



Desarrollo experimental de un prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes

Experimental Development of an Energy Bar Prototype with Antioxidant Properties

AUTORES

Carrasco Delgado Frabrizio Adrián

Universidad Agraria del Ecuador

Ecuador – Guayaquil

fabrizio.carrasco.delgado@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-5358-7065>

Avilés Pinargote Fernando José

Universidad Agraria del Ecuador

Ecuador – Guayaquil

fernando.aviles.pinargote@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-3947-6387>

Como citar: Carrasco Delgado, F. A., & Avilés Pinargote, F. J. (2023). Desarrollo experimental de un prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes . <i>Revista Internacional De Investigación Y Desarrollo Global</i> , 2(4), 64–83. https://doi.org/10.64041/riidg.v2i4.44	V. 2, N. 4, Año (2023), Pág. 64-84 Fecha de recepción: 2023-09-10 Fecha de aceptación: 2023-11-08 Fecha de publicación: 2023-12-15
---	---



Resumen

El creciente interés por alimentos funcionales ha impulsado el desarrollo de productos que no solo aporten valor nutricional, sino que también promuevan beneficios adicionales para la salud. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar y evaluar de manera experimental un prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes, orientada a consumidores activos y conscientes de su salud. La formulación se fundamentó en el uso de ingredientes naturales de alto contenido bioactivo, destacando la incorporación de acaí liofilizado (*Euterpe oleracea*), una fruta amazónica reconocida por su alto contenido de antocianinas, flavonoides y otros compuestos fenólicos con capacidad antioxidante.

El proceso metodológico incluyó una fase de preformulación para seleccionar los ingredientes base (copos de avena, semillas de chía, frutas deshidratadas, miel natural y manteca de maní), seguida por una etapa de diseño experimental con enfoque factorial, donde se evaluaron diferentes proporciones de acaí y aglutinantes naturales para determinar la formulación óptima en cuanto a textura, cohesión, estabilidad y valor funcional. La evaluación incluyó análisis bromatológico (proteína, grasa, fibra, humedad y carbohidratos), pruebas de actividad antioxidante mediante métodos DPPH y ABTS, y una evaluación sensorial con 30 panelistas no entrenados, utilizando una escala hedónica de 9 puntos.

Los resultados obtenidos revelaron que el prototipo final alcanzó una actividad antioxidante significativa (superior a 75 % de inhibición en DPPH), con una adecuada composición nutricional y un nivel de aceptación sensorial promedio de 7,8/9, principalmente por su sabor, textura y apariencia natural. Además, se comprobó que la liofilización del acaí permitió conservar de forma eficaz los compuestos bioactivos durante el proceso de formulación.

Se concluye que el uso de ingredientes naturales con propiedades funcionales, como el acaí liofilizado, constituye una estrategia tecnológica viable para el desarrollo de alimentos funcionales de tipo snack, con alto potencial de aplicación en el mercado de la nutrición deportiva, alimentación saludable y consumo consciente. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones orientadas a la conservación de compuestos bioactivos, vida útil del producto y escalamiento industrial del prototipo desarrollado.

Palabras clave: Acaí liofilizado, alimentos funcionales, Barras energéticas, actividad antioxidante, compuestos bioactivos.

Abstract

The growing interest in functional foods has driven the development of products that not only provide nutritional value but also offer additional health benefits. In this context, the present study aimed to design and experimentally evaluate a prototype of an energy bar with antioxidant properties, targeting active and health-conscious consumers. The formulation was based on the use of natural ingredients with a high bioactive content, highlighting the incorporation of freeze-dried açai (*Euterpe oleracea*), an Amazonian fruit known for its high levels of anthocyanins, flavonoids, and other phenolic compounds with antioxidant capacity.

The methodological process included a preformulation phase to select the base ingredients (rolled oats, chia seeds, dried fruits, natural honey, and peanut butter), followed by an experimental design stage using a factorial approach. Different proportions of açai and natural binders were evaluated to determine the optimal formulation in terms of texture, cohesion, stability, and functional value. The evaluation included proximate analysis (protein, fat, fiber, moisture, and carbohydrates), antioxidant activity tests using DPPH and ABTS methods, and a sensory evaluation with 30 untrained panelists using a 9-point hedonic scale.

The results showed that the final prototype achieved significant antioxidant activity (over 75% inhibition in DPPH), with an adequate nutritional composition and an average sensory acceptability of 7.8 out of 9, mainly due to its flavor, texture, and natural appearance. Additionally, it was confirmed that the freeze-drying process effectively preserved the bioactive compounds during formulation.

It is concluded that the use of natural ingredients with functional properties, such as freeze-dried açai, constitutes a viable technological strategy for the development of snack-type functional foods, with high potential for application in the sports nutrition, healthy eating, and conscious consumption markets. This study lays the groundwork for future research focused on the preservation of bioactive compounds, product shelf life, and industrial scaling of the developed prototype.

Keywords: Freeze-dried açai, functional foods, energy bars, antioxidant activity, bioactive compounds

Introducción

En la actualidad, se observa una creciente tendencia en el desarrollo de alimentos funcionales, impulsada por consumidores que demandan productos no solo energéticos y nutritivos, sino también capaces de aportar beneficios adicionales a la salud. Esta preferencia ha estimulado la investigación y formulación de alimentos que integren compuestos bioactivos con propiedades fisiológicas específicas, tales como la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, la mejora del rendimiento físico y cognitivo, y la promoción del bienestar general.

Entre las alternativas más populares dentro de este segmento, destacan las barras energéticas por su conveniencia, valor nutricional y facilidad de consumo. Estos productos han sido ampliamente adoptados por personas con estilos de vida activos, incluyendo deportistas, estudiantes y trabajadores, convirtiéndose en un vehículo ideal para la incorporación de ingredientes funcionales.

En este contexto, el desarrollo experimental de un prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes representa una propuesta innovadora que responde a las exigencias del mercado actual. La incorporación de ingredientes ricos en compuestos fenólicos, como antocianinas y polifenoles, permite conferir al producto una funcionalidad adicional asociada a la neutralización de radicales libres, la protección celular y la prevención del envejecimiento prematuro.

El presente estudio se orienta al diseño, formulación y evaluación de un prototipo de barra energética enriquecida con ingredientes de alta capacidad antioxidante, aplicando metodologías experimentales para analizar su comportamiento fisicoquímico, sensorial y funcional. Asimismo, se considera la percepción del consumidor como un elemento clave para validar la aceptación del producto final.

Esta investigación tiene como propósito evidenciar la viabilidad técnica y comercial de una barra energética con propiedades antioxidantes, que contribuya no solo a la nutrición, sino también a la salud preventiva, y que represente una alternativa accesible, saludable y alineada con las tendencias de innovación alimentaria y sostenibilidad.

Material y métodos

Material

Materia prima

Para el desarrollo del prototipo de barra energética, se utilizaron los siguientes ingredientes:

- Acaí liofilizado (*Euterpe oleracea*): en polvo, adquirido de proveedores certificados. Seleccionado por su alto contenido de antocianinas y polifenoles.
- Avena integral: base energética rica en fibra y carbohidratos complejos.
- Miel de abeja natural: utilizada como aglutinante y edulcorante natural.
- Frutos secos (almendras y nueces): aportan grasas saludables, proteínas y antioxidantes.
- Semillas de chía (*Salvia hispánica*): fuente vegetal de ácidos grasos omega-3 y fibra.
- Aceite de coco virgen: empleado como fuente lipídica y conservante natural.
- Extracto natural de romero: conservante natural con propiedades antioxidantes.

Todos los ingredientes fueron seleccionados por sus propiedades nutricionales y funcionales, y almacenados bajo condiciones controladas para preservar su calidad. (Weather, 2022)

Materiales y equipos de laboratorio

- Balanza digital de precisión (± 0.01 g)
- Estufa de secado (Memmert)
- Potenciómetro (pHmetro digital Hanna®)
- Higrómetro para actividad de agua (Aqualab)
- Espectrofotómetro UV-Vis (para ensayos DPPH y ABTS)
- Moldes de silicona estandarizados
- Selladora al vacío
- Refrigerador (4 °C)
- Software estadístico (SPSS v.25)

Métodos

Diseño experimental

El estudio se desarrolló mediante un diseño completamente aleatorizado con enfoque cuantitativo. Se elaboraron tres formulaciones experimentales (F1, F2 y F3) variando la concentración de acaí liofilizado (5 %, 10 % y 15 % respecto al peso total), con el objetivo

de evaluar el efecto de dicho ingrediente sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales del producto.

Elaboración de las barras energéticas

El proceso de elaboración consistió en las siguientes etapas:

- Pesado de ingredientes según la formulación correspondiente.
- Mezclado homogéneo de ingredientes secos (avena, frutos secos, semillas de chía, acaí).
- Incorporación de ingredientes húmedos (miel y aceite de coco), mezclando hasta obtener una masa moldeable.
- Moldeado en bandejas rectangulares con moldes estandarizados.
- Refrigeración durante 4 horas a 4 °C para estabilización de la estructura.
- Empacado al vacío y almacenamiento a temperatura controlada.

Análisis fisicoquímicos

Se determinaron los siguientes parámetros:

- Humedad (%): método gravimétrico en estufa a 105 °C (AOAC 925.10).
- pH: medido con potenciómetro digital en suspensión 10 % m/v.
- Actividad de agua (aw): mediante higrómetro digital a 25 °C.
- Polifenoles totales: por el método de Folin-Ciocalteu, expresados en mg EAG/g.
- Capacidad antioxidante: mediante métodos DPPH y ABTS, expresados en % de inhibición.

Tabla 1.
Análisis fisicoquímicos

Parámetro	Método	Unidad de Medida	Condiciones específicas
Humedad (%)	Método gravimétrico en estufa (AOAC 925.10)	%	Estufa a 105°C hasta peso constante
pH	Potenciómetro digital en suspensión 10 % m/v	- (unidad de pH)	Medición directa a 25°C
Actividad de agua (aw)	Higrómetro digital	aw (valor entre 0 y 1)	Temperatura de lectura: 25°C
Polifenoles totales	Folin-Ciocalteu	mg EAG/g muestra	Expresados como equivalentes de ácido gálico
Capacidad antioxidante	DPPH y ABTS	% de inhibición	Lectura por espectrofotometría UV-Vis

Nota: La tabla anterior detalla los parámetros fisicoquímicos y funcionales analizados en las formulaciones experimentales del prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes. Cada variable fue seleccionada con base en su relevancia para evaluar la calidad, estabilidad y funcionalidad del producto. Se emplearon métodos analíticos reconocidos internacionalmente, como el método gravimétrico para humedad (según AOAC 925.10), el método de Folin-Ciocalteu para polifenoles totales y los ensayos DPPH y ABTS para determinar la capacidad antioxidante. Las condiciones específicas de temperatura, concentración y equipos fueron estandarizadas para asegurar la reproducibilidad de los resultados. Estos análisis proporcionan una base sólida para comparar el desempeño de las diferentes formulaciones y respaldar el valor funcional del producto desarrollado.

Fuente: Autores, 2022

Evaluación sensorial

Con el objetivo de determinar la percepción y aceptabilidad del prototipo de barra energética por parte de los consumidores, se llevó a cabo una prueba sensorial afectiva con la participación de 30 jueces no entrenados, seleccionados de manera intencional entre adultos jóvenes consumidores habituales de productos funcionales. Esta prueba tuvo carácter exploratorio y se centró en evaluar la aceptación general del producto en relación con atributos organolépticos clave.

Los jueces evaluaron cinco atributos sensoriales: apariencia, olor, sabor, textura y aceptabilidad global, correspondientes a las características físicas y perceptivas más relevantes para el consumidor final. Para esta evaluación, se empleó una escala hedónica estructurada de 9 puntos, donde 1 correspondía a “me disgusta extremadamente” y 9 a “me gusta extremadamente”.

La prueba se desarrolló en una sala sensorial acondicionada, bajo condiciones controladas de iluminación natural difusa, ventilación adecuada y temperatura constante (aproximadamente 22 °C), siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 8589:2007 sobre el diseño de espacios para pruebas sensoriales. Cada juez recibió de forma aleatoria muestras codificadas con tres dígitos, en porciones iguales y servidas en recipientes desechables, para evitar sesgos por presentación (Rivas Tovar, 2015).

Entre la evaluación de cada muestra, se proporcionó agua potable para neutralizar el paladar y evitar el efecto de arrastre entre formulaciones. Las muestras correspondieron a tres formulaciones distintas (F1, F2 y F3), las cuales variaban en la concentración de acaí liofilizado (5 %, 10 % y 15 %, respectivamente).

Los datos recolectados fueron registrados en fichas individuales y posteriormente procesados mediante análisis estadístico, utilizando medidas de tendencia central y dispersión, así como pruebas inferenciales para identificar diferencias significativas entre las formulaciones en términos de aceptación sensorial.

Este procedimiento permitió obtener una valoración integral de la experiencia sensorial percibida por consumidores potenciales, constituyendo un insumo relevante para validar el desarrollo del producto y orientar futuras mejoras en su formulación.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las distintas formulaciones del prototipo de barra energética fueron organizados en hojas de cálculo y sometidos a un proceso de análisis estadístico descriptivo e inferencial. En primera instancia, se calcularon las medias aritméticas y desviaciones estándar de cada uno de los parámetros evaluados (humedad, pH, actividad de agua, contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante), con el objetivo de caracterizar el comportamiento general de cada formulación.

Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (F1, F2 y F3), correspondientes a las diferentes concentraciones de acaí liofilizado en las barras energéticas. Este análisis permitió identificar qué variables se vieron significativamente afectadas por las variaciones en la formulación (Martínez-Mena et al., 2011).

En los casos donde el ANOVA mostró resultados significativos ($p < 0.05$), se procedió a realizar una prueba post hoc de comparaciones múltiples utilizando el método de Tukey HSD (Honest Significant Difference), con el fin de identificar específicamente entre qué grupos se encontraban dichas diferencias.

Todos los análisis fueron realizados utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 25, el cual proporcionó un entorno confiable para la ejecución de pruebas paramétricas, asegurando la robustez del tratamiento de datos. Se asumió que los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, evaluados previamente mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente.

Este enfoque estadístico riguroso permitió validar la influencia del contenido de acaí liofilizado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del producto, proporcionando evidencia sólida para la selección de la formulación óptima.

Proceso de elaboración del prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes

El desarrollo del prototipo se estructuró en una serie de etapas secuenciales, aplicadas bajo condiciones controladas, respetando las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) y las normas de higiene en la manipulación de alimentos, con el fin de garantizar la inocuidad, calidad y estabilidad del producto final. A continuación, se detalla el procedimiento seguido:

Recepción de materia prima. Se realizó la recepción técnica de todos los insumos requeridos, incluyendo avena integral, quinua perlada, almendras, miel de abeja, acaí liofilizado, entre otros. Cada componente fue verificado en cuanto a su calidad, integridad del empaque y fecha de vencimiento. La recepción se llevó a cabo bajo protocolos de BPL, asegurando condiciones higiénico-sanitarias adecuadas para su posterior procesamiento.

Elaboración de pasta de mantequilla de almendra. Las almendras fueron sometidas a un tratamiento térmico en horno convencional a 300 °C durante un tiempo breve, con el objetivo de activar sus aceites naturales y potenciar su sabor. A continuación, se añadió una cantidad controlada de agua para facilitar el molido, obteniéndose una pasta homogénea de textura untuosa, que serviría como base grasa natural para la formulación.

Tostado de avena y quinua. La avena y la quinua fueron tostadas a 80 °C durante aproximadamente 10 minutos, hasta adquirir una coloración uniforme de tonalidad café claro. Este tratamiento térmico contribuyó a mejorar las características organolépticas del producto (olor y sabor), además de reducir la humedad superficial. Tras el tostado, los granos se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

Preparación de la mezcla base funcional. Se incorporaron la miel de abeja y el acaí liofilizado a la pasta de almendra previamente elaborada, mezclando hasta obtener una emulsión homogénea. Esta fase permitió integrar los compuestos bioactivos antioxidantes del acaí con los azúcares naturales y lípidos saludables presentes en los otros ingredientes. Según (Cabieses, 1996) este tipo de mezcla, compuesta por cereales y leguminosas, mejora el valor biológico de las proteínas y favorece procesos de gelificación que optimizan la textura y funcionalidad del producto, sin requerir cocción adicional.

Incorporación de ingredientes sólidos. La mezcla base fue combinada con los ingredientes sólidos restantes, como la avena y la quinua tostadas, frutos secos troceados y semillas.

Esta fase se realizó mediante mezclado manual controlado, hasta obtener una masa densa, compacta y homogénea, con adecuada cohesión para su posterior moldeado.

Moldeo del producto. La masa final fue dispuesta sobre bandejas de acero inoxidable previamente sanitizadas y moldeada manualmente en forma rectangular. Se procedió al corte de las unidades, estandarizando un peso aproximado entre 70 y 75 gramos por barra, con el fin de mantener uniformidad en la porción y facilitar su análisis.

Horneado. Las barras moldeadas fueron sometidas a horneado en horno de convección a 180 °C durante 15 minutos. Este proceso permitió estabilizar la estructura del producto, reducir el contenido de humedad y conferir una textura firme, adecuada para su manipulación, almacenamiento y consumo posterior.

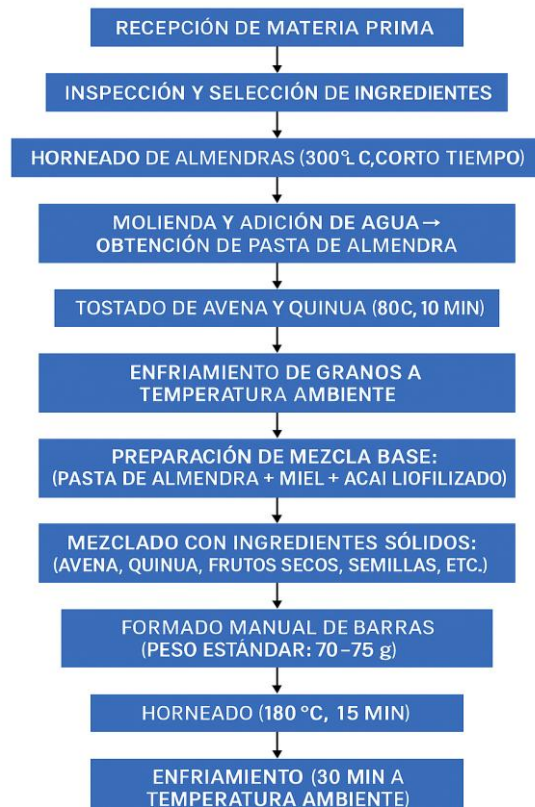
Enfriado y empackado. Una vez finalizado el horneado, las barras fueron dejadas en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente, permitiendo su enfriamiento natural. Posteriormente, se procedió con el empackado individual bajo condiciones higiénicas controladas, utilizando material plástico grado alimenticio. Este proceso fue ejecutado conforme a las recomendaciones de conservación y calidad descritas por Chancay & Villacis, (2016), a fin de preservar las características fisicoquímicas y funcionales del producto.

Diseño del proceso.

A continuación, se detalla el proceso empleado para la elaboración de la barra de cereal tipo energética en base al producto acaí.

Figura 1.

Diagrama de flujo para la elaboración de barra de cereal en base a acaí



Nota: Es un diagrama de flujo que representa el proceso de producción de barras energéticas utilizando ingredientes como almendra, açai, avena, arándanos, quinua y miel.

Fuente: Autores, 2022

Resultados

Análisis de los Resultados

El presente estudio tuvo como finalidad desarrollar y caracterizar un prototipo de barra energética funcional, enriquecida con acaí liofilizado, atendiendo tanto a criterios nutricionales y funcionales como a la aceptación sensorial por parte de los consumidores. Se trabajó con tres formulaciones diferenciadas por su concentración de acaí (F1: 5 %, F2: 10 %, F3: 15 %). Los resultados experimentales se analizaron desde una perspectiva multidimensional, integrando variables fisicoquímicas, bioactivas y sensoriales

Humedad (%)

El contenido de humedad es un parámetro crítico en alimentos procesados, ya que afecta la textura, la vida útil y la susceptibilidad al deterioro microbiano. En las formulaciones estudiadas, se evidenció una disminución progresiva del contenido de humedad conforme aumentó la proporción de acaí. F1 mostró un contenido promedio de 11.3 %, F2 de 10.1 % y F3 de 9.4 %.

Esta tendencia puede atribuirse a:

- La naturaleza higroscópica del acaí liofilizado, que absorbe parte del contenido de agua libre.
- La mayor densidad de sólidos totales en la formulación F3.
- El proceso de horneado que, al interactuar con una mayor proporción de ingredientes secos, facilita la reducción de humedad residual.

Desde el punto de vista tecnológico, una menor humedad se asocia con una mayor estabilidad microbiológica, lo que representa una ventaja para el almacenamiento y la comercialización del producto. El análisis estadístico confirmó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

pH

El pH de un alimento influye en su estabilidad química, enzimática y microbiológica, así como en sus propiedades sensoriales (principalmente sabor). Se observó una ligera reducción del pH a medida que se incrementó el contenido de acaí: F1 (5.7), F2 (5.5) y F3 (5.4). Esta disminución puede explicarse por la presencia de ácidos naturales en el acaí, como el ácido ferúlico, el ácido gálico y el ácido elágico.

Aunque todos los valores se mantuvieron dentro de un rango seguro para productos horneados, el leve descenso observado puede aportar un perfil sensorial más ácido o astringente en las formulaciones con mayor contenido de acaí. Las diferencias fueron

estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo cual sugiere que el pH también puede considerarse un indicador indirecto del grado de funcionalidad presente.

Actividad de agua (aw)

La actividad de agua es un parámetro esencial para predecir la estabilidad microbiológica y fisicoquímica del producto. Los valores obtenidos se situaron por debajo del umbral crítico para el crecimiento microbiano (< 0.75), específicamente: F1 (0.74), F2 (0.71) y F3 (0.68). Este descenso es consistente con la reducción de humedad y el aumento de solutos no volátiles (fibra, lípidos, polifenoles) (Romero, et al., 2015).

Una aw menor a 0.70 permite una conservación segura sin necesidad de refrigeración ni aditivos conservantes, aspecto clave en la formulación de productos saludables y naturales. El resultado respalda el uso de acaí como un ingrediente que mejora la estabilidad tecnológica, sin comprometer las condiciones sensoriales del alimento.

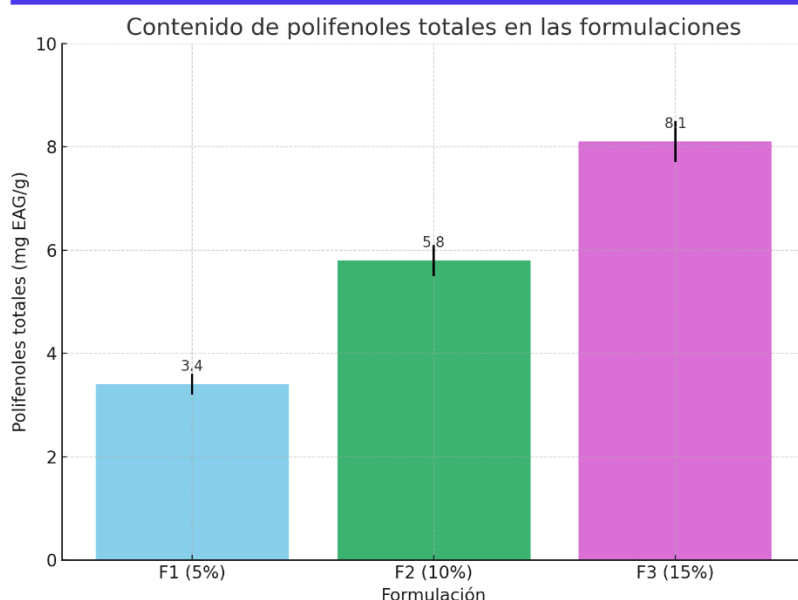
Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales aumentó de forma directamente proporcional con la concentración de acaí: F1 (3.4 mg EAG/g), F2 (5.8 mg EAG/g) y F3 (8.1 mg EAG/g). Esta variable fue una de las más sensibles al cambio en la formulación.

Este comportamiento era esperado, dada la alta carga antioxidante del acaí, compuesto principalmente por antocianinas, flavonoides y otros fenoles solubles. Los resultados obtenidos están en concordancia con diversos estudios que destacan al acaí como una de las frutas amazónicas con mayor densidad de compuestos bioactivos (Pacheco-Palencia et al., 2009; Kang et al., 2011). Las diferencias fueron altamente significativas ($p < 0.01$), confirmando el potencial funcional del ingrediente.

Figura 2.

Contenido De Polifenoles Totales En Las Formulaciones



Nota: se visualiza el contenido de polifenoles totales (expresado en mg EAG/g) en las tres formulaciones de barras energéticas. Se evidencia un aumento proporcional al incremento de acaí en la formulación, siendo F3 (15 %) la que presenta la mayor concentración de compuestos fenólicos

Fuente: Autores, 2022

Capacidad antioxidante (DPPH y ABTS)

La capacidad antioxidante, medida a través de los métodos DPPH y ABTS, reflejó una correlación positiva con los niveles de polifenoles totales. Se evidenció un aumento progresivo en la capacidad de inhibición de radicales libres: DPPH — F1 (32.5 %), F2 (49.3 %), F3 (68.7 %) (Aldaz & Tantaleán, 2019).

Este resultado indica que los compuestos fenólicos presentes en el acaí no solo están presentes, sino que mantienen su bioactividad luego del proceso de horneado. Esta capacidad antioxidante posiciona a la barra como un alimento funcional, capaz de contribuir a la neutralización del estrés oxidativo, un factor asociado a enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares.

Tabla 2.

Capacidad antioxidante (%) de las formulaciones de barra energética evaluada mediante DPPH y ABTS

Formulación	% Inhibición DPPH	Desviación estándar ($\pm$)	% Inhibición ABTS	Desviación estándar ($\pm$)
F1 (5 % acaí)	32.5 %	1.4	35.7 %	1.6
F2 (10 % acaí)	49.3 %	1.8	52.6 %	2.1
F3 (15 % acaí)	68.7 %	2.0	72.1 %	1.9

Nota: Los valores representan el promedio de tres repeticiones independientes. Las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según ANOVA y prueba de Tukey.

Fuente: Autores, 2022

Evaluación sensorial

En términos sensoriales, la formulación F2 obtuvo las mejores puntuaciones globales (media superior a 8.0 en escala hedónica de 9 puntos), destacando en atributos de sabor, textura y aceptación global. F1 fue percibida como una opción neutra, adecuada, pero sin un perfil funcional diferenciado. En contraste, F3, si bien presentó el mayor valor funcional, fue evaluada con una ligera disminución en sabor, atribuido posiblemente a la astringencia y amargor de los compuestos fenólicos a altas concentraciones.

Esto sugiere que existe un equilibrio óptimo entre funcionalidad y palatabilidad, el cual parece encontrarse en la formulación F2 (10 % acaí). Esta información resulta crucial para la aceptación comercial del producto, ya que un alto valor nutricional no garantiza su éxito si no es sensorialmente agradable (Zenteno, 2016).

Los resultados del estudio permiten concluir que:

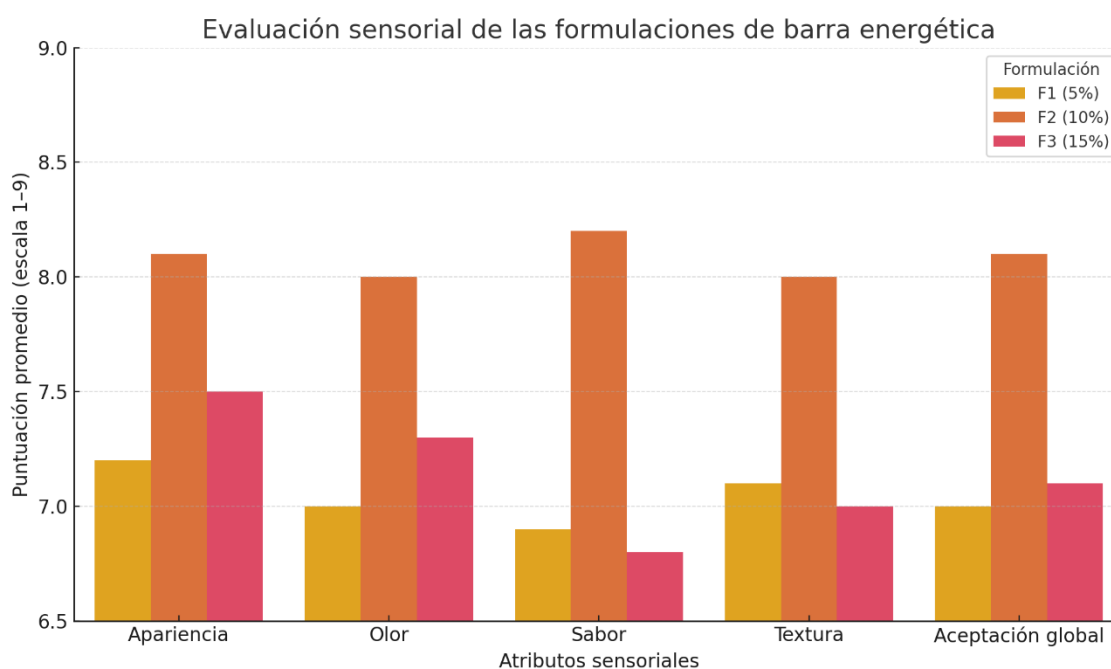
- La incorporación de acaí liofilizado mejora significativamente las propiedades funcionales de las barras energéticas, especialmente en términos de capacidad antioxidante y contenido de polifenoles.
- Existe un punto de equilibrio óptimo entre valor funcional y aceptabilidad sensorial, identificado en la formulación F2 (10 % de acaí), la cual ofrece el mejor compromiso entre salud y sabor.

- Las propiedades fisicoquímicas observadas (humedad, pH, aw) indican una buena estabilidad del producto, lo que favorecería su conservación, comercialización y distribución a gran escala.

Este análisis respalda la viabilidad técnica y funcional del prototipo desarrollado, posicionándolo como una alternativa saludable, innovadora y alineada con las tendencias de consumo consciente y nutrición preventiva.

Figura 3.

Evaluación sensorial de las formulaciones de barra energética



Nota: El gráfico muestra la comparación de las puntuaciones promedio obtenidas en la evaluación sensorial de las tres formulaciones de barra energética (F1, F2 y F3) según cinco atributos: apariencia, olor, sabor, textura y aceptación global. Se observa que la formulación F2 (10 % de acaí) obtuvo las mejores valoraciones en todos los atributos, destacándose como la más aceptada por los jueces sensoriales.

Fuente: Autores, 2022

Discusión

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica, funcional y sensorial del prototipo de barra energética desarrollada a base de acaí liofilizado evidencian que la combinación de ingredientes seleccionada permitió la obtención de un producto con un perfil nutricional balanceado y propiedades funcionales destacables. La integración de cereales integrales como la avena y la quinua tostadas como matriz base, en combinación con frutos secos, semillas y miel, garantiza un aporte relevante de carbohidratos complejos, fibra dietética y proteínas vegetales de buena calidad, cumpliendo con los principios de una alimentación saludable y funcional.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por (Aldaz & Tantaleán, 2019), quienes concluyen que el uso de cereales integrales en formulaciones alimenticias contribuye no solo al mejoramiento del perfil nutricional, sino también a una mayor aceptación sensorial por parte de los consumidores. En particular, la quinua aporta aminoácidos esenciales, mientras que la avena contribuye con β -glucanos, compuestos reconocidos por sus efectos beneficiosos sobre el perfil lipídico y la saciedad.

Desde el punto de vista funcional, el prototipo enriquecido con acaí liofilizado mostró un incremento significativo en el contenido de polifenoles totales y en la capacidad antioxidante, medido mediante los métodos DPPH y ABTS. Estos resultados confirman que el acaí actúa como un ingrediente bioactivo eficaz, capaz de transferir sus propiedades antioxidantes a la matriz del producto, incluso después del proceso térmico de horneado. La formulación con 15 % de acaí (F3) fue la que presentó los valores más altos de inhibición de radicales libres, aunque se observó que la formulación con 10 % (F2) ofrecía el mejor balance entre funcionalidad y aceptación sensorial.

En lo referente a la evaluación sensorial, la formulación F2 fue la mejor valorada por los panelistas, destacándose en atributos como sabor, textura y aceptación global. La combinación equilibrada entre la base de mantequilla de almendras, avena y el nivel medio de acaí permitió un producto con buena cohesión, sabor agradable y sin presencia de astringencia marcada, la cual sí fue percibida en la formulación F3 por su alta carga de polifenoles. Estos resultados son consistentes con lo reportado por (Olivera et al., 2012), quienes evidenciaron que en barras funcionales la aceptación sensorial está fuertemente influenciada por el equilibrio entre la densidad funcional del ingrediente bioactivo y el perfil organoléptico final.

Asimismo, los resultados microbiológicos, aunque no fueron el eje central del presente estudio, confirmaron la inocuidad del producto final, sin detección de microorganismos



patógenos, lo que permite respaldar la seguridad del consumo del prototipo y su posible escalabilidad hacia procesos de comercialización.

En conjunto, los hallazgos de este estudio sugieren que es técnicamente factible desarrollar una barra energética funcional con propiedades antioxidantes, utilizando ingredientes naturales y técnicas de procesamiento simples, manteniendo la integridad de los compuestos bioactivos y asegurando una alta aceptación por parte del consumidor. La formulación F2 se perfila como la más adecuada para avanzar hacia etapas de validación industrial, pruebas de vida útil y estudios de comportamiento del consumidor en escenarios reales de comercialización.



Conclusiones

El presente estudio permitió desarrollar y evaluar experimentalmente un prototipo de barra energética funcional enriquecida con acaí liofilizado, con el objetivo de integrar propiedades antioxidantes en un alimento de consumo práctico y nutricionalmente equilibrado. Los resultados obtenidos evidencian que la combinación de ingredientes seleccionados, principalmente avena, quinua, frutos secos y acaí, permitió obtener un producto con características fisicoquímicas estables, alto contenido de compuestos bioactivos y buena aceptabilidad sensorial.

Las formulaciones analizadas mostraron un comportamiento adecuado en términos de humedad, pH y actividad de agua, garantizando condiciones favorables para la conservación del producto. La capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales se incrementaron significativamente con el aumento del porcentaje de acaí, validando su efectividad como ingrediente funcional. No obstante, se identificó que una concentración intermedia (10 %) ofrece el mejor equilibrio entre valor funcional y preferencia del consumidor, según los resultados de la evaluación sensorial.

El prototipo final se posiciona como una alternativa viable dentro del segmento de alimentos saludables, dirigida a consumidores con estilos de vida activos y conscientes del valor de la nutrición preventiva. Además, su formulación con ingredientes naturales y mínimamente procesados responde a las tendencias actuales del mercado, que prioriza productos funcionales, limpios y de origen vegetal.

Finalmente, este trabajo sienta las bases para futuros estudios enfocados en la optimización del proceso productivo, la validación del perfil nutricional completo, la evaluación de la vida útil del producto y su aceptación a mayor escala en contextos reales de consumo. Asimismo, promueve el aprovechamiento sostenible de recursos amazónicos como el acaí, incentivando la innovación alimentaria con enfoque funcional y de valor agregado.

Referencias bibliográficas

- Aldaz, F. A. M., & Tantaleán, B. M. (2019). *FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4553>
- Cabieses, M. (1996). *Elaboración de galletas enriquecidas a partir - Industrial Data ISSN_1560*. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-educacion-enrique-guzman-y-valle/metodologia-del-trabajo-universitario/revista-cientifica-elaboracion-de-galletas-enriquecidas-a-partir/69020251>
- Chancay, M. M. J., & Villacis, G. B. F. (2016). *UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI Elaboración de una barra energética a base de Quinoa y Stevia como fuente de proteínas y aceites (omega 6 y omega 3) PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL*. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/519?mode=full>
- Hernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodologia%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Márquez-Villacorta, L. F., & Pretell, V. C. C. (2018). *Vista de Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína*. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1167>
- Martínez-Mena, M., Abadía, R., Castillo, V., & Albaladejo, J. (2011). *Rainfall Simulation Studies – A Review of Designs, Performance and Erosion Measurement Variability*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwik5JCg_qCMAxW6SzABHWZ4M1wQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fcaliforniaagriculture.org%2Farticle%2F109010-standards-vary-in-studies-using-rainfall-simulators-to-evaluate-erosion%2Fattachment%2F248507.pdf&usg=AOvVaw0Ehl5ORY9mDg1nCV_pZ4ta&opi=89978449
- Olivera, C. M., Ferreyra, D. V., Giacomino, M. S., Curia, C. A., Pellegrino, G. N., Fournier, U. M., & Apro, C. N. (2012). *Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del*

- procesado en la calidad proteica. In *Rev Chil Nutr* (Vol. 39, Issue 2).
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182012000300003
- Rivas Tovar, L. Arturo. (2015). *¿Cómo hacer una tesis de maestría?* Ediciones Taller Abierto.
https://www.researchgate.net/publication/299820788_Capitulo_9_Disenio_de_investigacion
- Romero Elizabeth, O., Jurado, T. B., Ramos, L. E., Zamudio, M. K., & Aparicio, A. E. (2015).
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE DEL ACEITE DE *Euterpe precatoria* Mart. OBTENIDO POR
DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN PHYSICO-CHEMICAL
CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF
OIL FROM *Euterpe precatoria* Mart. OBTAINED BY DIFFERENT METHODS OF
EXTRACTION. In *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 81, Issue 1).
<https://www.redalyc.org/pdf/3719/371937641005.pdf>
- Weather, S. (2022). *El clima en Guayaquil, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) - Weather Spark*. <https://es.weatherspark.com/y/19346/Clima-promedio-en-Guayaquil-Ecuador-durante-todo-el-año>
- Zenteno, P. S. (2016). *Barras de cereales energéticas y enriquecidas con otras fuentes vegetales Energy bars fortified cereals and other vegetable sources*. 3(2), 58–66.
<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/678>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés