



Análisis de la actividad antioxidante durante el proceso de producción del néctar de copoazú

Analysis of antioxidant activity during cupuassu nectar production

Análise da atividade antioxidante durante a produção do néctar de cupuaçu

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.357>

Rosel Quispe Herrera¹
rherrera@unamad.edu.pe

Cindy Lisbeth Villasante Herrera¹
cvillasante@unamad.edu.pe

Ruth Marcela Torres Farfán²
171688@unsaac.edu.pe

Yolanda Paredes Valverde¹
yparedes@unamad.edu.pe

Alfredo Gutiérrez Corrales¹
agutierrez@unamad.edu.pe

¹Universidad Nacional amazónica de Madre de Dios. Puerto Maldonado, Perú

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú

Artículo recibido: 16 de abril 2025 / Arbitrado: 24 de marzo 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

Los antioxidantes dietéticos, como polifenoles y flavonoides, juegan un papel crucial en la reducción del estrés oxidativo relacionado con enfermedades crónicas. El objetivo del presente estudio fue analizar la actividad antioxidante a lo largo de la producción de néctar de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) llevado a cabo entre enero y febrero de 2023. El cual se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y de tipo experimental. Se utilizaron frutos maduros seleccionados mediante muestreo no probabilístico intencionado para preparar un néctar con 11° Brix y una relación pulpa-agua de 1:6. La capacidad antioxidante fue cuantificada mediante el método fosfomolibdato, mientras que pruebas específicas identificaron fitoquímicos presentes. El análisis estadístico incluyó ANOVA y prueba de Tukey. Los resultados muestran una disminución significativa de la actividad antioxidante a lo largo del proceso productivo, pasando de 1,51 mg de ácido ascórbico/g en la etapa de selección a 0,93 mg/g en el néctar final. La pulpa inicial presentó niveles moderados de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales fueron escasos o inexistentes en el producto final, con un aumento relativo de azúcares reductores. Esta pérdida se atribuye principalmente al tratamiento térmico, especialmente durante la pre-cocción, que causa la degradación de flavonoides y otros compuestos fenólicos. Estos hallazgos resaltan la importancia de optimizar las condiciones de procesamiento para minimizar la degradación de compuestos bioactivos y mejorar la calidad funcional del néctar de copoazú, asegurando así un mayor valor nutricional y saludable para el consumidor.

Palabras clave: Antioxidantes dietéticos; Compuestos fenólicos; Estrés oxidativo; Fitoquímicos; Metabolitos secundarios

ABSTRACT

Dietary antioxidants, such as polyphenols and flavonoids, play a crucial role in reducing oxidative stress associated with chronic diseases. The aim of the present study was to analyze the antioxidant activity throughout the production of copoazú (*Theobroma grandiflorum*) nectar carried out between January and February 2023. The study was developed under a quantitative approach, with a descriptive and experimental scope. Mature fruits selected through intentional non-probabilistic sampling were used to prepare a nectar with 11° Brix and a pulp-water ratio of 1:6. Antioxidant capacity was quantified using the phosphomolybdate method, while specific tests identified present phytochemicals. Statistical analysis included ANOVA and Tukey's test. The results show a significant decrease in antioxidant activity throughout the production process, dropping from 1.51 mg of ascorbic acid/g in the selection stage to 0.93 mg/g in the final nectar. The initial pulp exhibited moderate levels of phenolic compounds and flavonoids, which were scarce or absent in the final product, alongside a relative increase in reducing sugars. This loss is mainly attributed to thermal treatment, particularly during pre-cooking, which causes the degradation of flavonoids and other phenolic compounds. These findings highlight the importance of optimizing processing conditions to minimize the degradation of bioactive compounds and enhance the functional quality of copoazú nectar, thereby ensuring greater nutritional and health value for consumers.

Key words: Dietary antioxidants; Oxidative stress; Phenolic compounds; Phytochemicals; Secondary metabolites

RESUMO

Os antioxidantes dietéticos, como polifenóis e flavonoides, desempenham um papel crucial na redução do estresse oxidativo associado a doenças crônicas. O objetivo do presente estudo foi analisar a atividade antioxidante durante a produção do néctar de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) realizada entre janeiro e fevereiro de 2023. O estudo foi desenvolvido sob uma abordagem quantitativa, com alcance descritivo e experimental. Frutos maduros selecionados por amostragem intencional não probabilística foram utilizados para preparar um néctar com 11° Brix e proporção polpa-água de 1:6. A capacidade antioxidante foi quantificada pelo método do fosfomolibdato, enquanto testes específicos identificaram fitoquímicos presentes. A análise estatística incluiu ANOVA e teste de Tukey. Os resultados mostram uma diminuição significativa da atividade antioxidante durante o processo produtivo, passando de 1,51 mg de ácido ascórbico/g na etapa de seleção para 0,93 mg/g no néctar final. A polpa inicial apresentou níveis moderados de compostos fenólicos e flavonoides, que foram escassos ou ausentes no produto final, com um aumento relativo de açúcares reductores. Essa perda é atribuída principalmente ao tratamento térmico, especialmente durante o pré-cozimento, que causa a degradação de flavonoides e outros compostos fenólicos. Esses achados destacam a importância de otimizar as condições de processamento para minimizar a degradação de compostos bioativos e melhorar a qualidade funcional do néctar de cupuaçu, garantindo assim maior valor nutricional e saudável para o consumidor.

Palavras-chave: Antioxidantes dietéticos; Compostos fenólicos; Estresse oxidativo; Fitoquímicos; Metabolitos secundários

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que se encuentran principalmente en frutas, verduras y cereales. Estos compuestos han despertado un creciente interés en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética, gracias a sus potentes propiedades antioxidantes. Los antioxidantes presentes en los compuestos fenólicos ayudan a neutralizar los radicales libres, protegiendo así a las células del daño oxidativo. Esta capacidad les confiere un papel fundamental en la prevención de enfermedades crónicas, el envejecimiento prematuro y la mejora del bienestar general. Además, su presencia en alimentos naturales los convierte en ingredientes valiosos para el desarrollo de productos funcionales que promueven la salud humana de manera efectiva y segura (1).

Por otro lado, el estrés oxidativo, causado por un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad antioxidante del organismo, está relacionado con enfermedades crónicas como cardiovasculares y cáncer (2). Los antioxidantes, son compuestos capaces de neutralizar radicales libres, desempeñan un papel fundamental en la prevención de estos padecimientos y en el mantenimiento de la salud celular (3). Su inclusión en la dieta, a través de alimentos ricos en compuestos bioactivos como polifenoles y

flavonoides, contribuye significativamente a la reducción del impacto negativo del estrés oxidativo (4) y reducir los factores de riesgo asociados con enfermedades cardiovasculares y el cáncer (5).

Asimismo, los productos funcionales, como néctares de frutas tropicales ricos en polifenoles, destacan por su perfil nutricional y beneficios contra enfermedades inflamatorias (6), además ayudan al sistema circulatorio al prevenir la oxidación de las grasas malas (LDL), bajar la presión arterial, mejorar el funcionamiento de los vasos sanguíneos y reducir la inflamación (7). Entre estas frutas se encuentra el copoazú (*Theobroma grandiflorum*), una especie perteneciente a la familia Malvaceae, originaria de la Amazonía, reconocida por su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, como el ácido gálico y el ácido elágico, los cuales le otorgan una elevada capacidad antioxidante (8).

Por otra parte, esta fruta amazónica es utilizada no solo por sus destacadas propiedades antioxidantes, sino también por su variedad en la elaboración de alimentos como el néctar. Sin embargo, el proceso de tratamiento industrial, que comprende fases como la precocción y la pasteurización, puede alterar la estabilidad de sus elementos bioactivos. Estos procesos de calor, perentorios para garantizar la asepsia del producto y prolongar su durabilidad, provocan

una degradación apreciable de flavonoides y polifenoles, disminuyendo la capacidad antioxidante (9,10). Esta circunstancia resalta la importancia de perfeccionar los procedimientos de producción para mantener las características funcionales del néctar de copoazú.

Adicionalmente, varios estudios han evidenciado que los procedimientos de tratamiento térmico son los principales causantes de la disminución de compuestos bioactivos en productos frutales. Por ejemplo, en el proceso de precocinado y pasteurización, se nota una reducción gradual de flavonoides y sustancias fenólicas, lo que repercute de manera adversa en la calidad nutricional del producto final (11,12). Para el copoazú, la actividad antioxidante, evaluada en relación a equivalentes de ácido ascórbico, disminuye considerablemente durante las fases de procesamiento, siendo la fase de precocción la más crucial.

Al respecto, aparte de su potencial antioxidante, el copoazú alberga metabolitos secundarios como azúcares reductores, aminoácidos y una cantidad moderada de compuestos fenólicos. No obstante, el tratamiento con calor puede modificar la composición fitoquímica, potenciando algunos elementos, como los azúcares reductores, y disminuyendo otros, como los flavonoides, vitales para la

actividad antioxidante (13,14). Esto resalta la importancia de implementar tácticas para reducir la pérdida de compuestos bioactivos durante la elaboración, asegurando de esta manera un producto funcional con ventajas para la salud.

En consecuencia, la creciente demanda de alimentos funcionales y naturales impulsa la investigación en tecnologías que preserven los compuestos antioxidantes durante el procesamiento. Entre las estrategias sugeridas se encuentran el uso de tratamientos térmicos menos agresivos, como la pasteurización a baja temperatura, y la incorporación de aditivos naturales ricos en antioxidantes que compensen la pérdida de compuestos bioactivos (15,16). Además, la implementación de envases protectores puede prevenir la oxidación de compuestos fenólicos durante el almacenamiento, optimizando la calidad del producto final (11).

Considerando todo lo anterior, la relevancia del copoazú como una fuente rica en compuestos antioxidantes y los desafíos asociados con su procesamiento, este estudio tiene como objetivo analizar la actividad antioxidante a lo largo de la producción de néctar de copoazú (*Theobroma grandiflorum*), identificando las etapas críticas de pérdida de compuestos bioactivos y proponiendo estrategias de mejora que preserven las propiedades funcionales del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y de tipo experimental. Para ello, se emplearon los materiales y equipos disponibles en el Laboratorio de Procesos de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, ubicada en Madre de Dios, Perú. Durante el estudio, se realizó el tratamiento de las muestras, la obtención del néctar y la recolección de las muestras en las diferentes etapas del proceso de elaboración, garantizando la adecuada preparación para los análisis correspondientes. Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio

de Análisis de Alimentos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en Cusco, Perú, asegurando rigurosidad y precisión en los resultados obtenidos.

Por otra parte, las muestras fueron colectadas del centro poblado "Unión Progreso", ubicado en el distrito de Tambopata, en la región de Madre de Dios, Perú, durante los meses de enero y febrero de 2023. Se emplearon frutos maduros de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) Figura 1, una especie de interés agroindustrial, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico intencionado. Los frutos seleccionados presentaban un grado de madurez adecuado y determinado visualmente.



Figura 1. Frutos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y su pulpa.

En cuanto a la obtención del néctar de copoazú, los frutos seleccionados fueron sometidos a un riguroso proceso de lavado y desinfección para garantizar la inocuidad del producto antes de su procesamiento. Posteriormente, se procedió a la extracción de la

pulpa, la cual se mezcló con agua en una relación específica de uno a seis (1:6) para optimizar la consistencia y homogeneidad. El néctar resultante fue ajustado a una concentración de 11° Brix, un parámetro clave que asegura la calidad del producto.

En relación, al diseño experimental se empleó un completamente aleatorizado, estructurado en tres fases críticas para la producción del néctar de copoazú: A: etapa de selección y preparación de frutos, B: etapa de procesamiento y homogeneización de la pulpa, y C: etapa de formulación y estandarización del néctar final. Cada fase operativa fue replicada en tres unidades experimentales independientes, asignadas aleatoriamente para minimizar sesgos y garantizar la representatividad estadística. La unidad experimental consistió en 1 kg de pulpa de copoazú por réplica, seleccionada bajo criterios de uniformidad en madurez y calidad.

Por otra parte, el protocolo de procesamiento incluyó un tratamiento térmico inicial de precocción a 75 °C durante cinco minutos, seguido de un enfriamiento controlado a temperatura ambiente para estabilizar los componentes termosensibles. Las condiciones ambientales durante todas las etapas experimentales se mantuvieron estandarizadas, con una temperatura promedio de 23 ± 1 °C y una humedad relativa del $60 \pm 5\%$, monitoreadas mediante dispositivos calibrados. Este control riguroso garantizó la reproducibilidad de los resultados y minimizó la variabilidad asociada a factores externos. Adicionalmente, se implementaron protocolos de higienización de superficies y utensilios antes de cada etapa, asegurando la integridad microbiológica del proceso. La combinación

de estos parámetros permitió preservar las propiedades fisicoquímicas del producto, optimizar su vida útil y estandarizar las condiciones para futuras réplicas experimentales.

En relación al proceso de elaboración del néctar de copoazú se empleó 18.611,0 gramos de pulpa de copoazú como materia prima principal, equivalente a aproximadamente el 91% del total de insumos sólidos. Además, se incorporaron 1.654,0 gramos de azúcar refinada, representando cerca del 8% de la mezcla, con el fin de alcanzar los grados Brix óptimos. Como estabilizante, se adicionaron 14,2 gramos de carboximetilcelulosa (CMC), equivalente al 0,07% del total, para garantizar la homogeneidad del néctar y evitar la sedimentación de partículas durante el almacenamiento.

Por otro lado, el análisis fitoquímico (identificación de metabolitos secundarios) se efectuó mediante las reacciones de identificación definidas por Lock (14), en 1994 y Valencia (13), en 1995. Se han desarrollado métodos preliminares de detección para compuestos químicos en plantas, los cuales se fundamentan en la solubilidad con disolventes adecuados y en la realización de ensayos de coloración (13). Previo a la aplicación de los métodos de caracterización, se llevaron a cabo ensayos de disolución del extracto para obtener una solución, utilizando solventes de diferentes polaridades.

Asimismo, los métodos de identificación de metabolitos secundarios empleados fueron: la prueba de Shinoda se utilizó para detectar flavonoides mediante la aparición de coloraciones rojizas, amarillentas o azuladas tras la reacción con reactivos específicos. Para los compuestos fenólicos, se aplicó el reactivo de FeCl₃, que generó la formación de precipitados o cambios de coloración hacia tonos azules o verdes, indicativos de la presencia de grupos hidroxifenólicos.

En este contexto, en el caso de los alcaloides, el reactivo de Dragendorff permitió confirmar su existencia a través de la formación de precipitados característicos, un método ampliamente validado en la identificación de bases nitrogenadas. Además, la prueba de Benedict se empleó para identificar azúcares reductores, observándose un precipitado de color rojo como resultado positivo,

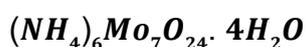
lo que refleja la capacidad reductora de estos carbohidratos. Estos procedimientos, constituyen herramientas fundamentales para el análisis preliminar de extractos vegetales en estudios fitoquímicos.

Para evaluar la acción antioxidante total del extracto, se utilizó el método de fosfomolibdeno, donde los antioxidantes reducen Mo (VI) a Mo (V), formando un complejo fosfato/Mo (V) con un pico de absorción a 695 nm. Se mezclaron 0,3 ml de la muestra y ácido ascórbico (1 mg/ml) con 3,0 ml de solución reactiva de fósomolibdato. La mezcla se mantuvo en baño isotérmico a 95 °C durante 90 minutos y luego se hizo la lectura de la absorbancia a 695 nm. El potencial antioxidante se expresa como equivalentes de ácido ascórbico en microgramos por miligramo de extracto (16).

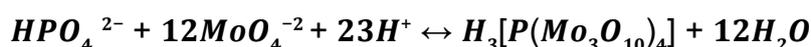
Cuya estequiometría de esta reacción es:



(Donde MoO₄²⁻ es la abreviatura empleada para el heptamolibdato (6-) [Mo₇O₂₄]⁶⁻, obtenido a partir del heptamolibdato (6-) de amonio de fórmula (sal comercial).



En un ambiente altamente ácido, se genera el ácido 12-(MPA). Cuya ecuación abreviada podría ser:



El compuesto originado 12-(MPA) se reduce a un complejo azul PMB, a través de la reacción química.



Donde n representa la cantidad de moles del compuesto reductor (Red), utilizado para transformar una mol de 12-(MPA) en azul de fosfomolibdato (PMB o "phosphomolybdate blue"). Cuando se emplea ácido ascórbico como reductor, la reacción procede de la forma:

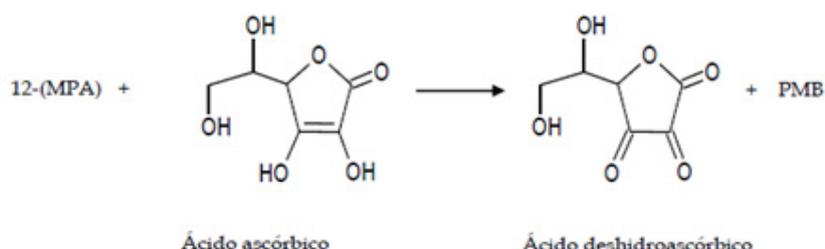


Figura 2. Oxidación del ácido ascórbico a ácido deshidroascórbico.

La fórmula del heteropolio PMB aún no es conocida, pero puede rodear al molibdeno con números de oxidación de 3+ y 5+ (17).

La curva modelo para evaluar la capacidad antioxidante se realizó utilizando al ácido ascórbico como patrón a razón de 0,1 mg/ml y se mezclaron con el reactivo de fósfomolibdato, cuya preparación para este objetivo se refiere en la Tabla 1, (18).

Tabla 1. Proporciones de los reactivos para la elaboración de la curva patrón.

N° Tubo	Solución estándar (ácido ascórbico) (ml*)	Agua (ml*)	Reactivo de fósfomolibdato (ml*)
1	0	1	1
2	0,1	0,9	1
3	0,3	0,7	1
4	0,5	0,5	1
5	0,7	0,3	1

Fuente: Murillo et al., (18), en el 2006. * mililitro.

Después de calentar la mezcla durante 45 minutos y añadir 5 ml de agua para su dilución, se realizó la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 695 nm.

Para valorar la capacidad antioxidante en la muestra, se pesaron aproximadamente 5 gramos del fruto y la pulpa, los cuales fueron

agitados con 10 ml de etanol al 70 % durante 10 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 4500 rpm durante 5 minutos. Se extrajo un ml del líquido, al cual se le agregó 1 ml del reactivo fosfomolibdato. Tras calentar por 45 minutos y diluirla con 5 ml de agua, se midió su absorbancia a 695 nm utilizando el espectrofotómetro UV-

Visible (SPECTROPHOTOMETER EVOLUTION 300). Además, se cuantificó la actividad antioxidante comparando con la curva patrón obtenida.

Posteriormente, los datos fueron analizados utilizando la técnica estadística del análisis de varianza (ANOVA) para comparar las diferencias entre los tratamientos a un nivel de significancia del 5 % ($p < 0,05$). Posteriormente, se realizó la prueba de Tukey para comparar las medias de los tratamientos mediante el lenguaje de programación estadístico R 4.3.2, bajo la interfaz de desarrollo integrado Rstudio 2023.9.1.494.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad del copoazú (*Theobroma grandiflorum*) fresco fue de 89,11 %. En cuanto a los compuestos fitoquímicos, la pulpa inicial mostró una presencia moderada de compuestos fenólicos y flavonoides. Sin embargo, estos compuestos fueron escasos o prácticamente ausentes en el néctar final, lo que resalta el efecto del procesamiento térmico sobre la estabilidad de los fitoquímicos. Contrariamente, se observó un aumento relativo en los azúcares reductores, especialmente en las últimas etapas del proceso.

Por otro lado, la capacidad antioxidante del néctar de copoazú mostró una disminución

significativa a lo largo del proceso de producción. En la etapa de selección de los frutos, la capacidad antioxidante fue de 1,51 miligramos de ácido ascórbico por gramo (mg/g), mientras que en el néctar final está disminuyó a 0,93 mg/g. Esta reducción es destacada por el tratamiento térmico aplicado, especialmente la pre-cocción, que contribuyó a la degradación de los flavonoides y compuestos fenólicos (componentes responsables de la capacidad antioxidante) presentes en la pulpa inicial, como se puede observar en la Figura 3.

Según los resultados del ANOVA, el valor $F = 111,31$ y el valor $p < 0,05$ (específicamente, $6,246 \times 10^{-11}$) indican diferencias estadísticamente significativas en la capacidad antioxidante de los productos a lo largo de las diferentes etapas del proceso de elaboración del néctar de copoazú. Esto sugiere que las etapas del proceso—selección, precocción, estandarizado y pasteurización—tienen un impacto notable en la capacidad antioxidante del néctar. Además, la prueba post-hoc de Tukey, con un nivel de alfa de 0,05, identificó tres subconjuntos: selección, precocción, y estandarizado y néctar, sin traslapes, lo que confirma diferencias significativas entre ellos Figura 3.



* miligramos

** gramos

Figura 3. Cambio de la capacidad antioxidante durante la elaboración del néctar de copoazú.

Por consiguiente, uno de los principales objetivos de esta investigación es desarrollar estrategias que reduzcan la desnaturalización de los componentes antioxidantes durante el procesamiento del néctar de copoazú. Una opción viable sería explorar tratamientos térmicos menos agresivos, como la pasteurización a baja temperatura, o incluso tecnologías emergentes como la pasteurización por pulsos eléctricos. Estas alternativas han demostrado ser eficaces para mantener los compuestos bioactivos en productos alimentarios, lo que podría mejorar la calidad del néctar.

Por tanto, es fundamental considerar la implementación de métodos de conservación alternativos, como el uso de envases que protejan el néctar de la luz y el oxígeno, factores que pueden acelerar la degradación de los antioxidantes

durante el almacenamiento. Estudios previos han demostrado que la oxidación de los compuestos fenólicos puede verse exacerbada por la exposición a la luz. Por lo tanto, el uso de envases opacos podría ser una estrategia adicional para preservar la calidad antioxidante del néctar.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la relevancia de los compuestos fenólicos y flavonoides como principales responsables de la capacidad antioxidante del copoazú (*Theobroma grandiflorum*). Estos metabolitos secundarios han sido ampliamente estudiados por su capacidad para neutralizar radicales libres y prevenir enfermedades crónicas como el cáncer y las cardiovasculares (2,5). La disminución de estos compuestos durante el

procesamiento térmico, observada en este estudio, coincide con investigaciones previas que destacan la sensibilidad de los compuestos fenólicos al calor (9).

Además, la preservación de estos compuestos bioactivos en los alimentos es de suma importancia debido a los múltiples beneficios que aportan a la salud humana, especialmente cuando se consideran dentro del contexto de los alimentos funcionales. Diversos estudios científicos han destacado que el consumo regular de alimentos ricos en antioxidantes contribuye significativamente a la reducción del impacto negativo del estrés oxidativo en el organismo (5). Este efecto protector se traduce en una menor incidencia de enfermedades crónicas, como las cardiovasculares y neurodegenerativas, y en una mejora general de la calidad de vida. Por ello, es fundamental implementar estrategias adecuadas para conservar estos compuestos durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (19), asegurando así que sus propiedades beneficiosas lleguen intactas al consumidor final (4,12).

Sin embargo, la elaboración de néctares implica procesos físicos y térmicos que pueden comprometer la estabilidad y la concentración de estos compuestos bioactivos. El tratamiento térmico, como la precocción, es particularmente relevante en este aspecto, ya que puede

disminuir drásticamente la actividad antioxidante del producto final debido a la degradación de sustancias sensibles al calor, como los flavonoides y los compuestos fenólicos (9,10). Esto es evidente en los reportes sobre el estudio del néctar de copoazú, donde se observa una significativa disminución en la acción antioxidante en cada etapa de elaboración, siendo la precocción la más crítica.

A su vez, el copoazú (*Theobroma grandiflorum*), una fruta tropical rica en compuestos fenólicos, como el ácido gálico y el ácido eláxico, ha mostrado una alta actividad antioxidante (8). Estas moléculas tienen la acción de neutralizar radicales libres, lo que contribuye a la estabilidad oxidativa de la fruta y al potencial uso del copoazú como un alimento funcional. Este escenario indica la importancia de resguardar la amplia cantidad de estos componentes bioactivos durante el procesamiento del néctar. La demanda de productos naturales y saludables en el mercado actual exige que los alimentos funcionales, como los néctares, mantengan sus propiedades antioxidantes para poder ser considerados efectivos en la promoción de la salud (6).

Por otro lado, el diseño experimental implementado en esta investigación permitió analizar de manera integral y sistemática las etapas críticas involucradas en el procesamiento del néctar de copoazú, incluyendo la selección de materia

prima, el tratamiento térmico y la estabilización de componentes bioactivos. La metodología empleada priorizó la selección de frutos maduros, cuya calidad organoléptica y fisicoquímica —como el nivel de acidez, el contenido de sólidos solubles y la concentración de antioxidantes— garantizó un punto de partida óptimo para la elaboración del producto. Esta fase inicial resultó fundamental para asegurar la preservación de nutrientes y compuestos funcionales durante las operaciones unitarias posteriores. Adicionalmente, se establecieron controles estrictos en parámetros como el tiempo de pasteurización y la relación pulpa-agua, lo que permitió estandarizar un proceso replicable y eficiente. La combinación de estos elementos no solo optimizó la calidad del néctar, sino que sentó las bases para el desarrollo de alimentos funcionales con propiedades nutricionales superiores (8).

Consecuentemente, las condiciones de procesamiento aplicadas en este estudio, que incluyeron una etapa de pre-cocción a 75 °C durante 5 minutos, demostraron ser adecuadas para garantizar la inocuidad microbiológica del producto y cumplir con los estándares de seguridad alimentaria. Sin embargo, este tratamiento térmico también se identificó como un factor crítico en la degradación de compuestos bioactivos, particularmente de fenoles totales y flavonoides, lo cual redujo significativamente la capacidad

antioxidante del alimento. Este fenómeno coincide con investigaciones previas que señalan que las temperaturas elevadas durante el procesamiento térmico generan pérdidas irreversibles de compuestos termolábiles, especialmente en matrices vegetales ricas en polifenoles (11).

Asimismo, la implementación de técnicas analíticas avanzadas, como el método de fosfomolibdeno para cuantificar la capacidad antioxidante y las pruebas fitoquímicas cualitativas dirigidas a identificar metabolitos secundarios, permitió obtener datos confiables, precisos y altamente reproducibles. Estas metodologías, validadas mediante protocolos estandarizados, demostraron ser herramientas fundamentales para caracterizar la composición bioquímica de las muestras analizadas. Su aplicación sistemática no solo facilitó la detección de compuestos bioactivos, sino que también estableció correlaciones entre el perfil fitoquímico y las propiedades funcionales del producto. Cabe destacar que estos procedimientos son ampliamente reconocidos en el ámbito de la ciencia de los alimentos, particularmente en estudios orientados al desarrollo de alimentos funcionales, donde la estandarización analítica es esencial para garantizar la trazabilidad y calidad de los resultados obtenidos (13,14).

Por lo tanto, este hallazgo concuerda con la evidencia científica reportada en investigaciones

previas, las cuales indican que el incremento de la temperatura durante las etapas de pre-cocción y pasteurización genera una reducción significativa en la concentración de compuestos bioactivos, particularmente aquellos con alta sensibilidad térmica, como la vitamina C, los polifenoles y los flavonoides. Estos componentes, esenciales por su capacidad antioxidante y su rol en la prevención de enfermedades crónicas, experimentan procesos de degradación molecular acelerada bajo condiciones de calor prolongado, lo que compromete su estabilidad y funcionalidad en el producto final. Estudios recientes proponen estrategias alternativas, como la optimización de tiempos de exposición térmica, el uso de técnicas de procesamiento no térmicas o la adición de protectores termoestables, para minimizar estas pérdidas sin afectar la inocuidad del alimento, garantizando así un equilibrio entre calidad nutricional y seguridad microbiológica (9,10).

Adicionalmente, es fundamental resaltar que los flavonoides, inicialmente presentes en concentraciones moderadas en la pulpa fresca, se degradan completamente durante el procesamiento térmico, desapareciendo por completo en el néctar final. Este fenómeno evidencia el impacto drástico de las altas temperaturas sobre estos compuestos termolábiles, cuya estructura molecular se ve alterada irreversiblemente. La

ausencia de flavonoides en el producto terminado resulta especialmente preocupante, ya que estos metabolitos secundarios son reconocidos por su capacidad para neutralizar radicales libres, modular procesos inflamatorios y mejorar la función hepática, atributos clave en la prevención de enfermedades crónicas. Estudios recientes sugieren que la implementación de técnicas de procesamiento alternativas, como el tratamiento por ultrasonido o la pasteurización a temperaturas controladas en tiempos reducidos, podría mitigar estas pérdidas, preservando así las propiedades bioactivas del néctar sin comprometer su seguridad microbiológica (6).

Por consiguiente, esta evidencia estadística robusta respalda la necesidad crítica de optimizar los parámetros operativos durante el procesamiento, particularmente en la etapa de pre-cocción, para reducir al mínimo la degradación de antioxidantes termolábiles en el néctar de copoazú. Los resultados obtenidos sugieren que la implementación de estrategias tecnológicas alternativas, como el ajuste de temperaturas y la disminución de los tiempos de exposición térmica, podría mitigar significativamente las pérdidas de compuestos bioactivos sin afectar la inocuidad microbiológica del producto. Estas modificaciones no solo mejorarían el valor nutricional del néctar, sino que también potenciarían sus propiedades

funcionales, posicionándolo como un alimento con beneficios específicos para la salud del consumidor (6,9).

Una alternativa prometedora, consiste en la incorporación de aditivos naturales, como extractos vegetales ricos en polifenoles, durante las etapas de formulación del néctar. Estos compuestos no solo compensan la pérdida de bioactivos durante el procesamiento térmico, sino que también potencian la estabilidad antioxidante del producto final mediante sinergias moleculares. Además, su inclusión responde a la creciente demanda de los consumidores por alimentos funcionales, naturales y mínimamente procesados, alineándose con tendencias globales en nutrición consciente. Estudios recientes demuestran que la adición controlada de estos extractos puede mejorar el perfil sensorial y ofrecer declaraciones de propiedades saludables verificables, como alto contenido en antioxidantes, lo que aumenta el valor comercial del producto (15).

De este modo, los resultados de esta investigación corroboran que el tratamiento térmico, específicamente la pre cocción, tiene un impacto significativo en la actividad antioxidante del néctar de copoazú. La degradación de compuestos bioactivos, como los flavonoides y los compuestos fenólicos, es considerable, lo que sugiere que el proceso de elaboración debe

ser optimizado para preservar estas importantes propiedades funcionales del producto final (20). Dado la progresiva importancia de consumir alimentos naturales y funcionales, es fundamental que la industria alimentaria adopte medidas para minimizar la pérdida de antioxidantes durante el procesamiento, ya que esto no solo mejorará la calidad nutricional del néctar, sino que también incrementará su valor en el mercado.

Por lo que, los resultados de este estudio son consistentes con investigaciones previas en frutas tropicales y productos derivados, como el café y los jugos mixtos de frutas, donde se ha documentado una pérdida significativa de compuestos fenólicos debido al procesamiento térmico (9,11). Esto subraya la necesidad de estrategias para minimizar estas pérdidas, tales como el uso de tratamientos térmicos menos agresivos y la incorporación de aditivos naturales ricos en antioxidantes (5,15).

Objetivamente, el uso de técnicas de procesamiento más suaves, la incorporación de aditivos naturales y el empleo de envases protectores son algunas de las estrategias que podrían implementarse para garantizar que los néctares de frutas, como el de copoazú, conserven su capacidad antioxidante y sus beneficios para la salud. Como se ha demostrado en estudios previos, la preservación de los compuestos bioactivos no solo es importante para la salud del

consumidor, sino que también es un factor clave para la competitividad de estos productos en un mercado cada vez más exigente y orientado hacia la alimentación funcional (6,12).

CONCLUSIONES

El estudio evidencia que el procesamiento térmico, particularmente la etapa de pre-cocción, incide significativamente en la reducción de la capacidad antioxidante del néctar de copoazú, debido a la degradación de compuestos termolábiles como fenoles y flavonoides. Esto indica la necesidad de optimizar los parámetros tecnológicos para minimizar la pérdida de bioactivos, priorizando métodos que equilibren la inocuidad microbiológica con la preservación nutricional. La implementación de estrategias alternativas, como tratamientos térmicos moderados o aditivos naturales, podría potenciar la calidad funcional del producto, asegurando beneficios saludables para el consumidor. Estos hallazgos resaltan la relevancia de adaptar los procesos industriales a las demandas actuales de alimentos funcionales, fortaleciendo su valor nutricional y competitividad en el mercado.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Suliman S, Othman N, Noah F, Kahar N. Separation of phenolic compounds from fruit processing wastewater using liquid membrane technology: A short review. *Biochem Eng J.* 2023; 200:109096. Doi: 10.1016/j.bej.2023.109096
2. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biol.* 2015; 4:180-3. Doi: 10.1016/j.redox.2015.01.002
3. Shahidi F, Zhong Y. Measurement of antioxidant activity. *J Funct Foods.* 2015; 18:757-81. Doi: 10.1016/j.jff.2015.01.047
4. Pandey K, Rizvi S. Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxid Med Cell Longev.* 2009;2(5):897484. Doi: 10.4161/oxim.2.5.9498
5. Urango A, Montoya A, Cuadros A, Henao D, Zapata P, López L, et al. Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud. *Perspect En Nutr Humana.* 2009;11(1):27-38. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0124-41082009000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es
6. Navajas B, Pérez S, Valverde J, Hinojosa D, Pastoriza S, Rufián Á. Effect of Cooking Methods on the Antioxidant Capacity of Plant Foods Submitted to In Vitro Digestion–Fermentation. *Antioxidants.* 2020;9(12):1312. Doi: 10.3390/antiox9121312
7. Kocabas S, Sanlier N. The power of berries against cardiovascular diseases. *Nutr Rev.* 2024;82(7):963-77. Doi: 10.1093/nutrit/nuad111
8. Beserra M, Machado P, Campos M, Matias G, Carvalho C, Arraes G, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Res Int.* 2011;44(7):2155-9. Doi: 10.1016/j.foodres.2011.03.051
9. Huanca R, Sossa M. Comportamiento cinético de compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante bajo tratamiento térmico en la elaboración de mermelada de frutilla (*Fragaria*

- sp.). CIBUM Sci. 2022;1(2):98-104. Doi: 10.53287/ikjf6985ym26w
- 10.** Abdul N, Haron H, Mustafa A, Shahar S. Physicochemical Properties, Total Phenolic and Antioxidant Activity of Mixed Tropical Fruit Juice, TP 3 in 1TM. J Agric Sci. 2017;9(13): 50. Doi: 10.5539/jas.v9n13p50
- 11.** Pacheco F, Torres R, Arvelo T, Velasquez I. Variación de la actividad antioxidante por efecto del tostado en granos de café (*Coffea arabica*), estado Miranda, Venezuela. Cienc Ambiente Clima. 2020;3(2):49-56. Doi: 10.22206/cac. 2020.v3i2.pp49-56
- 12.** Shahidi F, Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. J Funct Foods. 2015; 18:820-97. Doi: 10.1016/j.jff.2015.06.018
- 13.** Valencia O. Fundamentos de Fitoquímica | ISBN 978-968-24-4940-6 - Libro [Internet]. México, DF: Editorial Trillas; 1995. 235. <https://isbn.cloud/9789682449406/fundamentos-de-fitoquimica/>
- 14.** Lock O. Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales [Internet]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Departamento de Ciencias; 1994. 213. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/181719>
- 15.** Oroian M, Escriche I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. Food Res Int. 2015; 74:10-36. Doi: 10.1016/j.foodres.2015.04.018
- 16.** Bag G, Grihanjali D, Bhaigyabati T. Assessment of Total Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Methanolic Rhizome Extract of Three *Hedychium* Species of Manipur Valley. Int J Pharm Sci Rev Res. 2015;30(1):154-9. <https://1library.net/document/y9nprxlz-assessment-flavonoid-antioxidant-activity-methanolic-hedychium-grihanjali-bhaigyabati.html>
- 17.** Murphy J, Riley J. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta. 1962; 27:31-6. Doi: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5
- 18.** Murillo E, Tique M, Ospina L, Lombo Ó. Evaluación preliminar de la actividad hipoglicémica en ratones diabéticos por aloxano y capacidad antioxidante in vitro de extractos de *Bauhinia kalbreyeri* Harms. Rev Colomb Cienc Quím-Farm. 2006;35(1):64-80. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-74182006000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- 19.** Huerta K, Flores E, Contreras A, Villegas Á, Chavez S, Arévalo Ma de L. Incorporación de compuestos bioactivos en productos hortofrutícolas mediante deshidratación osmótica: una revisión. Rev Mex Cienc Agríc. 2023; 14(8). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342023000800010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 20.** Quispe R, Belizario C, Quispe C, Quispe H, Paredes Y, Cahuana P, et al. Capacidad antioxidante del néctar de unguirahuí (*Oenocarpus bataua*). Nutr Clínica Dietética Hosp. 2022;42(01):80-6. <https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/209>