



Protocolo Para la Elaboración y Optimización de Mermeladas de Frutos Amazónicos

xxxxxxxxxx
xxxxxxxxxx
xxxxxxxxxx

Autores:

Davinson Fabian Olarte
Jhon Rincon
Geraldine Huerfano
Derly Navarro
Íngrid Sabí
Isabel González

Resumen

Los frutos amazónicos son una gran alternativa para el desarrollo de productos alimentarios de alta calidad. Por ello, el presente protocolo busca dar a conocer una metodología de desarrollo y optimización del proceso de elaboración de mermelada a partir de frutos amazónicos, específicamente asaí y copoazú, buscando maximizar la conservación de compuestos bioactivos como polifenoles, antocianinas y su capacidad antioxidante, mejorando la aceptación sensorial y la estabilidad del producto final. Para ello, se profundiza en la aplicación de un diseño experimental basado en el análisis de superficie de respuesta (ASR) con un diseño compuesto central (DCC), que evalúa distintas combinaciones de tiempo y temperatura de cocción. Los tratamientos se aplicaron a temperaturas entre 64.6 °C y 101.4 °C, y tiempos entre 26.9 y 48.1 minutos. Además, se propone un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar distintas formulaciones de mermelada, variando la proporción de asaí y copoazú, para evaluar la aceptación sensorial, considerando el sabor, aroma y textura.

Los resultados esperados incluyen la identificación de las condiciones óptimas de cocción que preserven los compuestos bioactivos (capacidad antioxidante, antocianinas, polifenoles y flavonoides), sin comprometer la calidad sensorial. Se anticipa que las formulaciones con una mayor proporción de pulpa de asaí tendrán un color más intenso, mientras que la adición de copoazú mejorará la aceptación del producto en los consumidores. Además, se espera lograr una mermelada con una buena estabilidad microbiológica y una vida útil prolongada, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad alimentaria.

Palabras claves:

frutos amazónicos, compuestos bioactivos, asaí, copoazú, antioxidantes, microbiología.

Abstract

Amazonian fruits are an excellent alternative for developing high-quality food products. This protocol aims to present a methodology for the development and optimization of the jam-making process using Amazonian fruits, specifically açai and cupuaçu, focusing on maximizing the preservation of bioactive compounds such as polyphenols, anthocyanins, and antioxidant capacity while improving sensory acceptance and the stability of the final product. The study delves into the application of an experimental design based on response surface methodology (RSM) using a central composite design (CCD), which evaluates different combinations of cooking time and temperature. Treatments were applied at temperatures ranging from 64.6 °C to 101.4 °C and times between 26.9 and 48.1 minutes. Additionally, a completely randomized design (CRD) is proposed to evaluate different jam formulations, varying the proportions of açai and cupuaçu, to assess sensory acceptance considering flavor, aroma, and texture.

The expected outcomes include identifying optimal cooking conditions that preserve bioactive compounds (antioxidant capacity, anthocyanins, polyphenols, and flavonoids) without compromising sensory quality. It is anticipated that formulations with a higher proportion of açai pulp will exhibit a more intense color, while the addition of cupuaçu will enhance consumer acceptance. Moreover, the goal is to produce jam with good microbiological stability and extended shelf life, meeting food safety and quality standards.

Keywords:

Amazonian fruits, bioactive compounds, açai, cupuaçu, antioxidants, microbiology.

Introducción

Los frutales amazónicos han adquirido un creciente interés en la industria alimentaria y en investigaciones científicas, dada su riqueza en compuestos bioactivos y fitoquímicos de alto valor funcional (Gutiérrez-Bravo et al., 2020; Hernandez, 2024). Frutos como el asaí (*Euterpe oleracea*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y canangucha (*Mauritia flexuosa*) destacan por su contenido en antioxidantes, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales, a los cuales se les atribuye beneficios para la salud, con potencial para la elaboración de productos con alto valor nutricional como jugos, helados y mermeladas (Montero et al., 2020; da Silveira et al., 2023). Estos frutos amazónicos no solo representan una fuente importante de nutrición, sino que también son una alternativa económica para las comunidades locales, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de las regiones (Asprilla, J., 2018).

La transformación de estos frutos en mermeladas permite aprovechar sus propiedades nutritivas y bioactivas, además de proporcionar una vida útil prolongada y de preservar sus características sensoriales. En particular, el procesamiento en mermeladas ofrece una forma práctica de consumo y se ajusta a las demandas de los consumidores, quienes buscan alimentos con beneficios para la salud (de Mello e Silva et al., 2022). El presente protocolo busca optimizar tanto el contenido de compuestos bioactivos como la calidad sensorial de las mermeladas elaboradas con asaí y copoazú, garantizando productos de calidad y alto valor nutritivo para los consumidores.

En busca contribuir al conocimiento existente sobre el procesamiento de frutos amazónicos y mejorar las prácticas de transformación que garanticen la calidad y seguridad del producto final. Diversos estudios han explorado la composición nutricional de los frutos amazónicos y los efectos de diferentes técnicas de procesamiento en sus propiedades funcionales y sensoriales (Garzón et al., 2017; da Silveira et al., 2023; da Silva et al., 2024; & Rocha et al., 2024). Sin embargo, la información específica sobre la optimización de compuestos bioactivos en mermeladas de estos frutos es limitada (Koraqi et al., 2023; Shinwari, K & Rao, P). El objetivo principal de este protocolo es proponer procedimientos de transformación de frutos amazónicos que permitan conservar y optimizar el contenido de compuestos bioactivos, así como evaluar la calidad sensorial de las mermeladas resultantes. Como hipótesis central, se plantea que, mediante la selección adecuada de ingredientes y condiciones de procesamiento, es posible maximizar el contenido de antioxidantes y otros compuestos bioactivos sin afectar negativamente la calidad sensorial de los productos (Barros, K., 2024).



Materiales y Métodos

Asaí

El asaí es un fruto globuloso con un diámetro aproximado de hasta 1.5 cm de diámetro de color morado oscuro cuando maduran (Castillo et al., 2012; Gordon et al., 2012). Este fruto proviene principalmente de las palmeras tropicales *Euterpe oleracea* Martius y *Euterpe precatoria* Martius que crecen de forma natural en la región amazónica (Castro et al., 2015; Gordon et al., 2012). En los últimos años el fruto ha ganado atención a nivel mundial, gracias a su reconocimiento como superfruta o superalimento y en respuesta al aumento en la demanda de productos saludables derivados de esta fruta, evidenciando un gran potencial de comercialización de productos derivados de esta materia primas. Entre las características más importantes del açaí se encuentran: alto contenido de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoides, entre otros, que generan propiedad de neutralizar radicales libres, contando con múltiples beneficios para la salud (Laurindo et al., 2023; Silveira et al., 2023; Vargas-Arana et al., 2023). Para el desarrollo de una mermelada con pulpa de asaí en el departamento del Caquetá El asaí es obtenido de productores del departamento de Caquetá, ubicados en bosques protegidos o áreas de producción comercial. Entre los criterios de calidad más importantes al momento de adquirir los frutos de asaí se detallan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Criterios de calidad frutos de asaí

Color: Morado oscuro, sin colores grisáceos.

Olor: Característico a asaí, sin olores extraños.

Esfericidad: Los frutos deben presentar características esféricas sin hundimientos y deformaciones.

Impurezas: No se debe evidenciar la presencia de impurezas o material particulado

La pulpa de asaí es el principal insumo para la elaboración de la mermelada, para ello se requiere el despulpado del fruto siguiendo el proceso dispuesto en la Figura 1. Iniciando con la selección de los frutos que cumplen con los criterios establecidos en la Tabla 1.

Posteriormente, se pesan y limpian mediante un lavado manual, se desinfectan con una dilución de agua y desinfectante para alimentos a 100 ppm. El ablandamiento de los frutos se puede realizar de dos maneras. La opción 1 se realiza sometiendo los frutos a temperaturas 50 a 70°C por 10 minutos, como alternativa se recomienda la congelación de los frutos de asaí por 12 horas y una vez finalizado dicho periodo, se debe someter el fruto de asaí a temperaturas entre los 60 y 70°C, una vez finalizado la etapa de calentamiento de la pulpa, realizar choque térmico al sumergir los frutos en agua a temperatura entre los 8 y 12°C por 10 minutos.



Figura 1. Obtención pulpa de açaí

El proceso de despulpe del açaí se realiza en una despulpadora cilíndrica vertical de acero inoxidable, que cuenta con una entrada de frutos en la parte superior. Un eje vertical interno, equipado con paletas o aspas, genera movimientos centrífugos que producen fricción entre los frutos, separando así la cáscara, la pulpa y las semillas. La máquina integra un recipiente de recepción para la pulpa, que incluye un filtro diseñado para eliminar el exceso de fibra proveniente de las semillas. El proceso comienza añadiendo el fruto de açaí a la despulpadora; después de tres minutos, se agrega agua para facilitar el arrastre de la pulpa desde la cámara de fricción hasta el recipiente de almacenamiento, donde el producto se filtra. Luego, la pulpa se recircula tantas veces como sea necesario hasta extraer la totalidad de la pulpa y alcanzar el nivel de grados Brix deseado.

La pulpa de açaí obtenida se somete a un proceso de pasteurización a aproximadamente 80 °C durante un tiempo de 30 a 60 segundos. Posteriormente, se realiza un enfriamiento rápido a 5 °C para detener la actividad enzimática y preservar la calidad del producto. La pulpa se almacena finalmente a temperaturas de congelación, lo que asegura su estabilidad y vida útil. Para incrementar la conservación de la pulpa, es posible adicionar ácido cítrico; no obstante, esta adición puede inducir un cambio de color en la pulpa, pasando de morado a un tono rojizo, lo cual podría impactar en las características organolépticas de la mermelada.

Copoazú

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es una fruta nativa de la Amazonía, perteneciente al mismo género que el cacao, *Theobroma*. Aunque se cultiva principalmente en Brasil, su producción ha mostrado un incremento en Colombia, especialmente en las regiones de la Amazonía y la Orinoquía (Díaz et al., 2020; Rosa et al., 2024). Entre las cualidades más destacadas del copoazú es su alto contenido de compuestos bioactivos, que le otorgan diversos beneficios para la salud, lo que lo posiciona como un alimento funcional (Díaz et al., 2020; Núñez et al., 2022).

La pulpa del copoazú, que representa el 35% del fruto, es la parte más aprovechada tanto en términos productivos como comerciales debido a su sabor ácido e intenso, siendo una excelente opción para mejorar el perfil organoléptico de productos alimenticios como las mermeladas. Existen varios métodos para extraer esta pulpa, desde la extracción manual hasta procesos enzimáticos y mecánicos. Según Núñez et al. (2022) la combinación de métodos mecánicos con la adición de enzimas logra mayores contenidos de sólidos solubles y los mejores rendimientos de extracción; aunque la extracción manual también es efectiva, presenta costos más altos y mayor riesgo de contaminación.

La pulpa de copoazú en Colombia se puede obtener de empresas transformadoras ubicadas en el departamento del Caquetá, siendo el municipio de los Belén de los Andaquies un productor reconocido a nivel regional. El despulpado del copoazú detallado en la Figura 2, inicia con la selección de frutos maduros y sanos, que luego se lavan para eliminar suciedad y posibles contaminantes, este paso es crucial para asegurar una pulpa limpia y de alta calidad; se realiza la apertura del fruto mediante cuchillas de corte o máquinas de corte, dividiendo el fruto en dos. Posteriormente se empaca la pulpa en bolsas resistentes a temperaturas extremas y se pasteurizan sumergiendo la pulpa empacada en agua a altas temperaturas (70 a 80 °C) y posterior almacenamiento a temperaturas de congelación.

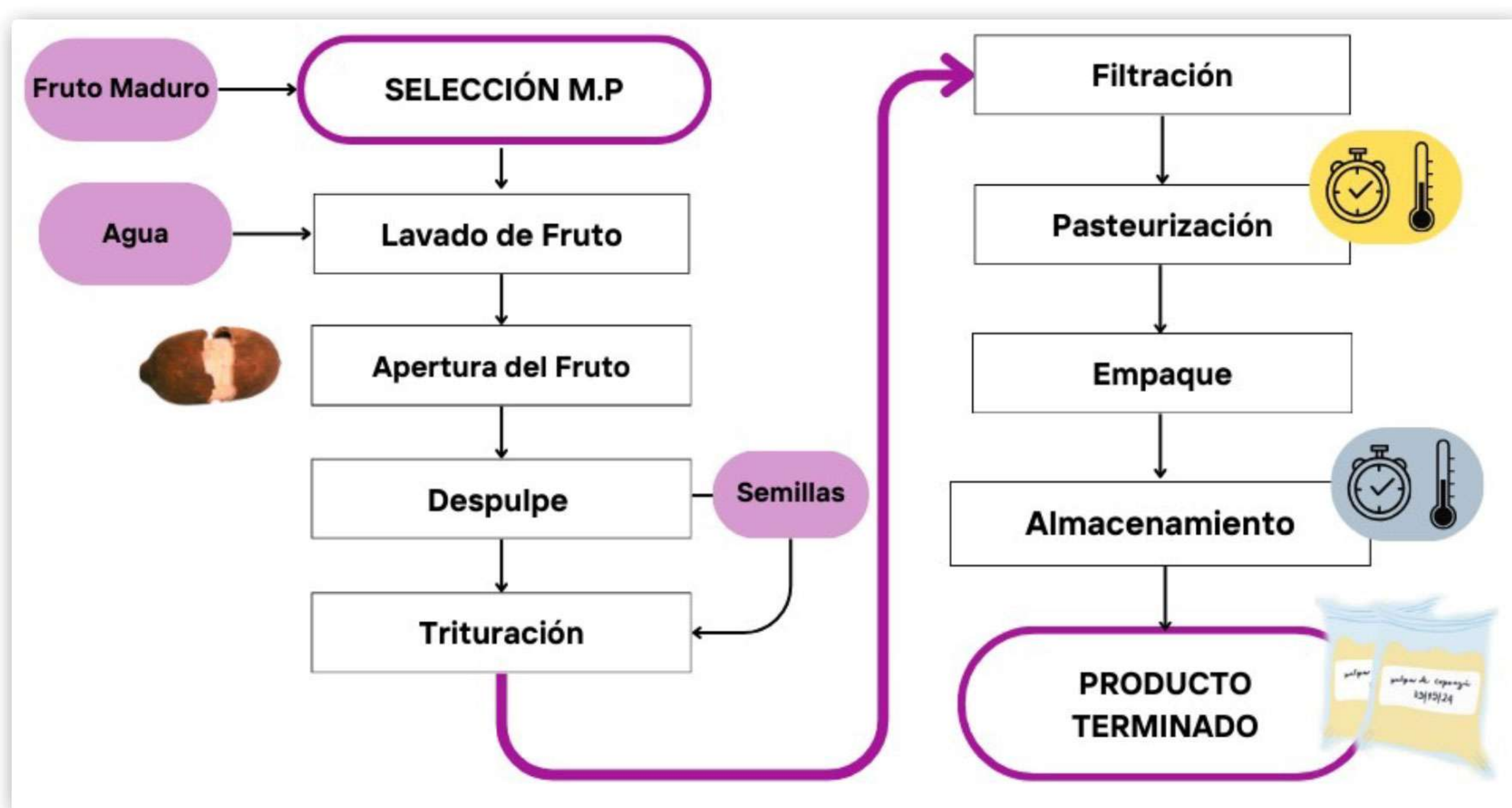


Figura 2. Proceso de despulpado de copoazú

Ingredientes adicionales

En los apartados anteriores se presentó información detallada sobre uno de los ingredientes clave en las mermeladas: las pulpas de frutas. Estas son las principales responsables de aportar sabor, aroma y color característicos, además de macro y micronutrientes, cuya integridad puede verse afectada según las condiciones del proceso. Sin embargo, para lograr una mermelada estable y homogénea que cumpla con los requisitos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, se utilizan materias primas como el azúcar, la pectina, los ácidos, los colorantes y los conservantes (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). A continuación, se detalla la función de estas materias primas en la elaboración de mermeladas (Almaghlouth et al., 2023; Bonilla & Abril, 2017; Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Azúcar: Este ingrediente es esencial para conservar la mermelada, ya que retiene gran parte del agua libre en la pulpa de fruta, reduciendo el riesgo de crecimiento de microorganismos. El azúcar debe representar aproximadamente el 60% del contenido total de la mermelada, sumando los azúcares naturales de la fruta y el azúcar añadido. Para ajustar la cantidad de azúcar correctamente, es importante medir los grados Brix de las pulpas, que reflejan su dulzor y concentración de azúcares. El objetivo es alcanzar entre 60 y 65°Brix; valores más altos pueden causar cristalización, afectando la textura y la facilidad de untar el producto final. Además, se pueden usar edulcorantes o azúcares naturales para alcanzar el nivel adecuado de grados Brix.

Pectina: La pectina es un agente gelificante, texturizante y estabilizante que forma una red en la mermelada, facilitando una textura ideal para untar y utilizar como aderezo en preparaciones alimenticias. Existen dos tipos principales de pectina: de alto y de bajo metoxilo. La pectina de alto metoxilo es adecuada para productos con alto contenido de azúcar y acidez, mientras que la pectina de bajo metoxilo es funcional en medios con bajo contenido de azúcar y mayor cantidad de calcio (Barrera-Chamorro et al., 2025).

Ácidos: La incorporación de ácidos ayuda a mejorar la estabilidad y características organolépticas de las mermeladas, entre los ácidos más utilizados para este fin se encuentra el ácido cítrico y el ácido tartárico. Asimismo, en la Tabla 2 se detallan la recomendación de Barragán García, (2011) para incorporar ácido cítrico en función del pH inicial de la pulpa de fruta.

pH de la pulpa	Cantidad ácido cítrico a añadir
3.5 a 3.6	1 a 2 g/kg de pulpa
3.6 a 4.0	3 a 4 g/kg de pulpa
4.0 a 4.5	5 g/kg de pulpa
> 4.5	> 5 g/kg de pulpa

Tabla 2. Cantidad de ácido cítrico a agregar según el pH inicial de la pulpa

Conservantes: Los conservantes se emplean para inhibir el crecimiento de microorganismos en la mermelada, lo cual es especialmente importante después de abrir el envase por primera vez. Sin conservantes, pueden desarrollarse levaduras y hongos, provocando una fermentación no deseada (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). Entre los conservantes más comunes están el ácido benzoico y el ácido sórbico, junto con sus sales de sodio, potasio y calcio. En cuanto a las concentraciones, la legislación permite un máximo de 1000 mg/kg de ácido benzoico y sus sales, y 1250 mg/kg para el ácido sórbico y sus sales (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2018; Ministerio de Protección Social, 2009) .

Equipos

Para la elaboración de mermelada de frutos amazónicos a nivel industrial, se requiere de múltiples equipos que faciliten el proceso de producción y el aseguramiento de la calidad y Los equipos necesarios para la transformación de la mermelada en un producto final se listan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Equipos necesarios para la elaboración de mermelada

Potenciómetro: Herramienta esencial para determinar el pH de la pulpa y mermelada obtenida 	Marmita: Permite realizar el proceso de cocción y mezcla de la mermelada de forma controlada. 
Refractómetro: Herramienta esencial para determinar los sólidos disueltos en la pulpa de fruta y la mermelada. 	Refrigerador: permite la conservación y almacenamiento del producto terminado (mermelada) en condiciones favorables. 
Balanza: Permite el seguimiento de rendimientos a través del pesaje de materias primas y producto terminado. 	Dosificador: Facilita el proceso de envase del producto terminado. 
Procesador: Permite la homogenización de la pulpa de copoazú o mezcla de copoazu y asái 	Estufa Industrial: Útil en casos cuando se cuenta con una o ninguna marmita 
Termómetro: Permite calcular la temperatura de operación 	Mesa en acero inoxidable: Permite mejorar la ejecución del proceso de elaboración y mantiene la higiene 

Elaboración de mermelada

Entre los componentes más importantes para la elaboración de mermelada se encuentra inicialmente la formulación de ingredientes que permita el cumplimiento de la resolución 3929 de 2013 que establece los límites mínimos y máximos en variables fisicoquímicas y microbiológicas que se resumen en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Requisitos fisicoquímicos y microbiológicos para mermeladas

Requisito fisicoquímico	Mínimo	Máximo		
Sólidos solubles, refractométrica a 20°C (°Brix)	60	-		
pH a 20°C	-	3.4		
% de Acidez (expresado como ácido cítrico)	0.5	-		
Porcentaje de contenido de frutas (%)	70	-		
Requisitos Microbiológicos	Parámetro			
	n	m	M	C
Recuento de mohos y levaduras	5	20	50	1

Fuente: Adaptado por autores de Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS), 2013)

Formulación de Mermelada

Este protocolo propone una formulación de mermelada basada en frutos amazónicos, utilizando el asaí y el copoazú como ingredientes principales. Para determinar la proporción óptima de cada fruto, se sugiere evaluar distintas formulaciones, como las presentadas en la Tabla 5. Estas combinaciones permiten analizar las características organolépticas (sabor, textura, color) y nutricionales de la mezcla de pulpa de asaí y copoazú en diferentes proporciones, facilitando así la selección de la mejor formulación que cumpla con los objetivos de la organización.

Tabla 5. Formulaciones de frutos amazónicos sugerida

	Relación de Ingredientes Formulación	
	Pulpa de asaí (%)	Pulpa de Copoazú (%)
Formulación 1	50 %	50 %
Formulación 2	66.65 %	33.35 %
Formulación 3	75%	25%

Los demás ingredientes de la formulación se agregan considerando las restricciones sanitarias y la funcionalidad de estos en el proceso de elaboración. Para la pectina se recomienda agregar entre 0.5 % y 1 % del peso de la preparación, para el ácido cítrico se puede aplicar lo dispuesto en la Tabla 2, para los conservantes se debe considerar la dosificación máxima contemplada en la NTC 1453. La cantidad de azúcar necesaria se calcula en función de los sólidos solubles de la pulpa, medidos en °Brix, y de la diferencia con los grados Brix mínimos recomendados en la Tabla 3. Para ello, se utiliza la Ecuación 1, propuesta por la (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995) y ajustada en esta publicación para facilitar su comprensión. Es importante considerar que el peso final de la mermelada se obtiene al restar las pérdidas por evaporación del peso total de los ingredientes iniciales. Estas pérdidas pueden estimarse mediante un seguimiento previo del rendimiento del proceso, ya que dependen de factores como el volumen de procesamiento, la temperatura y el tiempo, entre otros.

$$AZ^{(g)} = \left(\frac{BD * PFM (g)}{100} \right) - \left(\frac{BP * PIP (g)}{100} \right) \quad \text{(Ecuación 1.)}$$

Donde:

AZ = Azúcar a agregar

BD: Grados brix deseados (se puede tomar el parámetro mínimo establecido en la Tabla 3)

PFM: Peso final de la mermelada

BP = Grados brix de la mezcla de pulpas

PIP = Peso inicial de la pulpa

Proceso de elaboración de la mermelada

El proceso de elaboración de la mermelada presentado en la Figura 3 inicia con la selección o adquisición de las pulpas de fruta, estas deben cumplir con características de calidad idóneas como son el color, aroma y cantidad de sólidos solubles totales. Posteriormente se mezclan las pulpas en las proporciones seleccionada en la formulación escogida, se disponen al proceso de cocción realizando seguimiento a las variables de temperatura y tiempo para evitar desviaciones que impacten negativamente al producto final.

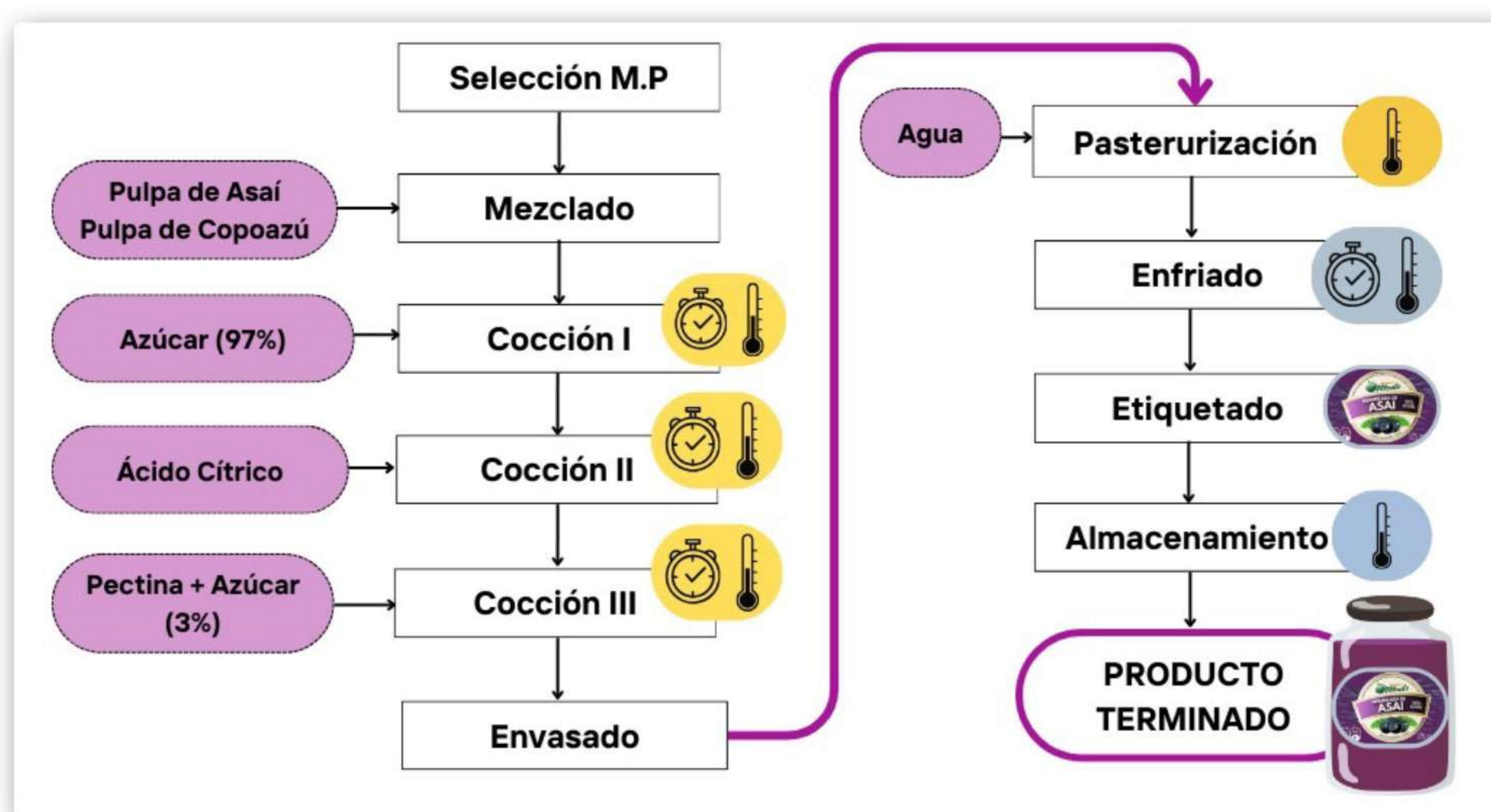


Figura 3. Proceso de elaboración mermelada de frutos amazónicos

Mientras se desarrollan los procesos de cocción se van agregando los demás ingredientes como el azúcar, el ácido cítrico, la pectina y el conservante en el orden especificado en la Figura 3. Una vez la preparación se encuentra entre los 60 y 65 °Brix se envasa en recipientes o empaques esterilizados y óptimos para alimentos. Finalmente, el producto empacado se pasteuriza a altas temperaturas, se enfría y etiqueta cumpliendo con las normas de etiquetado establecidas en la Resolución 810 de 2021 del Ministerio de Salud y Protección Social (2021), se almacena a temperatura de refrigeración (4°C) hasta su comercialización.

Variables de estudio

La elaboración de mermeladas requiere de la determinación de formulaciones y procesos de optimización adecuados que permitan el cumplimiento de la legislación sanitaria, las necesidades o expectativas del cliente y la estandarización del proceso de transformación. Las variables de estudio a considerar se detallan en la Figura 4. Las variables fisicoquímicas y microbiológicas están orientadas al cumplimiento de la legislación sanitaria vigente, además de reducir el riesgo en salud pública por consumo del producto final, estas se pueden ver afectadas por inadecuadas prácticas de fabricación y formulaciones inadecuadas. Las variables sensoriales se encuentran orientada a la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes finales, para su adecuada aceptación y comercialización.

Las variables de proceso son de interés para los fabricantes ya que buscan minimizar tiempos y costos de fabricación sin afectar las demás variables de estudio. Las variables bioactivas han sido de especial interés en los últimos años, pues existe un especial interés de los consumidores por adquirir productos con mayor aporte nutricional y funcional, siendo esencial la minimización de la degradación de estos compuestos presentes en las materias primas agrícolas como el asaí y el copoazú.

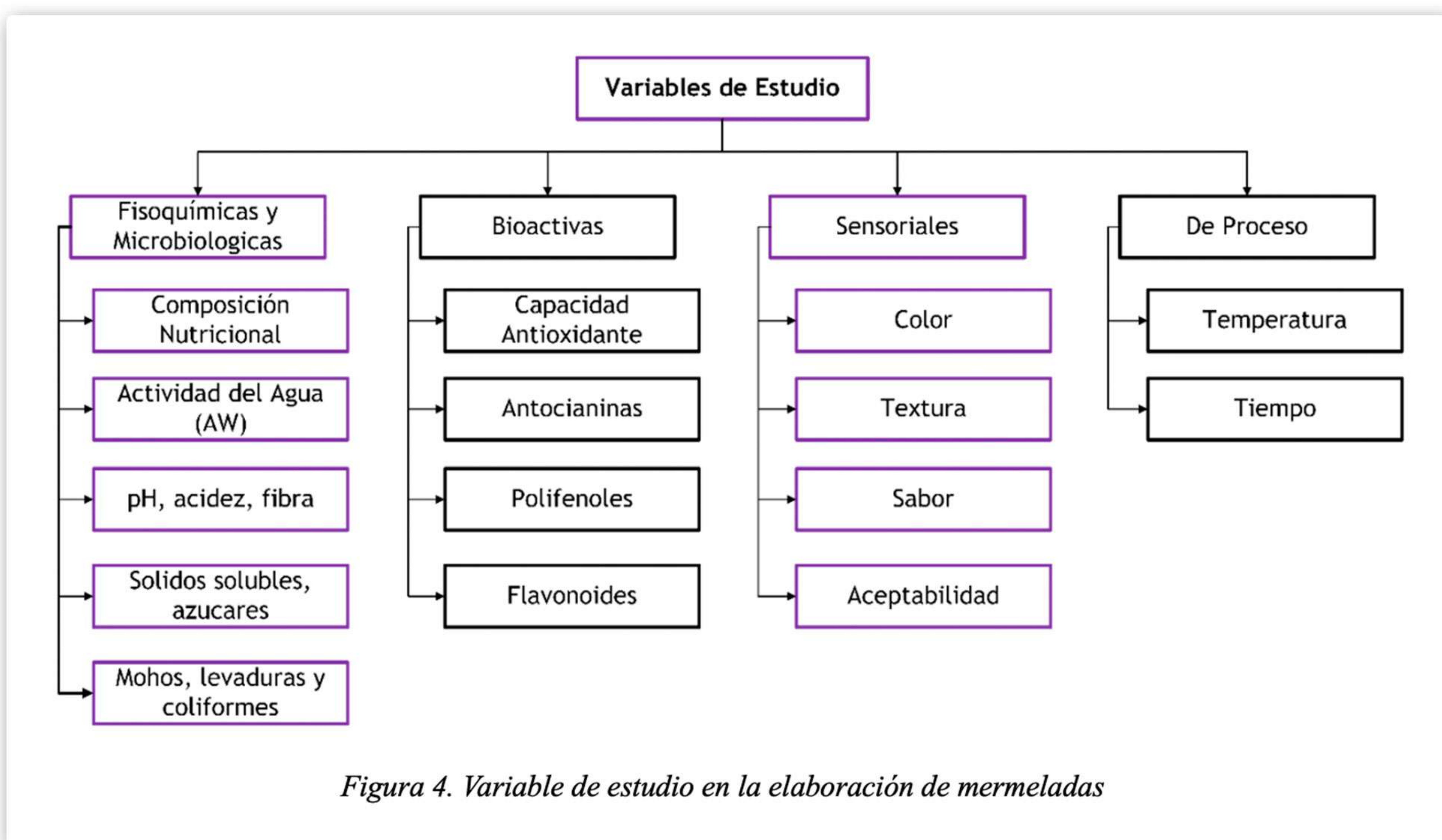


Figura 4. Variable de estudio en la elaboración de mermeladas

Diseño experimental elaboración de mermelada

La formulación y el proceso de elaboración de mermeladas son etapas complementarias que pueden optimizarse de manera individual. Para lograr esto, se recomienda utilizar diseños experimentales adecuados a cada fase, los cuales permiten evaluar efectivamente el cumplimiento de los requisitos sanitarios y determinar los procesos óptimos. Estos diseños ayudan a mejorar las características sensoriales de la mermelada para satisfacer a los consumidores y a optimizar variables de proceso, como la temperatura y el tiempo, con el fin de maximizar el contenido de compuestos bioactivos en el producto final (Basary et al., 2022; Yeasmin et al., 2020).

Evaluación de la formulación

La evaluación de las distintas formulaciones busca determinar como las diferentes proporciones de pulpa de asaí y pulpa de copoazú impactan en las variables de estudio y determinar la formulación con mejor aceptación por los consumidores y mayor funcionalidad nutricional que cumple con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos, permitiendo obtener un producto validado, listo para su comercialización. Esta evaluación se debe desarrollar mediante metodologías efectivas que minimicen el sesgo y errores experimentales. Para ello, se toma como insumo las formulaciones y consideraciones dispuestas en la Tabla 5. El diseño experimental recomendado para validar las distintas formulaciones es el diseño completamente al azar (DCA) ya que permite comparar tratamientos o formulaciones, asignando estos de manera aleatoria, controlando la variabilidad entre ellas. En un DCA, cada concentración se aplica aleatoriamente a varias formulaciones de mermelada sin ningún orden específico. Esto permite observar cómo cada tratamiento afecta las variables de estudio sin que otros factores interfieran (Anuar & Salleh, 2019; Dubey et al., 2021).

Tabla 6. Diseño experimental formulación de mermelada

Unidad Experimental	Formulación Asignada	Codificación
1	Formulación 3 – Replica 1	F3R1
2	Formulación 2 – Replica 1	F2R1
3	Formulación 1 – Replica 1	F1R1
4	Formulación 1 – Replica 2	F1R2
5	Formulación 3 – Replica 2	F3R2
6	Formulación 2 – Replica 2	F2R2
7	Formulación 3 – Replica 3	F3R3
8	Formulación 1 – Replica 3	F1R3
9	Formulación 2 – Replica 3	F2R3

El diseño experimental para la formulación de mermelada, resumido en la Tabla 6, emplea 9 unidades experimentales (3 repeticiones por tratamiento). En este diseño, cada formulación se evalúa tres veces. Cada unidad experimental recibe aleatoriamente una de las tres formulaciones y se procede a evaluar diversos aspectos, como el sabor, las propiedades fisicoquímicas y los compuestos bioactivos de las mermeladas, de acuerdo con el objetivo del estudio. Este enfoque garantiza una comparación justa entre las formulaciones, ya que elimina cualquier sesgo relacionado con el orden de aplicación o la asignación de tratamientos (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Optimización del proceso de transformación

Los compuestos bioactivos, como polifenoles, antocianinas, flavonoides y otros con capacidad antioxidante, son muy sensibles a la degradación por la temperatura y el tiempo de exposición durante la cocción de la mermelada (ver Figura 2). Por esto, es fundamental establecer condiciones de procesamiento que maximicen la conservación de estos compuestos en el producto final.

Este protocolo propone el uso del análisis de superficie de respuesta bajo un diseño compuesto central (DCC) para evaluar el proceso de elaboración de la mermelada en distintos niveles de temperatura y tiempo (niveles factoriales, axiales y centrales) (Melo M. et al., 2007). Este enfoque permite identificar las condiciones óptimas de temperatura y tiempo que favorecen la conservación de los compuestos bioactivos, mejorando el valor funcional del producto final.

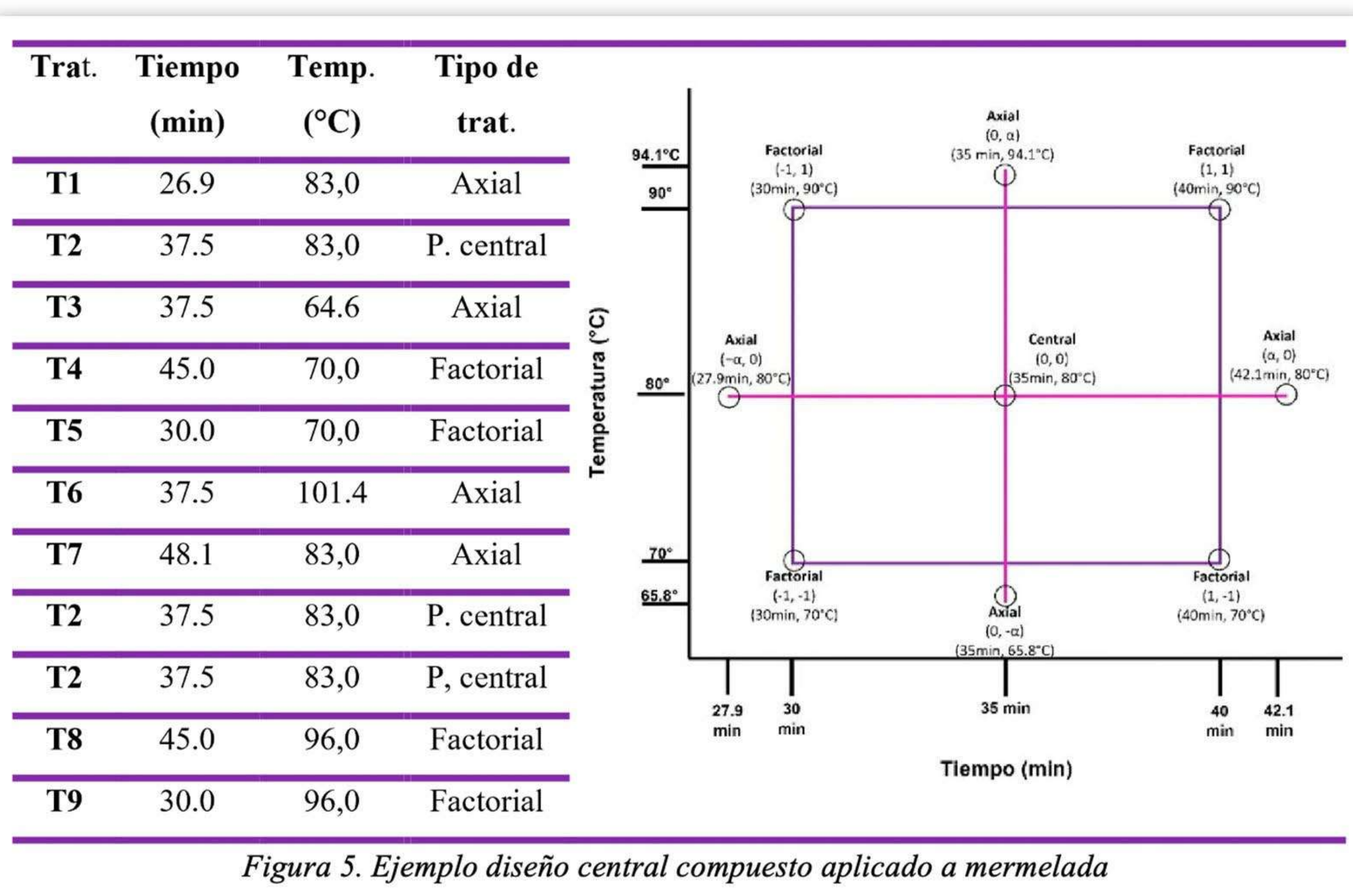


Figura 5. Ejemplo diseño central compuesto aplicado a mermelada

Nota: Trat. Tratamiento; Temp. Temperatura.

Para aplicar el diseño compuesto central (DCC), es necesario identificar dos factores clave: el tiempo y la temperatura de cocción. Como se observa en la Figura 4, se seleccionan diferentes niveles factoriales de temperatura y tiempo, que pueden definirse a partir de recomendaciones en la literatura o de la experiencia en procesos de elaboración de mermeladas. Posteriormente, se establecen los puntos axiales mediante la aplicación de la fórmula de distancia entre los niveles factoriales (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Este diseño experimental permite evaluar distintos niveles de tiempo y temperatura, generando tanto gráficos como funciones matemáticas que ayudan a predecir el comportamiento de las variables de estudio. En este caso, se busca identificar las condiciones de tiempo y temperatura que maximizan el contenido de compuestos bioactivos. Para obtener más detalles sobre la metodología, puede consultar las siguientes referencias: González (2019); Jiménez Careaga (2015) y Melo M. et al. (2007).

Resultados Esperados y Discusión

La optimización de los procesos de elaboración de mermelada de frutos amazónicos, para asaí y copoazú, tiene como objetivo maximizar el contenido de compuestos bioactivos, tales como polifenoles y antocianinas, mientras se mantiene un perfil sensorial de impacto al mercado y una estabilidad de sus componentes que permita mayor vida útil del producto final. Este enfoque responde a la demanda creciente de productos funcionales por parte de los consumidores, quienes valoran los beneficios nutricionales y antioxidantes de los alimentos naturales (Gupta et al., 2023; Mendegúz et al., 2024; Uliano et al., 2024).

La Figura 5 muestra una gráfica de superficie de respuesta típica que utiliza tres ejes para visualizar el impacto de las variables de proceso en el contenido de antocianinas de la mermelada final. En esta gráfica, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical la temperatura, permitiendo observar cómo la combinación de estos factores influye en la cantidad de antocianinas. Esta representación visual facilita la identificación de las condiciones óptimas de procesamiento para maximizar el contenido de antocianinas. Además, la gráfica proporciona una función matemática (fórmula) que indica los valores específicos de tiempo y temperatura que permiten obtener el contenido máximo de antocianinas en el producto.

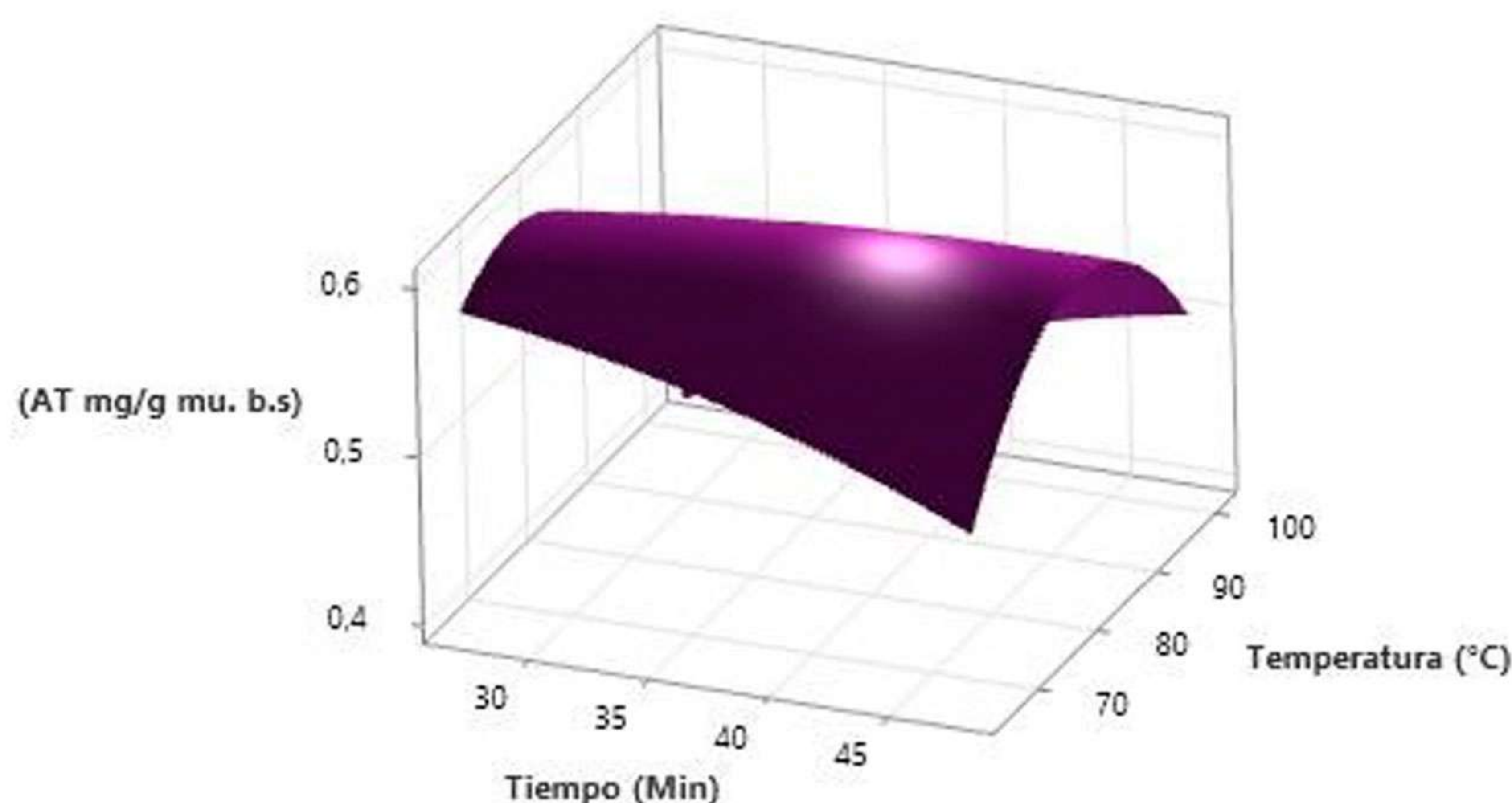


Figura 6. Gráfica de superficie de respuesta contenido de antocianinas

El análisis de superficie de respuesta bajo el diseño compuesto central (DCC) recomendado en este protocolo permite establecer condiciones óptimas de temperatura y tiempo que minimizan la degradación de compuestos bioactivos. Los tratamientos axiales y factoriales evalúan la interacción de los factores de temperatura y tiempos de cocción entre. Según la literatura, estos factores son cruciales, ya que los compuestos bioactivos en frutas amazónicas pueden ser sensibles al calor prolongado (Vargas et al., 2024). Resultados preliminares indican que una temperatura moderada (alrededor de 83 °C) y tiempos de cocción entre 30 y 37.5 minutos preservan mejor estos compuestos, alineándose con los hallazgos de Lespinaud et al. (2012) y Murillo-Franco et al. (2023), quienes también observaron que temperaturas excesivas aceleran la degradación de los antioxidantes. El análisis de superficie permite encontrar los valores óptimos de proceso en donde se cumplen los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos mínimos del producto obtenido. Esto se puede lograr incorporando en el análisis las variables establecidas como requisitos para la legislación nacional, entre las que se encuentran: los sólidos solubles totales, el pH y la acidez final del producto.

El perfil sensorial, que incluye aspectos como sabor, aroma, y textura, es esencial para la aceptación del producto en el mercado. Las formulaciones evaluadas mediante un diseño completamente al azar (DCA) muestran diferencias en la percepción sensorial de los consumidores en función de las proporciones de pulpa de asaí y copoazú. Las formulaciones con mayor proporción de asaí tienden a tener un perfil de sabor más ácido y un color más intenso, lo cual puede incrementar la percepción de naturalidad y frescura, atributos valorados por los consumidores (Akinlolu-Ojo et al., 2022; Samakradhamrongthai et al., 2024). Sin embargo, la inclusión de copoazú en ciertas proporciones permite suavizar la acidez, aportando una nota dulce y balanceada que mejora la aceptación general. Los análisis de sabor y olor muestran que el tratamiento F3, con una relación intermedia de pulpas, es el más aceptado sensorialmente, al obtener puntuaciones más altas en evaluaciones de preferencia.

La estabilidad del producto es fundamental para la vida útil y la seguridad del consumidor. En este contexto, los resultados esperados indican que una concentración óptima de sólidos solubles (60-65 °Brix) y el empleo de conservantes en cantidades adecuadas garantizan la estabilidad del producto. La pasteurización posterior al envasado asegura una reducción significativa de la carga microbiana, lo cual minimiza el riesgo de deterioro. La literatura respalda la importancia de mantener un contenido alto de sólidos solubles para evitar la proliferación microbiana y prolongar la vida útil en condiciones de refrigeración (4 °C) (Dubey et al., 2023; Velotto et al., 2023), lo cual es consistente con las recomendaciones del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (Resolución 810, 2021).

Conclusiones

Este protocolo establece una metodología eficaz para desarrollar mermeladas de frutos amazónicos con propiedades funcionales mejoradas, manteniendo un perfil sensorial atractivo y una estabilidad que cumplen con las normativas de inocuidad alimentaria.

La optimización de las condiciones de procesamiento, especialmente el control de tiempo y temperatura permite maximizar el contenido de compuestos bioactivos en la mermelada, lo cual eleva su valor nutricional y aporta beneficios funcionales para la salud de los consumidores.

La aplicación de esta metodología en el desarrollo de mermeladas de frutos amazónicos garantiza productos de alta calidad, tanto en sus características nutricionales como sensoriales, satisfaciendo la demanda de consumidores que buscan alimentos funcionales para mejorar su calidad de vida.



Referencias Bibliográficas

Akinlolu-Ojo, T., Nwanna, E., Badejo, A. (2022). Physicochemical constituents and antioxidative properties of ripening hog plum (*Spondias Mombin*) fruits and the quality attributes of jam produced from the fruits, 7, Article. <https://doi.org/10.1016/j.meaf00.2022.100037>

Almaghlouth, B. J., Alqahtani, N. K., Alnabbat, K. I., Mohamed, H. A., Alnemr, T. M., & Habib, H. M. (2023). Valorization of Second-Grade Date Fruit Byproducts and Nonstandard Sweet Potato Tubers to Produce Novel Biofortified Functional Jam. *Foods*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/foods12091906>

Anuar, N. A., & Salleh, R. M. (2019). Development of fruit jam from *Averrhoa bilimbi* L. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(4), e13904. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13904>

Asprilla, J. (2018). Estos frutos amazónicos no solo representan una fuente importante de nutrición, sino que también son una alternativa económica para las comunidades locales, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de las regiones. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.

Barragán García, A. M. (2011). Evaluación de procesos para la elaboración de conservas de frutos de agraz (*vaccinium meridionale swartz*). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7764>

Barrera-Chamorro, L., Fernandez-Prior, Á., Rivero-Pino, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2025). A comprehensive review on the functionality and biological relevance of pectin and the use in the food industry. *Carbohydrate Polymers*, 348, 122794. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122794>

Barros, K., Araujo, G., Farias, A., Costa, F., Rocha, G., Oliveira, R., Rodrigues, R., & Santos, L. (2024). Biological activities from açai (*Euterpe spp.* Mart.) seeds and their pharmacological aspects: A systematic review and meta-analysis. *PharmaNutrition*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2024.100405>

Basary, M. R. H., Premakumar, K., & Afreen, S. M. M. S. (2022). Development and Storage Study of Mixed Fruit Jams from Papaya and Pineapple Incorporated with Aloe vera. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. <https://arccjournals.com/journal/asianjournal-of-dairy-and-food-research/DRF-255>

Bendegúz, L., Veccio, R., Caso, G., Eren, B., Unger-Plasek, B., Lakner, Z., Pfeiffer, L., Tómpa, O., Bogóné, Z., Bognár, B., Fehér, O y Temesi, Á. 2024. Eliciting vulnerable consumers' preferences for redundant vs. organic and functional claims: Experimental auction studies among young and older adults. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, Article. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100925>

Bonilla, B., & Abril, J. (2017). Desarrollo de mermeladas de fresa (*Fragaria ananassa*) y de mango (*Mangifera indica*) con sustitución parcial de azúcar por Stevia.

Camara de Comercio de Bogota. (2015). Manual Mermelada. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/adf3c117-9086-4b46b354-49baa95f86d2/content>

Castillo, Y., Lares, M., & Hernández, M. (2012). Caracterización bromatológica y fisicoquímica del fruto amazónico asaí (*Euterpe Precatoria* Mart.). *Vitae*, 19(1), 309-311.

Castro, S., Barrera, J., Carrillo, M., & Hernández, M. (2015). Asaí (*Euterpe precatoria*) Cadena de valor en el sur de la región amazónica. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas- Sinchi. <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/asaipubli.pdf>

Costa, D., Ariseto, A., Carvalho, L., Amado, L., Rodrigues, R., & Rogez, H. (2024). Analysis of polyphenols, anthocyanins and toxic elements in Açai Juice (*Euterpe oleracea* Mart.): Quantification and in vivo assessment of the antioxidant capacity of clarified Açai juice. *Measurement: Food*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.meaf00.2024.100149> R de Mello e Silva, G. N., Batista

Rodrigues, E. S., Lopes de Macêdo, I. Y., Vicente Gil, H. P., Campos, H. M., Ghedini, P. C., Cardozo da Silva, L., Batista, E. A., Lopes de Araújo, G., Vaz, B. G., Pinto de Castro Ferreira, T. A., Oliveira do Couto, R., & de Souza Gil, E. (2022). Blackberry jam fruit (*Randia formosa* (Jacq.) K. Schum): An Amazon superfruit with in vitro neuroprotective properties. *Food Bioscience*, 50, 102084. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102084>

- Díaz, R. O., Hernández, M. S., Díaz, R. O., & Hernández, M. S. (2020). *Theobromas from the Colombian Amazon: A healthy alternative*. *Información tecnológica*, 31(2), 3-10.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200003>
- Dubey, A., Kumar, A., & Rao, P. S. (2021). *Development and storage study of reduced calorie aloe vera (Aloe barbadensis Miller) based pineapple fruit jam*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 961-975. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00689-6>
- Dubey, K., Mishra, S., Marathe, S., Mahajani, S., Arora, A., y Singhal, R. (2023). *Incorporation of jaggery in beetroot jam enhances its antioxidant properties with acceptable sensory and physicochemical profile*. *Food and Humanity*, 1, Article.
<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.08.005>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1995). *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas—Formulaciones*. Manual técnico. <https://www.fao.org/4/x5029s/x5029s07.htm>
- Garzon, G., Narváes-Cuenca, C., Vincken, J., & Gruppen, H. (2017). *Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (Euterpe oleracea Mart.) from Colombia*. *Food Chemistry*, 217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.107>
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O., Nirmal, N y Sahu, J. 2023. *Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective*, 170, Review.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- González, C. (2019). *Análisis de diseño de experimentos con respuesta multiple que mejore las oportunidades de innovación*. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/791/1/Citlaly%20Gonz%C3%A1lez%20Casique.pdf>
- Gordon, A., Gil, A., Correa, M., Cordeiro, S., Araujo, C., Marino, De Andrade, R., Friedrich, M., Martins, V., & Friedhelm, M. (2012). *Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açai fruits (Euterpe oleraceae Mart.) during ripening*. *Food Chemistry*, 133(2), 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.150>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos (2ª Edición)*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Gutierrez-Bravo, R., Lares-Amáiz, M., Mata, C., Hernandez, P., Hernandez-Gomez, M., & Fernandez-Trujillo, J. (2020). *Evaluation of the functional potential of a microencapsulation of asai (Euterpe precatoria) and copoazu (Theobroma grandiflorum) in healthy volunteers*. *Acta Horticulturae*, pag 117-124.
10.17660/ActaHortic.2020.1274.15
- Hernandez, M., & Fernando-Trujillo, J. (2024). *Emergent Amazonian fruits as a source of beverage ingredients*. *Acta Horticulture*, 195-200.
10.17660/ACTAHORTIC.2024.1387.26
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018). *Norma Técnica Colombiana—NTC 1453*.
- Jiménez Careaga, M. G. (2015). *Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto*. *Revista Varianza*, 11, 31.
- Koraqi, H., Petkoska, A., Khalid, W., Kumar, N., & Pareek, S. (2023). *Optimization of experimental conditions for bioactive compounds recovery from raspberry fruits (Rubus idaeus L.) by using combinations of ultrasound-assisted extraction and deep eutectic solvents*. *Applied Food Research*, 3(2).
<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100346>
- Laurindo, L. F., Barbalho, S. M., Araújo, A. C., Guiguer, E. L., Mondal, A., Bachtel, G., & Bishayee, A. (2023). *Açai (Euterpe oleracea Mart.) in Health and Disease: A Critical Review*. *Nutrients*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/nu15040989>
- Melo M., O. O., López P., L. A., & Melo M., S. E. (2007). *Diseño de experimentos: Métodos y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83614>
- Ministerio de Protección Social. (2009). *Resolución 2606 de 2009 MPS*.
https://www.ichf.gov.co/cargues/avance/compilacion/docs/resolucion_minproteccion_2606_2009.htm

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). Resolución 810 de 2021.
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/col210685.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS). (2013). Resolución 3929 de 2013.
https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203929%20de%202013.pdf

Montero, L., Saravia, S., Santos, R., dos Santos, R., Marcia, J., & da Costa, H. (2020).
Nutrients in Amazonian fruit pulps with functional and pharmacological interest.
African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 14(5), 118-127. DOI:
10.5897/AJPP2020.5136

Núñez, J. C., Sandoval-Aldana, A. P., Criollo-Cruz, D., & López-Hernández, M. del P. (2022). Métodos biotecnológicos para despulpar semillas de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex Spring) Schum) y su influencia en la etapa de fermentación. *DYNA*, 89(220), Article 220. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95734>

Uliano, A., Stanco, M., Marotta, G., Nazzaro, C. 2024. Combining healthiness and sustainability: An analysis of consumers' preferences and willingness to pay for functional and sustainable snack bars. *Future Foods*, 9, Article. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100355>

Rocha, L., Lima, M., Farias, L., Tino, C., Reis, N., Melo, J., Ramirez, M. (2024).
Characteristics of the açai seed (Euterpe precatoria Martius) after thermal processing and its potential in soil-cement brick. Case Studies in Construction Materials, 20, Article. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02816> R

Samakradhamrongthai, R., Orapan, N., Srichan, P., Sangpimpa, W., Jannu, T., Supawan, T., Chanakun, P., Yimkaew, Y., y Renaldi, G. 2024. Efecto del jarabe de stevia, el polvo de fruta de okra y el chile blanco tailandés sobre las propiedades fisicoquímicas y las cualidades sensoriales de la mermelada de confitería. *LWT*, 19, Article. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115797>.

Shinwari, K., & Rao, P. (2018). Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.002>

Silveira, J. T. da, Rosa, A. P. C. da, Moraes, M. G. de, Victoria, F. N., & Costa, J. A. V. (2023). An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. *Food Research International*, 173, 113304. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>

Vargas-Arana, G., Rengifo-Salgado, E., & Simirgiotis, M. J. (2023). Potencial antidiabético de plantas medicinales de la amazonía peruana: Una revisión. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 22(3), Article 3. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.3.21>

Velotto, S., Palmeri, R., Alfeo, V., Gugino, I., Fallico, B., Spagna, G., & Tòdaro, A. (2023). The effect of different technologies in Pomegranate jam preparation on the phenolic compounds, vitamin C and antioxidant activity. *Food Bioscience*, 53, Article. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102525>

Yeasmin, F., Khan, M. J., & Riad, M. H. (2020). Evaluation of quality characteristics and storage stability of mixed fruit jam. *Food Research*, 5(1), 225-231. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).365](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).365)