

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE HOJUELAS A BASE DE CÁSCARA DE PLÁTANO ENRIQUECIDAS CON CUSHURO Y CEBADA

DEVELOPMENT AND NUTRITIONAL EVALUATION OF FLAKES MADE FROM PLANTAIN PEEL ENRICHED WITH CUSHURO AND BARLEY

Jimmy Recalde¹, Shirley Moncayo², Liliana Villao³, Cecibel Alava⁴, Jaime Santos⁵

{jimmy.recalde.casquete@uagraria.edu.ec¹, smoncayo@uagraria.edu.ec², lvillao@uagraria.edu.ec³, calava@uagraria.edu.ec⁴, jsantos@uagraria.edu.ec⁵}

Fecha de recepción: 03/02/2026 / Fecha de aceptación: 12/02/2026 / Fecha de publicación: 13/02/2026

RESUMEN: El aprovechamiento de residuos agroindustriales de alto valor nutricional constituye una estrategia clave para el desarrollo de alimentos innovadores, sostenibles y funcionales. En este contexto, la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), generalmente considerada un desecho, presenta un contenido significativo de fibra, carbohidratos y compuestos bioactivos, mientras que el cushuro (*Nostoc sphaericum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*) aportan proteínas, minerales y fibra dietética. El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar hojuelas elaboradas a partir de cáscara de plátano, enriquecidas con cushuro y cebada, como una alternativa alimentaria de mayor valor nutricional y aceptabilidad sensorial. La investigación tuvo un enfoque experimental, en el que se formularon dos mezclas de hojuelas con diferentes concentraciones de cushuro hidratado y deshidratado, harina de cáscara de plátano y harina de cebada, además de un tratamiento testigo. Los tratamientos fueron evaluados mediante análisis bromatológicos para determinar el contenido de proteínas, carbohidratos, grasas, fibra, cenizas y humedad, así como mediante análisis microbiológicos de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y *Escherichia coli*, de acuerdo con la normativa vigente de la INEN. Adicionalmente, se realizó una evaluación sensorial con un panel no entrenado para

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0007-2813-953X>; +593958845534.

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-2374-497X>; +593987714591.

³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2677-1415>; +593982224534.

⁴Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-8253-2283>; +593979359933.

⁵Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-9483-1045>; +593994104200.

determinar la aceptabilidad del producto. Los resultados evidenciaron que uno de los tratamientos presentó un perfil nutricional superior, destacándose por su mayor contenido de fibra y carbohidratos, la ausencia de microorganismos patógenos y una aceptabilidad sensorial del 87,9 %. Se concluye que la elaboración de hojuelas a base de cáscara de plátano, enriquecidas con cushuro y cebada, constituye una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el desarrollo de alimentos con valor agregado.

Palabras clave: residuos agroindustriales, cáscara de plátano, cushuro, cebada, hojuelas

ABSTRACT: The valorization of agroindustrial residues with high nutritional potential represents a key strategy for the development of innovative, sustainable, and functional foods. In this context, plantain peel (*Musa paradisiaca*), commonly regarded as a waste product, contains substantial amounts of dietary fiber, carbohydrates, and bioactive compounds. At the same time, cushuro (*Nostoc sphaericum*) and barley (*Hordeum vulgare*) contribute proteins, minerals, and dietary fiber. The objective of this study was to develop and evaluate flakes made from plantain peel, enriched with cushuro and barley, as an alternative food product with improved nutritional value and acceptable sensory attributes. An experimental approach was used in which two flake formulations were developed, differing in the proportions of hydrated and dehydrated cushuro, plantain peel flour, and barley flour, and a control treatment was included. Bromatological analyses were conducted to determine protein, carbohydrate, fat, fiber, ash, and moisture contents, and microbiological analyses were performed for mesophilic aerobic bacteria, molds, yeasts, and *Escherichia coli*, in accordance with current INEN standards. In addition, a sensory evaluation was conducted using an untrained panel to assess product acceptability. The results showed that one treatment exhibited a superior nutritional profile, characterized by higher fiber and carbohydrate contents, absence of pathogenic microorganisms, and a sensory acceptability of 87.9%. It is concluded that the production of flakes based on plantain peel enriched with cushuro and barley is a viable alternative for the utilization of agroindustrial residues and the development of value-added food products.

Keywords: agroindustrial residues, plantain peel, cushuro, barley, flakes

INTRODUCCIÓN

Durante los procesos de elaboración de alimentos se generan diversos residuos y subproductos que, en muchos casos, podrían destinarse al consumo animal, humano o a aplicaciones industriales, generando valor económico adicional (1). No obstante, su potencial como materia prima suele subestimarse debido a la falta de investigaciones que permitan caracterizar su composición química y nutricional, así como a la carencia de técnicas adecuadas para su procesamiento y aprovechamiento eficientes (2). En este contexto, las cáscaras de frutas presentan características físicas, químicas y biológicas

particulares que deben evaluarse para determinar su viabilidad como ingredientes funcionales en la industria alimentaria (3).

Una de las principales aplicaciones de estos residuos agroindustriales es la obtención de harinas, que pueden incorporarse como ingredientes en productos alimenticios con el propósito de incrementar su valor nutricional y mejorar las propiedades tecnológicas y funcionales de los alimentos procesados, como la capacidad de retención de agua, la textura y el contenido de fibra dietética (4).

Entre estos residuos, la cáscara de plátano destaca por su abundancia y su composición nutricional. Se estima que la producción mundial de cáscara de plátano llega aproximadamente a 36 millones de toneladas, las que generan impactos ambientales desfavorables cuando se desechan sin tratamiento previo (5).

En algunos casos, estas cáscaras se emplean como fertilizante orgánico o como alimento para animales; sin embargo, su potencial para aplicaciones alimentarias humanas aún se encuentra subexplotado (6). En el contexto ecuatoriano, esta problemática adquiere relevancia debido a la alta producción bananera concentrada en la región litoral. Provincias como Guayas y Los Ríos aportan una carga significativa a la producción nacional de banano, lo que implica una generación considerable de residuos asociados no solo al procesamiento, sino también al consumo del fruto (7).

Considerando que la cáscara representa entre el 30 y el 40 % del peso total del plátano, el volumen de este residuo alcanza magnitudes que, en ausencia de estrategias de valorización, contribuyen a la acumulación de desechos orgánicos, a la emisión de olores, proliferación de vectores y a mayores costos (8,9). En este sentido, el aprovechamiento de la cáscara de plátano como ingrediente alimentario constituye una alternativa viable para mitigar su impacto ambiental y promover la economía circular a nivel regional.

A pesar de la amplia disponibilidad de cereales en el mercado, la mayoría de estos productos se elaboran a partir de cereales tradicionales como maíz, trigo o avena, con un alto contenido de carbohidratos y un aporte limitado de fibra dietética y de proteínas de origen natural (10). Diversas investigaciones abordan de forma independiente el uso de la cáscara de plátano como fuente de fibra, el cushuro como ingrediente funcional de alto valor nutricional y la cebada por su contenido de β -glucanos; sin embargo, estos enfoques se han desarrollado de manera aislada y en matrices alimentarias distintas de los cereales de desayuno (11–13).

En este sentido, existe una brecha de conocimiento sobre la integración conjunta de estos tres componentes en un producto tipo hojuela que permita no solo elevar un residuo agroindustrial, sino también incorporar una fuente proteica no convencional y un cereal funcional en una sola formulación. Por lo que se pretende, mediante el desarrollo de hojuelas a base de cáscara de plátano enriquecidas con cushuro y cebada, evaluar de forma

integral su perfil nutricional, su inocuidad microbiológica y su aceptabilidad sensorial, como alternativa frente a los cereales convencionales.

Entre los componentes de la cáscara de plátano se encuentran fibra dietética, carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico (Omega-6) y el ácido α -linolénico (Omega-3), y compuestos bioactivos asociados con la salud y la prevención de enfermedades crónicas (6). Estas características la convierten en una materia prima innovadora para el desarrollo de productos alimenticios.

En la búsqueda de fuentes alimentarias no convencionales de alto valor nutricional, las algas y las cianobacterias han cobrado especial interés. La cianobacteria *Nostoc sphaericum*, conocida como cushuro, es un recurso tradicional de la región andina que se caracteriza por su elevado contenido de proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y minerales esenciales como calcio, hierro, fósforo, sodio y potasio (14).

Además, contiene todos los aminoácidos esenciales y las vitaminas del complejo B, lo que la posiciona como un ingrediente con alto potencial para mejorar el estado nutricional de poblaciones vulnerables, especialmente de niños menores de cinco años, y contribuye a la prevención de la anemia y la desnutrición (15).

Por otra parte, entre los cereales, la cebada (*Hordeum vulgare*) ha despertado un interés creciente debido a su capacidad para mejorar el perfil nutricional de diversos alimentos, especialmente en productos de panificación y de extrusión (16). La cebada es rica en fibras solubles y β -glucanos, compuestos asociados con la reducción del colesterol y la mejora de la salud cardiovascular. Asimismo, constituye una fuente importante de fitoquímicos, como compuestos fenólicos, flavonoides y tocoferoles, que presentan actividad antioxidante y contribuyen a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (17).

El desarrollo económico, el aumento poblacional y la creciente preocupación por la salud de los consumidores han impulsado nuevas tendencias en la industria alimentaria, orientadas al desarrollo de productos más saludables, sostenibles y de fácil consumo (16). Estas tendencias se orientan al aprovechamiento de residuos industriales con valor nutricional, que, a su vez, permitan mejorar el medio ambiente. En este contexto, el presente estudio evalúa la combinación de harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), cushuro (*Nostoc sphaericum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en la elaboración de hojuelas con un elevado perfil nutricional, como una alternativa alimenticia viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales mediante operaciones de conservación y transformación.

El continuo interés en formular productos con un excelente perfil nutricional y buena aceptabilidad sensorial llevó al desarrollo y evaluación de hojuelas elaboradas a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) enriquecidas con cushuro (*Nostoc sphaericum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), con el objetivo de que la incorporación de estos ingredientes permitirá obtener un producto con mayor valor nutricional y una aceptabilidad superior

frente a un cereal convencional, contribuyendo al aprovechamiento de residuos agroindustriales y al desarrollo de alimentos con valor agregado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las materias primas

Para la elaboración de las hojuelas se emplearon harina de cushuro deshidratado (*Nostoc sphaericum*), harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y harina de cebada (*Hordeum vulgare*), seleccionadas por su disponibilidad, valor nutricional y su potencial de aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales. Todas las materias primas fueron sometidas a procesos de limpieza, desinfección y acondicionamiento con el fin de garantizar su inocuidad y homogeneidad antes de su incorporación a las formulaciones.

El cushuro fue lavado con agua y, posteriormente, desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio. A continuación, se sometió a un proceso de deshidratación en estufa a 50 °C durante cinco días, con el objetivo de reducir el contenido de humedad y facilitar su conservación y molienda. Una vez deshidratado, el material fue triturado en un molino manual hasta obtener una harina de tamaño de partícula homogéneo, adecuada para su incorporación en la formulación de las hojuelas.

Las cáscaras de plátano fueron seleccionadas manualmente, descartando aquellas con daños físicos o signos de deterioro. Posteriormente, se lavaron con agua potable y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio. Con el propósito de inactivar enzimas que podrían afectar la estabilidad del producto final, las cáscaras se sometieron a escaldado a 95 °C durante 5 minutos. Una vez escaldadas, se deshidrataron en un deshidratador de alimentos a 57 °C durante ocho horas, hasta obtener una materia prima seca, la cual fue triturada en un molino hasta obtener una harina de tamaño de partícula uniforme.

La cebada fue sometida previamente a un proceso de limpieza para eliminar impurezas. Posteriormente, los granos se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio y se secaron en un deshidratador de alimentos a 50 °C durante 10 horas. Una vez secos, los granos fueron triturados en un molino de rodillos hasta obtener una harina fina, adecuada para su incorporación a las formulaciones.

Obtención del cushuro hidratado

El cushuro utilizado en su forma hidratada fue previamente inspeccionado para verificar su calidad y estado físico. Se realizó un lavado con agua potable seguido de un proceso de desinfección con una solución de hipoclorito de sodio, con el fin de eliminar posibles impurezas, residuos o contaminantes microbiológicos. Posteriormente, el cushuro se mantuvo en condiciones adecuadas de hidratación hasta su incorporación en las formulaciones correspondientes.

Elaboración de las hojuelas

Se formularon cuatro tratamientos con diferentes proporciones de cushuro hidratado y deshidratado, harina de cáscara de plátano y harina de cebada (Tabla 1). La primera formulación incluyó 10 % de cushuro, 20 % de harina de cáscara de plátano y 8 % de azúcar refinada. La segunda formulación estuvo compuesta por 5 % de cushuro, 8 % de harina de cebada y 24 % de harina de cáscara de plátano. En ambas formulaciones se incorporaron como ingredientes comunes 4 % de leche en polvo, 6 % de cacao, 2 % de colorante vegetal y 42 % de agua, con el fin de mejorar las características sensoriales y tecnológicas del producto final.

Todos los ingredientes se mezclaron en una batidora eléctrica hasta obtener una masa homogénea y de consistencia uniforme. La masa resultante fue sometida a laminado con rodillos para obtener láminas delgadas y uniformes. Posteriormente, las láminas se hornearon a 160 °C durante 10 minutos. Tras la cocción, las hojuelas se dejaron enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente, lo que les permitió desarrollar una textura crujiente característica. Finalmente, las hojuelas fueron envasadas en bolsas plásticas y almacenadas a una temperatura entre 18 y 24 °C hasta su análisis (Figura 1).

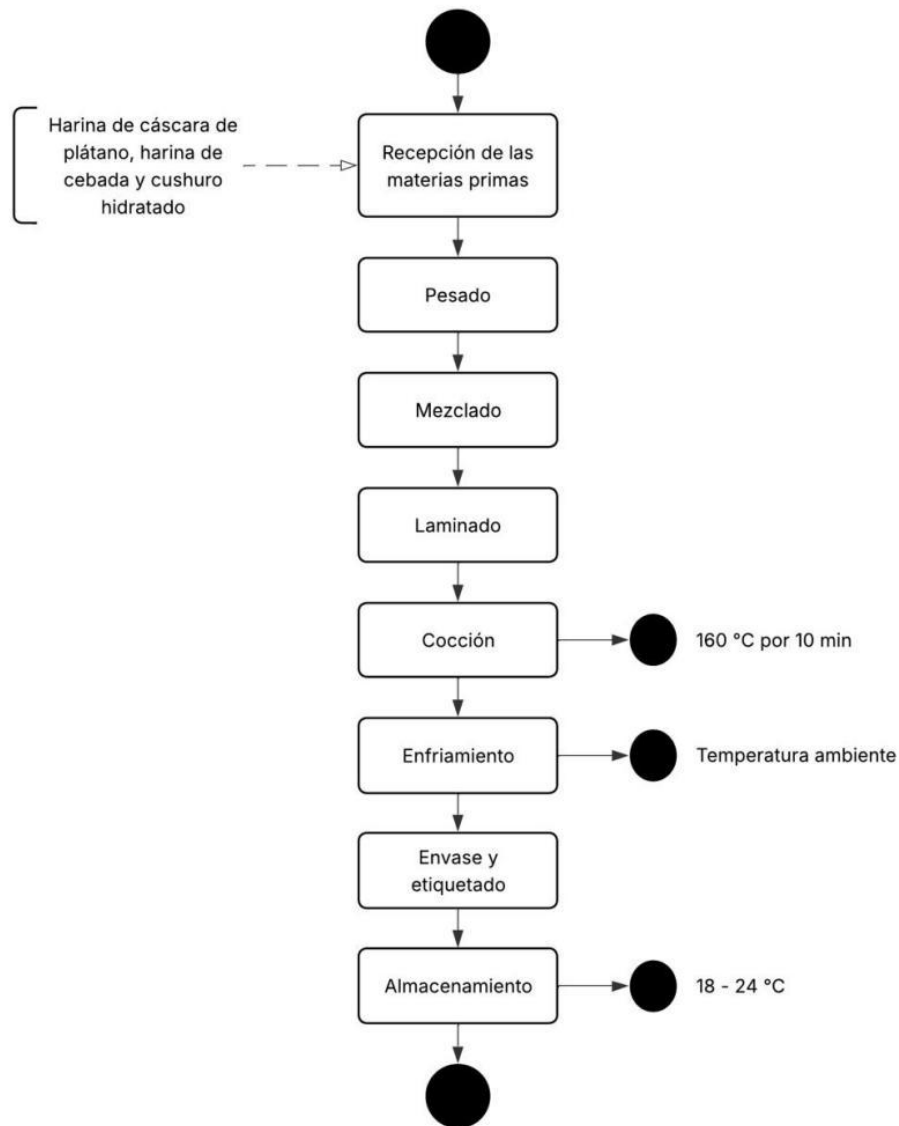


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de las hojuelas.

Tabla 1. Formulación de las hojuelas.

Tratamiento	Cushuro (%)	Harina de cáscara de plátano (%)	Harina de cebada (%)	Azúcar (%)	Otros ingredientes* (%)
T1	10 (deshidratado)	20	–	8	62

T2	5 (deshidratado)	24	8	–	63
T3	10 (hidratado)	20	–	8	62
T4	5 (hidratado)	24	8	–	63

*Otros ingredientes: leche en polvo (4 %), cacao (6 %), colorante vegetal (2 %) y agua (42 %).

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos de las hojuelas se realizaron conforme a la normativa ecuatoriana INEN 2570:2011. El contenido de carbohidratos se determinó mediante el método de 3,5-dinitrosalicílico (DNS); el de proteínas, mediante el método espectrofotométrico de Bradford; y el de grasas, mediante extracción y cuantificación espectrofotométrica. El contenido de cenizas se determinó de acuerdo con la norma NTE INEN 520:2012, mientras que el contenido de fibra cruda se evaluó según la norma NTE INEN 522:2013. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis microbiológicos

La calidad microbiológica de las hojuelas se evaluó mediante la determinación de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y *Escherichia coli*, conforme a los métodos establecidos en las normas NTE INEN 1529-5, NTE INEN 1529-10 y NTE INEN 1529-7, respectivamente, con el objetivo de verificar la inocuidad del producto final.

Análisis estadístico

El presente proyecto se evaluó mediante un análisis estadístico del diseño completamente al Azar (DCA), y los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Dunn-Bonferroni, con un nivel de significancia del 5%. Las pruebas se realizaron con el programa estadístico JASP.

Análisis sensorial

La evaluación sensorial de las hojuelas se realizó con un panel no entrenado de 100 personas, evaluándose los parámetros de color, sabor, olor y textura, mediante una escala hedónica de cinco puntos, donde 1 correspondió a «me disgusta mucho»; 2, «me disgusta moderadamente»; 3, «no me gusta ni me disgusta»; 4, «me gusta moderadamente»; y 5, «me gusta mucho».

RESULTADOS

Resultados del análisis bromatológico

Los análisis bromatológicos realizados a las hojuelas elaboradas a partir de cáscara de plátano, cushuro y cebada evidenciaron diferencias en el perfil nutricional entre los tratamientos evaluados, asociadas principalmente a la proporción y forma de incorporación del cushuro (hidratado y deshidratado) y de las harinas vegetales utilizadas (Tabla 2). En general, todos los tratamientos presentaron valores nutricionales acordes con los de productos de tipo cereal, destacándose por su contenido de carbohidratos y de fibra dietética.

Tabla 2. Composición bromatológica de las hojuelas elaboradas (%).

Tratamiento	Carbohidratos (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
T1	78,42 ± 0,89 ^a	1,21 ± 0,18 ^{ab}	0,45 ± 0,09 ^a	13,85 ± 0,42 ^a	0,18 ± 0,04 ^a	2,34 ± 0,07 ^a
T2	74,63 ± 1,12 ^a	1,08 ± 0,21 ^{ab}	0,48 ± 0,11 ^a	12,46 ± 0,38 ^a	0,22 ± 0,05 ^a	2,91 ± 0,10 ^a
T3	85,31 ± 11,64^a	1,94 ± 0,50^b	0,42 ± 0,10^a	16,97 ± 0,35^b	0,13 ± 0,06^a	1,87 ± 0,06^a
T4	80,15 ± 1,05 ^a	1,36 ± 0,27 ^a	0,44 ± 0,08 ^a	14,62 ± 0,40 ^a	0,16 ± 0,03 ^a	2,10 ± 0,08 ^a

*Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3). Letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Dunn-Bonferroni p<0.05

El contenido de carbohidratos fue el componente mayoritario en todas las formulaciones analizadas. El tratamiento T3 presentó el valor más elevado, alcanzando 85,31 ± 11,64 %, lo cual se atribuye a la combinación de harina de cáscara de plátano y cebada, ingredientes reconocidos por su alto aporte de polisacáridos estructurales y no estructurales. Los demás tratamientos mostraron valores inferiores, aunque dentro de rangos comparables a los de los cereales comerciales. No se observaron diferencias significativas entre tratamiento (p>0.05)

Los resultados evidenciaron un incremento en el contenido de proteínas en los tratamientos que incorporaron cushuro, especialmente en su forma deshidratada. El

tratamiento T3 presentó el perfil nutricional más favorable (Tabla 2), destacándose por su mayor contenido de fibra y carbohidratos. Estos valores son moderados en comparación con los de los cereales fortificados; sin embargo, representan una mejora nutricional respecto a productos elaborados exclusivamente con harinas convencionales. El análisis de varianza indicó diferencias significativas entre T3, T4 y el tratamiento control ($p < 0,05$).

Todos los tratamientos presentaron un bajo contenido de grasas, con valores que oscilaron entre $0,42 \pm 0,10$ % y $0,48 \pm 0,11$ %, lo cual es favorable desde el punto de vista nutricional y de la estabilidad del producto. De manera similar, el contenido de cenizas fue reducido, con valores cercanos a $0,13 \pm 0,06$ %, lo que indica que la composición mineral no excede los límites establecidos para este tipo de productos. Los tratamientos fueron similares significativamente ($p > 0,05$)

El tratamiento T3 presentó el mayor contenido de fibra cruda, con un valor de $16,97 \pm 0,35$ %, y fue el único que difería significativamente de los demás ($p < 0,05$). Este resultado se relaciona directamente con el uso de harina de cáscara de plátano, reconocida por su elevado contenido de fibra dietética. El contenido de humedad fue mínimo en todos los tratamientos, destacándose el tratamiento T3 con un valor de $1,87 \pm 0,06$ %, lo que favoreció la estabilidad microbiológica y la vida útil del producto. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$).

Resultados del análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico demostraron que todas las formulaciones de hojuelas cumplieron con los requisitos de la normativa ecuatoriana NTE INEN 2570:2011.

Tabla 3. Evaluación microbiológica de las hojuelas.

Análisis microbiológico	Norma aplicada	Unidad	Resultado	Límite permitido
Aerobios mesófilos	NTE INEN 1529-5	UFC/g	< 10	$\leq 1 \times 10^5$
Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-10	UFC/g	< 10	$\leq 1 \times 10^3$
<i>Escherichia coli</i>	NTE INEN 1529-7	UFC/g	Ausencia	Ausencia

*Fuente: Elaboración propia con base en los informes microbiológicos según normas NTE INEN 1529-5, NTE INEN 1529-10 y NTE INEN 1529-7

No se detectó la presencia de aerobios mesófilos, mohos, levaduras ni *Escherichia coli* en ninguno de los tratamientos, lo que confirma la inocuidad microbiológica del producto final

y la efectividad de los procesos de limpieza, deshidratación y cocción aplicados durante su preparación.

Resultados de la evaluación sensorial

En la evaluación sensorial, realizada mediante una escala hedónica de 5 puntos, se observaron diferencias entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 presentó el desempeño más consistente y la mayor aceptación global. Al analizar los atributos de manera individual, el color fue el mejor valorado en T3, seguido por T4, mientras que T1 y T2 registraron las medias más bajas, ubicándose entre una percepción neutral y una aceptación moderada. En cuanto al olor, T3 volvió a destacar con la puntuación promedio más alta, mientras que los demás tratamientos mostraron valores intermedios, lo que indica una aceptación estable, aunque menos marcada. La textura fue el atributo con mayor contraste entre tratamientos, ya que T3 alcanzó la puntuación más elevada, mientras que T1 y, especialmente, T2 presentaron las puntuaciones más bajas, lo que sugiere que este atributo influyó de manera importante en la menor aceptabilidad de dichos tratamientos. Finalmente, en el atributo sabor, T3 obtuvo la media más alta, seguido de T4, mientras que T1 y T2 mostraron calificaciones inferiores, lo que confirma que las diferencias sensoriales, en particular en sabor y textura, influyeron en la preferencia global observada.

Los resultados indican que, mediante la incorporación de cushuro, cáscara de plátano y cebada, en proporciones adecuadas, se pueden obtener hojuelas con características sensoriales aceptables para el consumidor, comparables a los cereales comerciales, pero con un mejor perfil nutricional.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman el potencial de la cáscara de plátano, el cushuro y la cebada como materias primas viables para el desarrollo de productos alimenticios innovadores con valor nutricional agregado, tal como ha sido reportado en investigaciones previas sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el desarrollo de alimentos funcionales (18). El perfil bromatológico de las hojuelas elaboradas evidenció que la combinación adecuada de estos ingredientes permite obtener un producto con características comparables a las de los cereales convencionales, pero con un mayor aporte de fibra y de compuestos de interés nutricional (19,20).

El elevado contenido de carbohidratos observado en los tratamientos analizados, particularmente en el tratamiento T3, se encuentra en concordancia con estudios previos que reportan altos niveles de polisacáridos en la cáscara de plátano y en la cebada, los cuales aportan al valor energético del producto y contribuyen a su funcionalidad como alimento de consumo cotidiano (21,22). Investigaciones realizadas por Pilco et al. (2018) y Mohd et al. (2022) han señalado que la cáscara de plátano constituye una fuente

importante de carbohidratos estructurales y de fibra dietética, lo cual respalda los resultados obtenidos en este estudio.

En cuanto al contenido de fibra cruda, los valores más elevados registrados en el tratamiento T3 pueden atribuirse principalmente al uso de harina de cáscara de plátano, un ingrediente reconocido por su alto contenido de fibra dietética. Resultados similares han sido reportados en estudios en los que la harina de cáscara de plátano se ha incorporado a productos de panificación y cereales, evidenciando mejoras significativas en el contenido de fibra y en las propiedades funcionales del alimento final (23,24). Este aspecto resulta relevante desde el punto de vista nutricional, dado que el consumo adecuado de fibra dietética se asocia con beneficios para la salud gastrointestinal y la prevención de enfermedades crónicas.

El contenido proteico observado en las hojuelas, aunque moderado, refleja el aporte del cushuro, una cianobacteria de reconocido valor nutricional. Diversos autores han reportado contenidos proteicos elevados en *Nostoc sphaericum*, destacando su potencial como fuente alternativa de proteína de origen no convencional (25,26). Si bien los valores de proteína obtenidos en este estudio son inferiores a los reportados para productos altamente fortificados, su inclusión contribuye a diversificar el perfil nutricional del producto y a mejorar su calidad frente a los cereales elaborados exclusivamente a partir de harinas refinadas como también ha sido evidenciado en formulaciones que incorporan cushuro en productos alimenticios (27,28).

El bajo contenido de grasas observado en todas las formulaciones constituye una característica favorable del producto, ya que permite su clasificación como un alimento con aporte lipídico reducido, acorde con las tendencias actuales de consumo orientadas a alimentos más saludables. Estudios previos han señalado que productos elaborados a partir de residuos agroindustriales y harinas vegetales suelen presentar contenidos de grasa similares, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación (6,29).

Desde el punto de vista microbiológico, la ausencia de microorganismos patógenos en las hojuelas confirma la eficacia de los procesos de limpieza, deshidratación y cocción. Estos resultados concuerdan con investigaciones en las que se emplean residuos agroindustriales como materia prima, lo que demuestra que, bajo condiciones adecuadas de procesamiento, es posible obtener productos aptos para el consumo humano.

La evaluación sensorial mostró una aceptación de las hojuelas, destacándose el tratamiento T3 como el de mayor preferencia. Esto pudo deberse al equilibrio alcanzado entre los ingredientes, lo que permitió obtener características sensoriales adecuadas en términos de sabor, textura y apariencia. Resultados similares a los de la presente investigación se han reportado en estudios que incorporan harinas no convencionales en productos de tipo cereal, siendo la formulación y la proporción de ingredientes factores determinantes en la aceptación del consumidor (20,28).

La mayor aceptación sensorial observada en el tratamiento T3 puede explicarse en función de la concentración y la forma de incorporación de los ingredientes empleados. En este tratamiento, el uso de cushuro en su forma hidratada y en mayor proporción contribuyó a una matriz más homogénea, lo que favoreció la percepción de sabor y textura frente a los tratamientos con cushuro deshidratado.

Asimismo, el equilibrio de harina de cáscara de plátano empleada en T3 permitió incrementar el contenido de fibra sin generar efectos negativos en el color ni en la aceptabilidad sensorial, a diferencia de las formulaciones con mayores proporciones de este ingrediente. Por otra parte, la ausencia de harina de cebada en T3 pudo favorecer una textura más ligera y crujiente, mientras que su colocación en otros tratamientos se asoció con una estructura más compacta, percibida de manera menos favorable por los panelistas. En conjunto, estos resultados evidencian que la tendencia observada en los datos sensoriales está estrechamente relacionada con la concentración y la forma de incorporación de cada ingrediente.

Los resultados del presente estudio demuestran la viabilidad del aprovechamiento de residuos, como la cáscara de plátano, combinados con materia prima de alto valor nutricional, como el cushuro y la cebada, para el desarrollo de alimentos funcionales, y aportan pruebas científicas que respaldan la implementación de la economía circular en el sector alimentario y abren la posibilidad de realizar futuras investigaciones que busquen optimizar las formulaciones y evaluar su efecto nutricional a largo plazo.

CONCLUSIONES

La elaboración de hojuelas a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) enriquecidas con cushuro (*Nostoc sphaericum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) demostró ser una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, permitiendo obtener un producto con un perfil nutricional adecuado y características comparables a las de los cereales convencionales. La incorporación de estos ingredientes contribuyó principalmente al incremento del contenido de fibra y de carbohidratos, así como a la diversificación nutricional del producto, sin afectar negativamente su inocuidad ni sus propiedades sensoriales.

Los análisis bromatológicos demostraron que la formulación que combinó 20 % de harina de cáscara de plátano y 10 % de cushuro hidratado presentó un perfil nutricional superior, destacándose por su mayor contenido de fibra y su bajo contenido de grasas, lo que la convierte en un alimento saludable. Asimismo, los resultados microbiológicos confirmaron que todas las formulaciones cumplieron con los límites establecidos en la normativa ecuatoriana vigente, lo que demuestra que los procesos de limpieza, deshidratación y cocción resultaron efectivos para garantizar un producto final apto para el consumo.

La evaluación sensorial permitió establecer que las hojuelas fueron bien recibidas por los consumidores. Este resultado demuestra que el uso de ingredientes no convencionales, como el cushuro y la cáscara de plátano, puede integrarse eficazmente en hojuelas de cereal sin comprometer su aceptación. En conjunto, los resultados del presente estudio demuestran el potencial de estos ingredientes para el desarrollo de alimentos funcionales innovadores y orientan futuras investigaciones orientadas a la optimización de productos.

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

Los autores agradecen a la Universidad Agraria del Ecuador por el apoyo brindado al desarrollo de la presente investigación, así como por facilitar el uso de sus laboratorios e instalaciones. De manera especial, se reconoce el acompañamiento académico del tutor del trabajo de titulación, cuyo aporte y orientación fueron fundamentales para la ejecución del estudio. Asimismo, se agradece a todas las personas que participaron en la evaluación sensorial, cuya colaboración permitió evaluar la aceptabilidad del producto desarrollado.

DECLARACIÓN DE INTERÉS (OPCIONAL)

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés financiero, académico o personal que haya influido en el desarrollo, el análisis de los resultados o la redacción del presente artículo científico.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR (OPCIONAL)

El autor principal fue responsable del diseño experimental, de la elaboración del producto, de la ejecución de los análisis bromatológicos y microbiológicos, así como de la recopilación y el análisis de los datos. El tutor académico contribuyó a la supervisión metodológica del estudio, a la revisión crítica del contenido y a la orientación científica durante el desarrollo de la investigación. Todos los autores participaron en la redacción, la revisión y la aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lahiri A, Daniel S, Kanthapazham R, Vanaraj R, Thambidurai A, Peter LS. A critical review on food waste management for the production of materials and biofuel. *J Hazard Mater Adv.* 2023;10:100266. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000372>
2. Vargas V, de Lourdes M, Brito F, Cortez T, Abraham J, López T, et al. Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricionales y de compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo-*

- sum. 2019;26(2):1–11. Disponible en:
<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9309/9781>
3. Jurado-Eraza K, Tulcán-Cuasapud A, Rojas González F, Henao C, González R. Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. *Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2023;24(1):3016. Disponible en:
<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/3016>
 4. Resende LM, França AS, Oliveira LS. Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) fruit by-products flours: evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chem*. 2019;270:53–60. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30174083/>
 5. Wanapat M, Suriyapha C, Dagaew G, Prachumchai R, Phupaboon S, Sommai S, et al. The recycling of tropical fruit peel waste-products applied in feed additive for ruminants. *J Agric Food Res*. 2024;17:101234. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324002710>
 6. Mohd Zaini H, Roslan J, Saallah S, Munsu E, Sulaiman NS, Pindi W. Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *J Funct Foods*. 2022;92:105054. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464622001244>
 7. Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018–2022. *Ciencia Latina Rev. Cient. Multidiscip*. 2023. Disponible en:
<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4981/7563>
 8. Niño JPC, Hernández JHM, González AV. Potential uses of Musaceae wastes: case of application in the development of bio-based composites. *Polymers*. 2021;13(11):1844. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/11/1844>
 9. Rojas AF, Rodríguez-Barona S, Montoya J. Evaluación de alternativas de aprovechamiento energético y bioactivo de la cáscara de plátano. *Inf Tecnol*. 2019;30(5):11–24. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500011
 10. Poutanen KS, Kårlund AO, Gómez-Gallego C, Johansson DP, Scheers NM, Marklinder IM, et al. Grains as a major source of sustainable protein for health. *Nutr Rev*. 2022;80(6):1648–63. Disponible en:
<https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/80/6/1648/6501493>
 11. Raza Jimbo KL. Efecto de la incorporación de harina de banano en las propiedades tecno-funcionales y nutricionales de un embutido tipo chorizo [tesis]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2019. Disponible en:
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29414>

12. Barrera GV, Santos SD, Mendoza Hernández JR. Diversificación de productos alimenticios a base de cáscaras de vegetales. *Rev Tecnológica*. 2019;12.
13. García A, Ángel M. Cáscara de plátano (Musa AAB) como recurso de fibra dietaria aplicada a un producto cárnico [tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2013. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51519>
14. Corpus-Gomez A, Alcantara-Callata M, Celis-Teodoro H, Echevarria-Alarcón B, Paredes-Julca J, Paucar-Menacho LM. Cushuro (*Nostoc sphaericum*): hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales. *Agroindustrial Science*. 2021;11(2):231–238. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3819>
15. Méndez-Ancca S, Pepe-Victoriano R, Gonzales HHS, Zambrano-Cabanillas AW, Marín-Machuca O, Rojas JCZ, et al. Physicochemical Evaluation of Cushuro (*Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault) in the Region of Moquegua for Food Purposes. *Foods* 2023, Vol 12, Page 1939 [Internet]. 2023 May 10 [cited 2026 Jan 30];12(10):1939. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/10/1939/htm>
16. Sullivan P, Arendt E, Gallagher E. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends Food Sci Technol*. 2013;29(2):124–134. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224412002130>
17. Bangar SP, Sandhu KS, Trif M, Rusu A, Pop ID, Kumar M. Enrichment of barley flour using twin-screw extrusion technology. *Front Nutr*. 2022;8:834730. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35187025/>
18. Hikal WM, Said-Al Ahl HAH, Bratovcic A, Tkachenko KG, Sharifi-Rad J, Kačániová M, et al. Banana peels: a waste treasure for human being. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2022;2022:1–13. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35600962/>
19. Francisco P, Yaneth C, Robin T, Gómez D, Isair P, Jesús A, et al. Estudio del valor nutritivo de hojuelas de maíz. 2012.
20. Abogunrin SO, Ujiroghene OJ. Formulation and quality evaluation of breakfast flakes produced from blends of maize (*Zea mays*) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour. *Asian Food Sci J*. 2022;21(8):38–51. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/361108109>
21. Pilco G, Borja D, Goetschel L, Andrade P, Irazabal J, Vargas-Jentzsch P, et al. Caracterización bromatológica y evaluación de la actividad antimicrobiana en cáscara de banano ecuatoriano (*Musa paradisiaca*). *Enfoque UTE*.

22. Geng L, Li M, Zhang G, Ye L. Barley: a potential cereal for producing healthy and functional foods. *Food Qual Saf.* 2022;6:fyac012. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac012>
23. Segura-Badilla O, Kammar-García A, Mosso-Vázquez J, Ávila-Sosa R, Ochoa-Velasco C, Hernández-Carranza P, et al. Potential use of banana peel (*Musa cavendish*) as ingredient for pasta and bakery products. *Heliyon.* 2022;8(10):e11010. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36276723/>
24. Gomes S, Vieira B, Barbosa C, Pinheiro R. Evaluation of mature banana peel flour on physical, chemical, and texture properties of a gluten-free rissol. *J Food Process Preserv.* 2022;46(8):e14441. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14441>
25. Haros CM, Muñoz L, Ortolá MD, Chasquibol N, Sotelo A, Alarcón R. Development of powdered beverage with cushuro (*Nostoc commune*) concentrated protein and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Biol Life Sci Forum.* 2023;25(1):2. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-9976/25/1/2>
26. Jara Estrada M, Orellano Rosales MG, Palomino Caruajulca D, Rojas Haro MM, Torres Loayza KS. Proyecto elaboración y comercialización de hojuelas de avena enriquecidas con cushuro. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola; 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/10700>
27. Martins ANA, Pasquali MAB, Schnorr CE, Martins JJA, Araújo GT, Rocha APT. Development and characterization of blends formulated with banana peel and banana pulp for the production of blends powders rich in antioxidant properties. *J Food Sci Technol.* 2019;56(12):5289–5297. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6838270/>
28. Olorunsogo ST, Adejumo BA. Development and optimization of flakes from some selected locally available food materials. *Food Process Preserv.* 2016. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/370862343>
29. Badr SA, El-Waseif MA, Farouk A, Salama MM, Ghanem SM, Kadry MM. Enhancing the nutritional value of corn flakes by adding quinoa flour. *Egypt J Chem.* 2023;66(13):1395–1406. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/371220478>