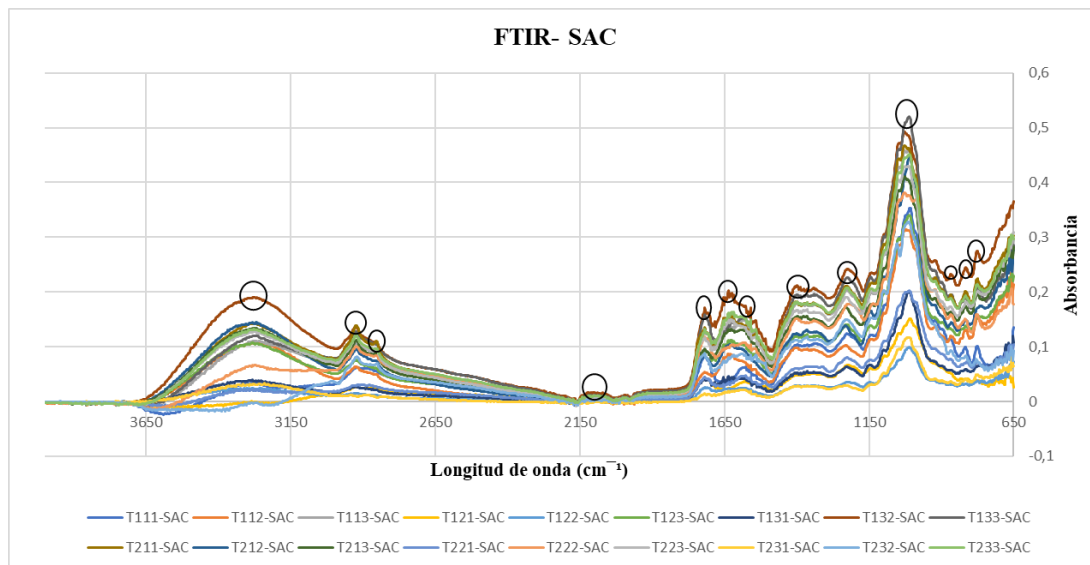
ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a deshidratación osmótica.



En la figura 89 se observa que, para los tratamientos sometidos a secado por aire caliente, su comportamiento respecto a la absorbancia a las diferentes longitudes de onda presenta el pico más alto que va hasta 0,52. Así mismo, el tratamiento que tiene mayor absorbancia con respecto a los diferentes grupos funcionales es el tratamiento T132-SAC, es decir, mesocarpio de tomate de árbol, variedad “Roja”, sometido a secado por aire caliente a 50 °C, mientras que el menor es, T231-SAC, equivalente mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Amarilla”, sometido a secado por aire caliente a 50 °C.

Figura 89.

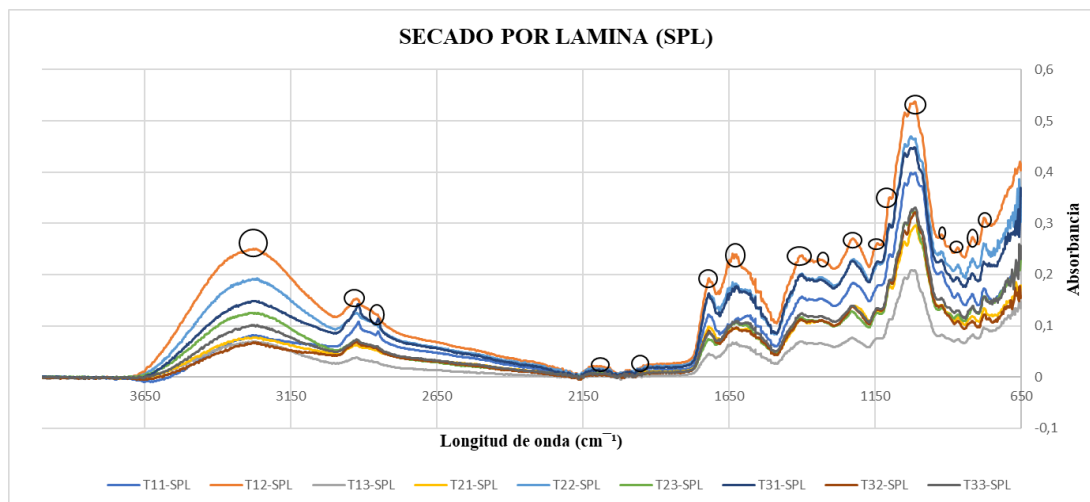
ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a secado con aire caliente.



Para el secado por lamina (SPL), al igual que las otras tecnologías comparten los mismos grupos funcionales y a su vez, los mismos compuestos químicos, sin embargo, en este se ve que la máxima absorbancia está alrededor de 0,53, infiriendo que el tratamiento en el que se destacan más los grupos funcionales es el tratamiento T12-SPL, correspondiente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Roja” sometida a secado en lámina con una temperatura de 30 °C, como se aprecia en la figura 90.

Figura 90.

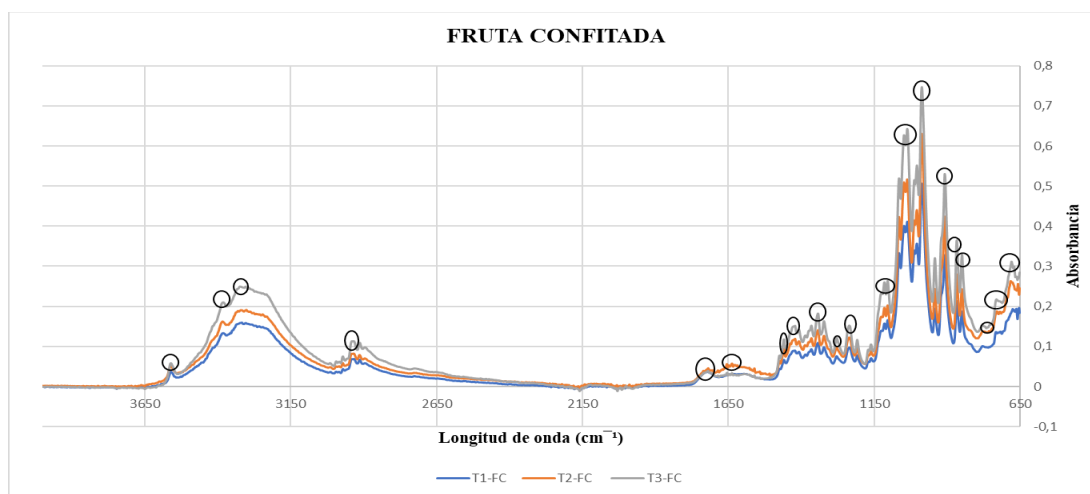
ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol sometido a secado de pulpa en lámina.



En el caso de los tratamientos que se observan en la figura 91 correspondientes a tomate de árbol confitado, al tener menos tratamientos fue más viable identificar que el tratamiento que tiene mayor absorbancia a las diferentes longitudes de onda es T3-FC, es decir tomate de árbol, variedad “Púrpura”, con mayor valor en el eje Y, el cual está alrededor de 0,74.

Figura 91.

ATR-FTIR para tratamientos de tomate de árbol confitados.

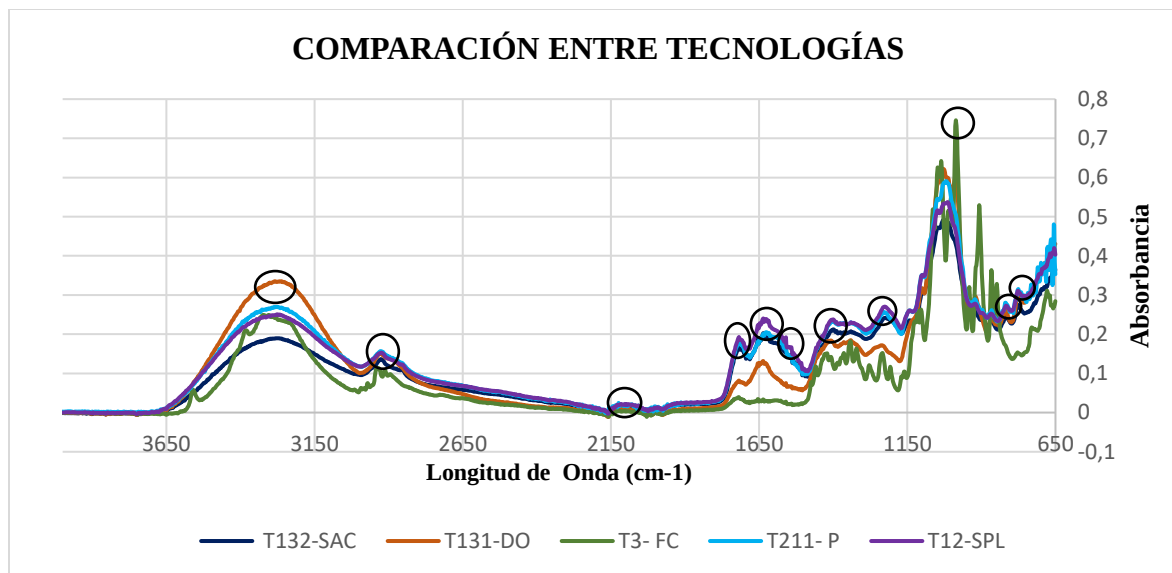


Una vez identificados los tratamientos con mayor absorbancia en las longitudes de onda con los grupos funcionales de los compuestos químicos de interés, se evidencia que para la tecnología SAC, el tratamiento que presenta la mayor magnitud de absorbancia es el T132, para DO el T131, para FC el T3, para P el T211 y finalmente, para SPL T12. En la figura 92 se muestra una comparación de los tratamientos que mostraron mejor comportamiento utilizando el análisis ATR.FTIR en esta investigación:

Las cinco tecnologías presentan, cada una, un comportamiento diferenciado respecto a las expresiones de las absorbancias de los diferentes compuestos analizados. Esto se debe a que cada una de ellas puede tener la mayor absorbancia en algunos grupos funcionales y en otros no, por lo que se no presenta una única tecnología en la que la absorbancia sea la mayor para todos los grupos funcionales encontrados. Por ejemplo, en los carbohidratos y el agua se observa que sus grupos funcionales presentan la mayor absorbancia en algunas tecnologías, mientras que en otras sus absorbancias son menores.

Figura 92.

ATR-FTIR Comparación para tratamientos de tomate de árbol en las diferentes tecnologías.



El tratamiento que presenta los valores mayores de absorbancia en la mayoría de los grupos funcionales corresponde a la tecnología “Secado de pulpa en lámina, SPL” con su tratamiento T12. En ese orden de ideas, el tratamiento en el cual se identifican las mayores absorbancias, en varios rangos de longitud de onda, para la mayoría de los grupos funcionales es T12-SPL, correspondiente a pulpa de tomate de árbol, variedad “Roja” sometida a secado por lámina a una temperatura de 30 °C.

4. Conclusiones

Se empleó la espectroscopia ATR-FTIR para la identificación de algunos compuestos fitoquímicos presentes en tomate de árbol sometido a procesamiento térmico, logrando identificar la presencia de compuestos de interés nutricional, especialmente el Ácido gamma aminobutírico, Ácido rosmarínico y las antocianinas totales.

En la totalidad de los tratamientos se identificaron ocho compuestos fitoquímicos presentes en el tomate de árbol. Sin embargo, se destacó el tratamiento T12-SPL, equivalente a pulpa de tomate de árbol, variedad roja sometido a secado de pulpa en lámina a treinta grados Celsius, el cual presentó los mayores valores de absorbancia en la mayoría de los grupos funcionales estudiados.

Referencias

Bahamón-Monje, A.F., Parrado, L. X., y Gutiérrez-Guzmán, N. (2018). ATR-FTIR for discrimination of espresso and americano Coffee pods. URI:

<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1499>,
<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11126>

- Barrera B., Ó.M.; Gutiérrez G., N. y Orozco-Blanco, D. (2019). Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 22(1): e1158. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158>
- Barrios-Rodríguez, Y. F., Córdoba, G. A., Bahamón-Monje, A. F., y Gutiérrez-Guzmán, N. (2021). Effect of roast degree, preparation method, and variety in the sensory and chemical characteristics of coffee (*Coffea arabica*): A mid-infrared spectrum analysis. DOI: <https://doi.org/10.25186/v16i.1964>
- Calle, T. A., y Cabrera, M. E. (2017). “Cuantificación de glucosa, fructosa y sacarosa en muestras de pulpa y jugo de uvilla (*Physallis peruviana*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y manzana (*Pyrus malus*) por espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)”. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27129/1/Trabajo%20de%20Titulaci%3b3n.pdf>
- Canteri, M. H., Renard, C. M., Le Bourvellec, C., y Bureau, S. (2019). ATR-FTIR spectroscopy to determine cell wall composition: Application on a large diversity of fruits and vegetables. *Carbohydrate Polymers*, 212, 186-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.021>
- Cazar, I. M. (2016). Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/20896>
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., CIATEJ. (2020). Capítulo 7. La espectroscopia FTIR-ATR aplicada al análisis de alimentos y bebidas. En C. d. Estado, Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas (Primera ed., págs. 83-115). Jalisco, México.
https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f89fd7801268.pdf
- Coelho, M. T., Valério, F. A., Pedro, S. I., y Dos Anjos, O. M. S. (2020). Application of FTIR-ATR to discriminate peach nectars with higher and lower sugar contents. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2018194. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.19418>
- Condori, M. B., Aro, J. M., Meléndez, V. J., y Cutipa, R. C. (2018). Antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del mio – mio (*Coriaria ruscifolia* L.). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(04).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000400005#fig03

Ellis D.I., Broadhurst, D., Kell, D.B.; Rowland, J.J., y Goodacre, R. (2002). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of meat by Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(6): 2822-2828. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.68.6.2822-2828.2002>

Ellis, D.I., Broadhurst, D., Clarke, S.J., y Goodacre, R. (2005). Rapid identification of closely related muscle foods by vibrational spectroscopy and machine learning. *Analyst* 130(12):1648-1654. DOI: <https://doi.org/10.1039/B511484E>

García-Hernandez, C., Salvo-Comino, C., Martin-Pedrosa, F., Garcia-Cabazon, C., y Rodriguez-Mendez, M. L. (2020). Analysis of red wines using an electronic tongue and infrared spectroscopy. Correlations with phenolic content and color parameters. *Lwt*, 118, 108785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108785>

González-Cabrera, M., Domínguez-Vidal, A., y Ayora-Cañada, M. J. (2018). Hyperspectral FTIR imaging of olive fruit for understanding ripening processes. *Postharvest biology and technology*, 145, 74-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.06.008>

[Guzmán, V.M. \(2022\). Procesabilidad y caracterización de mezclas de Poli \(Ácido láctico\) y almidón de papa compatibilizadas vía extrusión. https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/91116/1/MCUCEI10403FT.pdf](https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/91116/1/MCUCEI10403FT.pdf)

Hernández, C. C., Quintero, M. E., Hernández, D. R., y Zafra, L. M. (2017). Hidrólisis ácida del bagazo de aloe vera (sábila) para la obtención de pectina. *Centro Azúcar*, 44(02). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200003

Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. (2024). Libro de Química en Web. Recuperado el 30 de mayo de 2024. Disponible en <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C56122&Mask=80#IR-Spec>.

Pabón, L. J. (2016). Estudio de los compuestos bioactivos responsables del sabor de tomate de árbol Var. Amarilla (*Solanum betaceum* Cav.). Universidad Nacional de Colombia, Química, Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/58622/laurajulianaprietopabon.2016.pdf?sequence=1>

- Saavedra-Charca, W., Vásquez-Villalobos, V., y Rojas-Padilla, C. (2015). Técnicas analíticas empleadas en metabolómica de alimentos. *Agroindustrial Science*, 5(2), 191-210. DOI: <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.11>
- Sachadyn-Król, M., Budziak-Wieczorek, I., y Jackowska, I. (2023). The Visibility of Changes in the Antioxidant Compound Profiles of Strawberry and Raspberry Fruits Subjected to Different Storage Conditions Using ATR-FTIR and Chemometrics. *Antioxidants*, 12(9), 1719. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12091719>
- Santos, I., Yee, M., Tatumi, S. H., Goncalves, V., Furnaleto, L., Pantoroto, S., y Coronato, L. (2024). GABA functionalized gold, silver, and copper nanoparticles: Synthesis, characterization and potential applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105386>
- Tawfeeq, A.A., Mahdi, M.F., Abaas, I.S., y Alwan, A.H. (2018). Isolation, quantification and Identification of rosmarinic acid, gas Chromatography-Mass spectrometry analysis of essential oil, cytotoxic Effect, and antimicrobial investigation of *Rosmarinus officinalis* leaves. *Asian Journal of Pharmaceutical and clinical Research*, 11(06). https://www.researchgate.net/publication/325647221_Isolation_quantification_and_identification_of_rosmarinic_acid_gas_chromatography-mass_spectrometry_analysis_of_essential_oil_cytotoxic_effect_and_antimicrobial_investigation_of_rosmarinus_officinalis?_tp
- Universidad de Granada. (2024). Recursos educativos de Química orgánica, Tablas de espectroscopia. Recuperado el 30 de mayo de 2024. Disponible en https://www.ugr.es/~quiorred/lab/tablas_espec/ir.htm
- Walsh M.J., Singh, M.N., y Pollock H.M. (2007). ATR microspectroscopy with multivariate analysis segregates grades of exfoliative cervical cytology. *Biochim. Biophys. Res. Commun* 352(1): 213-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.11.005>

Discusión general

A continuación, en la tabla 79 se presenta un resumen con los resultados de cada variable evaluada en los diferentes tipos de análisis desarrollados en esta investigación, en donde T233-SAC resultó ser el tratamiento que retiene mayormente los compuestos bioactivos estudiados. Se trata del tratamiento conformado por mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a secado por aire caliente con una temperatura de 50 °C.

En lo relacionado a la morfología del fruto y sus componentes se encontró que los frutos de variedad Púrpura poseen una forma redondeada, con un peso promedio es de 130,69 g y un diámetro de 58,11 mm. El número promedio de semillas es de 387, posee un arilo de color púrpura intenso característico y un porcentaje de 76,51% de parte comestible aprovechable para el procesamiento.

En el análisis proximal de T233-SAC se estableció que hubo un incremento en el porcentaje de proteínas respecto a su tratamiento testigo T113-P pasando de un valor de 6,95% a 9,76%. Ocurrió lo mismo con los parámetros porcentaje de lípidos, cenizas, carbohidratos y calorías. En cuanto a dos variables fundamentales para la prolongación de la vida útil, T233-SAC logró un contenido de humedad en base seca de 5,93% (%Hbh: 5,60%) y actividad de agua de 0,542, indicando que es un producto estable y con poco riesgo de proliferación de agentes patógenos. El tiempo de secado para este tratamiento fue de 15 horas.

Seguidamente, se revisó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en T233-SAC. Se encontró que de manera individual todas las coordenadas de color L, a*, b*, h y C* sufren una disminución en sus valores respecto al tratamiento testigo T113-P y, en coherencia con ello, el cambio de color (ΔE) tiene un valor de 68,20. En cuanto al pH mantiene el mismo valor durante todo el proceso, pero en las variables de acidez titulable y sólidos solubles totales existe un incremento considerable en sus valores respecto al tratamiento testigo. La relación de madurez se incrementó levemente pasando de 5,1 en T113-P a 6,00 en T233-SAC.

En lo relacionado al análisis sensorial, la calificación promedio para el factor de calidad “Color de la pulpa” fue 4,38 lo que indica que los jueces consideraron que las muestras de este tratamiento estaban ligeramente oscuras y sin color homogéneo característico. En el factor “Aroma y sabor” la calificación promedio fue 4,25, interpretando que los jueces no detectaron un sabor característico a tomate árbol, con buen balance ácido dulce y en vez de ello, se presentaron los sabores amargos, metálicos residuales. En el factor “Textura” la calificación fue de 2,63 considerada como seca, tendiendo a ser áspera y rejudá. En la calificación total obtuvo una puntuación de 11,25 sobre 20,00 posibles, siendo de las tecnologías con bajas calificaciones.

Por último, en el contenido de los compuestos bioactivos se presentó una disminución en todos los casos respecto al tratamiento testigo T113-P. Sin embargo, tuvo una excelente retención en los compuestos polifenoles totales, capacidad antioxidante, antocianinas totales y vitamina E, siendo el tratamiento que retiene la mayor cantidad de estos compuestos en toda la investigación. Para los carotenoides totales T233-SAC ocupó el tercer lugar de todos los sesenta tratamientos evaluados, siendo levemente superado solamente por T231-SAC y T232-SAC. Ocurrió lo contrario con el ácido ascórbico, en donde se apreció una reducción

considerable, reteniendo un valor de $0,20 \text{ mg}^* \text{ g muestra}^{-1}$, por efecto de la aplicación de temperatura de 50°C .

Tabla 79.

Caracterización del Tratamiento T233-SAC

T233-SAC: Púrpura, SAC-T (50°)-MS				
Tipo de análisis	Parámetro	Unidades	Valor	
Análisis Proximal	Proteínas	%	9,76	
	Lípidos	%	1,80	
	Carbohidratos	%	74,79	
	Aw	N/A	0,542	
	Hbs	%	5,93	
	Cenizas	%	7,72	
	Calorías	$\text{kcal}^*(100\text{g})^{-1}$	354,40	
Análisis Fisicoquímicos	L	N/A o %	28,00	
	a*	N/A	12,20	
	b*	N/A	1,50	
	h	N/A	0,10	
	C*	N/A	12,30	
	ΔE	N/A	68,20	
	pH	N/A	4,20	
	Acidez Titulable	%	3,90	
	SST	$^\circ \text{Brix}$	23,10	
	Rm	N/A	6,00	
Análisis Sensorial	Color pulpa	N/A	4,38	
	Aroma y Sabor	N/A	4,25	
	Textura	N/A	2,63	
	Puntaje total obtenido	N/A	11,25	
Compuestos bioactivos	Polifenoles totales	$\text{mg ácido gálico}^* \text{ g muestra}^{-1}$	13,50	
	Capacidad antioxidante	$\text{mg trolox}^* \text{ g muestra}^{-1}$	81,67	
	Antocianinas totales	$\text{mg}^* \text{ g muestra}^{-1}$	0,24	
	Ácido Ascórbico	$\text{mg}^* \text{ g muestra}^{-1}$	0,20	
	Carotenoides totales	$\mu\text{g}^* \text{ g muestra}^{-1}$	22,15	
	Vitamina E	$\text{mg tocoferol}^* \text{ g muestra}^{-1}$	10,90	

Conclusiones generales

Se determinaron algunos compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presentes en la parte comestible de tomate de árbol en variedades “Amarilla”, “Roja” y “Púrpura”, que se cultivan en Colombia, tanto en pulpa fresca como en los productos sometidos a procesamiento térmico, encontrándose que el proceso térmico que retiene la mayor cantidad de compuestos estudiados es la tecnología “Secado por aire caliente”.

Las temperaturas de procesamiento aplicadas a los tratamientos estudiados en esta investigación ejercieron un efecto sobre los contenidos de los parámetros fisicoquímicos evaluados. En los parámetros relacionados a coordenadas de color L, a*, b*, hue, C* y ΔE se generó un efecto de reducción de contenidos respecto a los tratamientos testigo.

El porcentaje de acidez titulable y el contenido de sólidos solubles totales presentaron un incremento en sus valores, con altos contenidos en la mayoría de las tecnologías evaluadas. El pH presentó un comportamiento estable, en la mayoría de los procesos, siempre conservando valores similares a los de sus tratamientos testigo.

Las calificaciones realizadas por los jueces sensoriales permitieron establecer que la tecnología “Secado de pulpa en lámina” es la mejor calificada, seguida de las tecnologías “Deshidratación osmótica” y “Pulpas”. La tecnología “Secado de pulpa en lámina” presentó la mayor media o estuvo entre las más altas medias para los factores de calidad “color de la pulpa”, “aroma y sabor” y “puntuación total”, encontrando que específicamente el tratamiento T23-SPL, correspondiente a “pulpa, sometida a secado en lámina a 40 °C, variedad Púrpura” es el mejor calificado en esta investigación.

Se estudió el comportamiento de las curvas de secado en tomate árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) sometidos a la aplicación de cuatro técnicas de procesamiento térmico. La temperatura de cincuenta grados Celsius ejerció una influencia sobre los tratamientos que se reflejó en los valores de sus variables de respuesta, especialmente para las tecnologías deshidratación osmótica, secado por aire caliente y secado de pulpa en lámina.

La técnica de procesamiento térmico con mayor capacidad de retención de compuestos bioactivos corresponde a T233-SAC, “Secado por aire caliente”, utilizando el mesocarpio más endocarpio de tomate de árbol, variedad “Púrpura”, sometido a este proceso con una temperatura de secado de cincuenta grados Celsius.

Se empleó la espectroscopia ATR-FTIR para la identificación de algunos compuestos fitoquímicos presentes en tomate de árbol sometido a procesamiento térmico, logrando identificar la presencia compuestos de interés en la investigación, especialmente el Ácido gamma aminobutírico, Ácido rosmarínico y Antocianinas totales.

Se propuso la caracterización de algunos parámetros morfológicos, estructurales y de madurez para las tres variedades de *Cyphomandra betacea* Sendt más comercializadas

en Colombia, haciendo una adaptación de la normatividad vigente en Colombia y su relación con los índices de madurez, los cuales presentaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, especialmente en las coordenadas de color, porcentaje de pulpa, número de semillas, peso, contenido de azúcares, contenido de humedad en base húmeda y firmeza.

Se determinó el análisis proximal en productos procesados de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), encontrando que las temperaturas y tecnologías aplicadas a cada uno de los tratamientos, influyen sobre la mayoría de las variables de respuesta. Debido a ello, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de proteínas, lípidos, carbohidratos, actividad de agua, contenido de humedad en base seca, cenizas y calorías de cada tratamiento.

Anexo A. Cumplimiento de los resultados esperados.

- Fortalecimiento de la comunidad científica

Dentro de los impactos en el fortalecimiento de la comunidad científica generados con la Tesis Doctoral se destaca la dirección de tres (3) trabajos de grado de estudiantes del Programa Ingeniería agroindustrial, Facultad de Ingeniería en la Sede Central, Neiva, de la Universidad Surcolombiana. Los jurados evaluadores sugirieron al honorable Consejo de Facultad, hacer el trámite respectivo para otorgar el reconocimiento “Meritorio”, dada la calidad académica e investigativa de los tres documentos finales. En la figura 93 se aprecia la certificación expedida por el Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana:

Figura 93.

Constancia de calificación “Meritoria” a tres trabajos de grado dirigidos, expedido por el Decano de la Facultad de Ingeniería.



UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA
NT 89100004-2



ASOCIACIÓN NACIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS
UNIVERSIDADES Y COLEGIOS DE COLOMBIA



CONSTRUYAMOS
UNIVERSIDAD
TODOS LO DEMOSTRANOS - EL BUEN VIVIR

EL SUSCRITO DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

HACE CONSTAR QUE:

Los trabajos de grado dirigidos por la docente tiempo completo de planta del programa de Ingeniería Agroindustrial, **JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO** identificada con cédula de ciudadanía número 1.075.212.450 de Neiva, obtuvieron calificación meritoria según los acuerdos mencionados a continuación.

TITULO TRABAJO DE GRADO	ESTUDIANTE	ACUERDO
Estudio de la factibilidad de la elaboración y producción de kombucha de cholupa (<i>Passiflora maliformis</i> L.) en Neiva, Huila.	Claudia Camila Córdoba Cadena Yoliana Andrea Fiesco Cerquera	Acuerdo N° 109 de 2023 del Consejo del Facultad de Ingeniería
Diseño y formulación de dos tipos de salsas a base de tomate de árbol (<i>Cyphomandra belfaceum</i>) en la ciudad de Neiva, Huila.	Maria Jose Forero Sánchez Stiven Falla Useche	Acuerdo N°110 de 2023 del Consejo del Facultad de Ingeniería
Formulación, desarrollo y caracterización fisicoquímica de gomas funcionales con ingredientes de interés nutricional.	Lina Katherine Vargas Pedraza Maria Alejandra Pinzón Cruz	Acuerdo N° 108 de 2023 del Consejo del Facultad de Ingeniería

Dada en Neiva, a los catorce (14) días del mes de agosto de 2023.



ROMULO MEDINA COLLAZOS
Decano Facultad de Ingeniería

☎ Sede Central / Av. Pástorza Romero - Cra. 1
☎ Sede Administrativa / Cra. 5 No. 23 - 40
🌐 www.usc.co / Neiva - Huila

☎ PEX 875 4753
☎ PEX 875 3696
☎ Línea Gratuita Nacional 01 8000 968722



Así mismo en las figuras 94, 95, 96, 97, 98 y 99, se muestran los reconocimientos otorgados por la participación en ponencias. Se participó con la presentación de tres trabajos en modalidad oral y tres trabajos en modalidad cartel en el “IX Congreso Internacional de Ingeniería agroindustrial, México 2023”, realizado en la Universidad Autónoma de Chapingo:

Figura 94.

Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Falla-Useche et al. (2023).



Figura 95.

Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Forero et al. (2023).



Figura 96.

Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Córdoba et al. (2023).



Figura 97.

Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Fiesco et al. (2023).



Figura 98.

Reconocimiento a ponencia modalidad cartel, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Pinzón et al. (2023).



Figura 99.

Reconocimiento a ponencia modalidad comunicación oral, expedido por el presidente del IX CIIA, Chapingo 2023. Autores: Vargas et al. (2023).



Por último, en la figura 100 se anexa evidencia de la participación en un Seminario Público organizado y realizado por el Doctorado en agroindustria y Desarrollo agrícola sostenible para socializar los avances en las investigaciones de Tesis Doctoral.

Figura 100.

Certificado ponencia oral realizada en el Seminario público “Investigaciones sobre ciencia y tecnología en el sector agrario”, 2021.



Vita
Jennifer Katiusca Castro Camacho

Correo: jenniferkatusca.castro@usco.edu.co y jeka141285@hotmail.com

Identificadores de autor:

ResearcherID (Thomson Reuters - WOS): KBQ-2305-2024

Autor ID (Scopus): 56603630600

Open Researcher and Contributor ID (ORCID): <https://orcid.org/0000-0002-8766-9158>

Estudios Realizados:

Pregrado: Título obtenido “Ingeniera Agrícola”, Universidad Surcolombiana, Neiva, fecha de grado: 30 de octubre de 2009.

Postgrado: Título obtenido “Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental”, Universidad Surcolombiana, Neiva, fecha de grado: 31 de julio de 2015.

Postgrado: Candidata a “Doctora en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible”, Universidad Surcolombiana, Neiva. Semestres aprobados: ocho (8).

Ocupación:

Docente tiempo completo planta, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería, adscrita al Programa de Ingeniería agroindustrial. Desde febrero de 2023 - actual.

Investigadora Asociado (I), Grupo de Investigación Hidroingeniería y desarrollo agropecuario, GHIDA, Universidad Surcolombiana. Desde 2017 – actual.

Ponencias:

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia “Diseño, formulación y evaluación fisicoquímica de salsa chutney a base de tres variedades de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia”. Autores: Stiven Falla,

María Forero y Jennifer Castro. Modalidad “Cartel”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia: “Estudio de mercado para el producto de Kombucha de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) fabricada en Neiva, Huila, Colombia”. Autores: Camila Córdoba, Yoliana Fiesco y Jennifer Castro. Modalidad “Oral”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia: “Desarrollo y caracterización química de gomas comestibles con ingredientes de interés nutricional “. Autores: María Pinzón, Lina Vargas y Jennifer Castro. Modalidad “Cartel”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia: “Desarrollo y análisis de atributos físicos - texturales de gomas comestibles con ingredientes de interés nutricional”. Autores: Lina Vargas, María Pinzón y Jennifer Castro. Modalidad “Oral”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia: “Propiedades fisicoquímicas de la Kombucha de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) fabricada en Neiva, Huila, Colombia”. Autores: Yoliana Fiesco, Camila Córdoba y Jennifer Castro. Modalidad “Cartel”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: IX Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial, México 2023. Dictado por Universidad Autónoma de Chapingo. Ponencia: “Diseño, formulación y evaluación organoléptica de salsa dulce a base de tres variedades de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila, Colombia”. Autores: María José Forero Sánchez, Stiven Falla Useche y Jennifer Katiusca Castro Camacho. Modalidad

“Oral”. Realizado del 23 al 27 de octubre de 2021. Fecha de certificación: 27 octubre de 2023.

Conferencista: Seminario de actualización en “Monitoreo de la calidad del aire”. Dictado por: Maestría en Ingeniería y Gestión ambiental, Universidad Surcolombiana, sede Neiva. Intensidad: 108 horas. Realizado desde febrero a noviembre de 2023. Curso especializado orientado.

Conferencista: Seminario público “Investigaciones sobre ciencia y tecnología en el sector Agrario”. Dictado por: Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola sostenible, Universidad Surcolombiana, sede Neiva. Ponencia “Efecto de los tratamientos térmicos sobre compuestos bioactivos en productos procesados de Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt).” Intensidad: 8 horas. Realizado el 20 de agosto de 2021. Fecha de certificación: agosto 27 de 2021.

Conferencista: Seminario de actualización en “Monitoreo de la calidad del aire”. Dictado por: Maestría en Ingeniería y Gestión ambiental, Universidad Surcolombiana, sede Neiva. Intensidad: 108 horas. Realizado desde el 07 de febrero al 30 de mayo de 2020. Curso especializado orientado.

Conferencista: Seminario de actualización en “Monitoreo de la calidad del aire”. Dictado por: Maestría en Ingeniería y Gestión ambiental, Universidad Surcolombiana, sede Neiva. Intensidad: 108 horas. Realizado desde el 16 de febrero al 18 de mayo de 2019. Curso especializado orientado.

Conferencista Modalidad Poster: XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola CLIA. Dictado por: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Ponencia: “Modelo de valoración económica del avance del proceso de desertificación del “Desierto de la Tatacoa””. Intensidad: 40 horas. Del 23 al 27 de mayo de 2016.

Conferencista: XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola CLIA. Dictado por: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Ponencia: “Análisis Comparativo de los Sistemas de Gestión Ambiental para empresas agroindustriales”. Intensidad: 40 horas. Del 23 al 27 de mayo de 2016.

Conferencista: VI Seminario internacional uso racional del agua “USRA”. Dictado por: Universidad Surcolombiana. Intensidad: 40 horas. Del 16 al 19 de septiembre de 2015.

Conferencista Modalidad Poster: II Conferencia internacional en manejo poscosecha y calidad de productos hortícolas de interés en el Trópico. Dictado por: Universidad Nacional de Colombia- ICTA. Del 02 al 04 de noviembre de 2011.

Conferencista: Second international workshop Gestión de inocuidad sector agroalimentario. Dictado por: Universidad Surcolombiana. Intensidad: 16 Horas. Del 27 al 28 de agosto de 2009.

Investigación:

Investigadora Asociado (I): con vigencia hasta la publicación de los resultados de la siguiente convocatoria, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación – Minciencias, 2022

Investigadora del proyecto: “Fortalecimiento de establecimientos educativos oficiales que implementan la Jornada Única para desarrollar capacidades y habilidades en CTel, en correspondencia con la dinámica y vocaciones del sector rural en el departamento del Huila”, 2022.

Investigadora del proyecto: “Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en los municipios de Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el departamento del Huila”, 2022.

Auxiliar de Investigación del proyecto: “Determinación de indicadores de desarrollo fisiológico y de madurez en guayaba pera “*Psidium guajava* sv””, realizado en el Huila, con recursos provenientes de la convocatoria interna para grupos de investigación reconocidos y categorizados por Minciencias de la Universidad Surcolombiana, 2010.

Investigadora del proyecto: “Diagnóstico de los niveles de gestión de la higiene y de la calidad en empresas del sector agroalimentario en el departamento del Huila”, realizado en el Huila, con recursos provenientes de la convocatoria interna para grupos de investigación reconocidos y categorizados por Minciencias de la Universidad Surcolombiana, 2009.

Publicaciones:

Artículo científico “Preferential solvation of trichloroethane in N-methyl-2-pyrrolidone + water cosolvent mixtures according to the Inverse Kirkwood-Buff Integrals (IKBI) method and correlation of solubility by means of some mathematical models”. Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas. ISSN 1909-6356. Vol. 53(1), 219-243, 2024. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v53n1.111422>

Libro “Por una Agricultura Competitiva y Sostenible”. Editorial Surcolombiana. ISSN: 2744-9548 (En línea). Año de publicación 2020.

Artículo científico “Thermodynamic analysis and applications of the Abraham solvation parameter model in the study of the solubility of some sulfonamides”. Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas. ISSN 0034-7418. Vol. 49(1), 234-255, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v49n1.87038>

Artículo científico “Physicochemical and sensory characterization for dehydrated passion fruit pulp sheets (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*)”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.12 fasc.13, julio de 2017. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0717_6153.pdf

Artículo científico “Physicochemical characterization and sensory evaluation of banana pulp (*Musa paradisiaca*) dehydrated in sheets”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.12 fasc.05, marzo de 2017. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0317_5783.pdf

Artículo científico “Determination of the drying variables for dehydration of banana pulp sheets (*Musa paradisiaca L.*)”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.12 fasc.01, enero de 2017. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5595.pdf

Artículo científico “Methodology to promote sustainable use of soil resources in the Tatacoa dessert ecoregion”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.11 fasc.23, diciembre de 2016. https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_1216_5458.pdf

Artículo científico “Environmental sustainability strategies for counteracting erosion effects and soil degradation in the Tatacoa dessert”. Journal of Engineering and

Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.11 fasc.23, diciembre de 2016.

https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_1216_5415.pdf

Artículo científico “A Comparative Analysis of Respiratory Activity and Mineralization Index in Soils of Different Locations of the Dry Tropical Woodlands in Huila-State, Colombia”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.16, septiembre de 2015.

https://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0915_2507.pdf

Artículo científico “Model of economic value for the dessertification process of the “Tatacoa dessert””. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.8, mayo de 2015.

https://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0515_1925.pdf

Artículo científico “Determination of the phytogeographic affinity index of the Tatacoa dessert eco-region with other Colombian dry tropical woodland zones”. Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.6 p.2329 - 2334, abril de 2015.

https://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0415_1762.pdf

Artículo científico “Análisis comparativo de los sistemas de gestión ambiental para empresas agroindustriales”. Revista Ingeniería y Región. ISSN 1657-6985 No. 11, 117-128, junio de 2014. Universidad Surcolombiana, Neiva (Colombia).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432256>

Artículo científico “Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en guayaba pera (*Psidium guajava* cv. Guayaba Pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes”. Revista EIA. ISSN 1794-1237 No. 19, p 78-88, julio de 2013. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372013000100007&script=sci_arttext

Artículo científico “Fisiología y atributos de calidad de la guayaba “pera” (*Psidium guajava* cv.) en poscosecha”. Revista de Ingeniería. ISSN 0121-4993 / E-ISSN 2011-004 No. 37, p 26-30. Sección Técnica, noviembre de 2012. Universidad de Los Andes. Bogotá D.C. (Colombia).

<https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/download/7316/7639>

Artículo científico “Evaluación de prerrequisitos en el Sistema HACCP en empresas del sector agroalimentario”. Revista EIA. ISSN 1794-1237 No. 15, p 33-43, julio de 2011. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n15/n15a04.pdf>

Dirección de trabajos de grado:

Diseño e implementación de un sistema de aseguramiento tipo HACCP en las etapas de fermentación, secado y almacenamiento de cacao, en cuatro centrales de beneficio del departamento del Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Jean Carlo Quintero García. Estado: En ejecución.

Formulación y evaluación fisicoquímica y organoléptica de un queso tipo “petit suisse” saborizado con dulce de fruta a base de curuba (*Passiflora tripartita*).” Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientadas: Carol Andrea Muñoz Callejas y Lizeth Vanessa Silva Castellanos. Estado: En ejecución.

Caracterización de la presión sonora en la Corporación Universitaria del Huila CORHUILA, Sede Prado Alto, Neiva Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientadas: Yuly Katherin Rodríguez Forero y Martha Lucía Méndez. Estado: En ejecución.

Caracterización de los niveles de presión sonora generados en la Institución Educativa “Promoción Social”, Neiva Huila, año 2023. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientadas: Yenniffer Muñoz Cuellar y Claudia Maritza Calderón Falla. Estado: En ejecución.

Determinación de los niveles de presión sonora en la sede principal de la Institución Educativa “Liceo de Santa Librada”. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: José Luis Realpe Benavides y Olga Lucía Rey Cárdenas. Estado: Finalizado.

Niveles de presión sonora generados en la Sede Central de la Universidad Surcolombiana, Sede Neiva. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Jhonatan Castro Camacho y Derly Zulena Rincón. Estado: Finalizado.

Implementación gradual del aseguramiento de la calidad para la carnicería carnes el barcino del municipio de Palermo, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Luis Fernando Jojoa Cortés. Estado: Finalizado.

Estudio de la factibilidad de la elaboración y producción de Kombucha de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) en Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientadas: Claudia Camila Córdoba Cadena, y Yoliana Andrea Fiesco Cerquera. Estado: Finalizado. Distinción “Meritoria”, otorgada por el Consejo de Facultad de Ingeniería mediante Acuerdo 109 de 2023.

Diseño y formulación de dos tipos de salsas a base de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) en la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: María José Forero Sánchez y Stiven Falla Useche. Estado: Finalizado. Distinción “Meritoria”, otorgada por el Consejo de Facultad de Ingeniería mediante Acuerdo 110 de 2023.

Formulación, desarrollo y caracterización fisicoquímica de gomas funcionales con ingredientes de interés nutricional. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Lina Katherine Vargas Pedraza y María Alejandra Pinzón Cruz. Estado: Finalizado. Distinción “Meritoria”, otorgada por el Consejo de Facultad de Ingeniería mediante Acuerdo 108 de 2023.

Evaluación ambiental asociada a la gestión de los recursos agua y aire. estudio de caso en la sociedad clínica EMCOSALUD de la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientada: Vanessa Gutiérrez Rojas. Estado: Finalizado.

Determinación de niveles de ruido ambiental y estimación de la percepción generada en zonas priorizadas del área urbana del municipio de Garzón – Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Javier Ernesto Collazos Gutiérrez. Estado: Finalizado.

Evaluación de la capacidad de absorción de fluoruros que posee la alúmina activada sintetizada a partir de material de aluminio reciclado, en aguas contaminadas del centro poblado el Juncal. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Juan Manuel Quiza Gáfaró. Estado: Finalizado.

Determinación de concentraciones de material particulado (PM10) y monitoreo de ruido ambiental en el área de influencia de la planta de tratamiento de residuos peligrosos de Serviambiental S.A. E.S.P. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Diego Mauricio Hernández Bolívar y José Fabián Osso Villanueva. Estado: Finalizado.

Niveles de presión sonora generados en la Universidad Surcolombiana, sedes del municipio de Neiva. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: John Freddy Patiño Zapata y Carla Alejandra Urrea Rojas. Estado: Finalizado.

Monitoreo de los niveles de presión sonora y cumplimiento normativo en la comuna cuatro de la ciudad de Neiva en la transición del COVID- 19. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Gloria Constanza Oliveros S y Mónica Alexandra Páramo Bernal. Estado: Finalizado.

Evaluación de los niveles del sonido en el área de influencia del corredor vial del tramo norte-terminal del sur en la ciudad de Neiva. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Fredy Medina Arce y Martha Ximena Ninco Castañeda. Estado: Finalizado.

Evaluación del cumplimiento normativo de los niveles de presión Sonora en la Comuna seis de la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster

en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Fernando Andrés Hernández Anduquia y Gina Paola Charry Medina. Estado: Finalizado.

Medición de los niveles de presión sonora previstos para la comuna tres “zona entre ríos” en la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Alexandra Perdomo Gualtero y Luis Germán Silva Valderrama. Estado: Finalizado.

Determinación de los niveles de presión sonora generados en la comuna uno “zona noroccidental” en la ciudad de Neiva, Huila. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Edwin Mauricio Rojas Alarcón y José Will Zamora Rojas. Estado: Finalizado.

Caracterización socio-económica y productiva en el ámbito de la seguridad alimentaria de los productores de 10 veredas del municipio de Guadalupe adscritos al programa IEATDR 2015. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientada: Jenifer Alexandra Mayorga Sánchez. Estado: Finalizado.

Aseguramiento de la Calidad en los procesos de cultivo clavel (*Dianthus caryophyllus*) y rosa (Sp), En Ayurá S.A.S, Municipio de Tocancipá, Cundinamarca. Pasantía supervisada como modalidad de grado, para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Daniel Andrés Clavijo González. Estado: Finalizado.

Evaluación organoléptica de un queso tipo petit suisse saborizado con dulce de fruta a base de passifloras, producidas en el departamento del Huila. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Adriana Margarita Ardila Dussán y Arnold Jampier González Araque. Estado: Finalizado.

Influencia de los campos electromagnéticos en la Germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa*). Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiante orientado: Faiber Soto Vargas. Estado: Finalizado.

Estimación de la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (*Coffea arabica* L), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiantes

orientados: Yohan Sebastián Calderón Calderón y Luis Enrique Pérez Castrillón. Estado: Finalizado.

Estudio de la extracción de pectina de cáscaras de Cholupa (*Passiflora maliformis*) y evaluación del uso como coagulante para la remoción de Cromo (Cr) y Hierro (Fe) en aguas de curtiembre. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agrícola, Universidad Surcolombiana. Estudiantes orientados: Leidy Carolina Mosquera y Nathalie Leal Gómez. Estado: Finalizado.