

DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SNACK EXTRUIDO FUNCIONAL A BASE DE MACA (*Lepidium meyenii* Walp.), LÚCUMA (*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze) Y ESPIRULINA (*Arthrospira maxima* Setchell & Gardner)

Development and optimization of a functional extruded snack based on maca (*Lepidium meyenii* Walp.), lucuma (*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze), and Spirulina (*Arthrospira maxima* Setchell & Gardner)

Edson Hilmer Julca Marcelo¹, Hugo Fernando Cañari Marticorena², Raúl Inga Peña³, Shalin Carhuallanqui Avila⁴, Natali Heidi Contreras Aylas⁵, Deysi Alina Colachagua Calderón⁶, Aixa Xiomara Rivas Quinto⁷

RESUMEN

Ante el aumento en la demanda de productos nutritivos y beneficiosos, esta investigación elaboró y perfeccionó un aperitivo extruido con maca (*Lepidium meyenii* Walp.), lúcuma (*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze) y espirulina (*Arthrospira maxima* Setchell & Gardner). Para lograrlo, se utilizó un modelado de formulaciones mediante el programa Design Expert v.13, analizando diferentes combinaciones de componentes a través de evaluaciones fisicoquímicas y test organolépticos con un grupo de catadores. Se examinaron parámetros como poder antioxidante, niveles de polifenoles, color, olor, sabor, textura y apariencia general. Los datos revelaron que la espirulina incrementó notablemente el aporte proteíco (10.23%) y la actividad antioxidante (102.38 µmol ET g⁻¹), aunque en dosis altas impactó en el color y el olor. El polvo de maca aportó a los niveles de proteínas y polifenoles (37.92 mg AGE[100g]⁻¹), mientras que la lúcuma potenció la percepción sensorial al realzar el sabor y la textura. La fórmula mejorada mostró una elevada aprobación global (3.82 en escala hedónica de cinco puntos calificándola como me gusta), lo que evidencia la factibilidad de crear un snack funcional con componentes naturales con elevado aporte nutricional y óptima percepción organoléptica. Estos descubrimientos respaldan la viabilidad de los ingredientes altoandinos y microalgáceos en el diseño de alimentos innovadores y sanos, con proyecciones alentadoras para el sector de alimentos enriquecidos.

Palabras clave: snack extruido, maca, lúcuma, espirulina, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

In response to the growing demand for nutritious and health-promoting products, this study developed and optimized an extruded snack made with maca (*Lepidium meyenii* Walp.), lucuma (*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze), and spirulina (*Arthrospira maxima* Setchell & Gardner). To achieve this, formulation modeling was carried out using Design Expert v.13 software, analyzing various component combinations through physicochemical assessments and organoleptic tests with a sensory panel. Parameters such as antioxidant capacity, polyphenol content, color, odor, taste, texture, and overall appearance were evaluated. The results showed that spirulina significantly increased protein content (10.23%) and antioxidant activity (102.38 µmol TE g⁻¹), although at higher concentrations it negatively affected color and odor. Maca powder contributed to protein and polyphenol levels (37.92 mg GAE[100g]⁻¹), while lucuma enhanced sensory perception by improving taste and texture. The optimized formula received a high overall acceptability score (3.82 on a five point hedonic scale, corresponding to "I like it"), demonstrating the feasibility of producing a functional snack with natural ingredients that offer both high nutritional value and favorable sensory qualities. These findings support the potential of high-Andean and microalgal ingredients in the development of innovative, health-oriented food products, with promising implications for the fortified food sector.

Keywords: extruded snack, maca, lúcuma, spirulina, antioxidant capacity.

¹✉ Docente Investigador, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6238-6074>. edsonjm@uncp.edu.pe

² Docente Investigador, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1860-645X>. hcanari@uncp.edu.pe

³ Docente Investigador, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7310-7739>. rinda@uncp.edu.pe

⁴ Docente Investigador, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1880-9425>. sscarhuallanqui@uncp.edu.pe

⁵ Técnico Laboratorista, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. ncontreras@uncp.edu.pe

⁶ Técnico Laboratorista, Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0274-5658>. dcolachagua@unaat.edu.pe

⁷ Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0560-2805>. e_2020101449@uncp.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Los actuales estilos de vida, la dependencia laboral para generar ingresos y una nueva conciencia en la elección de alimentos van incrementando la demanda y la variedad de estos (Guiné et al., 2020). Asimismo, la diversidad biocultural condiciona los estilos de alimentación, la nutrición, la resiliencia y la capacidad de adaptación a nuevos alimentos y estilos de alimentación buscando la seguridad alimentaria (Argumedo et al., 2021). Por estas razones se buscan nuevas alternativas de alimentación privilegiando los impactos de los sistemas alimentarios sobre la alimentación y la salud (Hervert-Hernández., 2022).

El Perú, con su gran diversidad biológica ha brindado al mundo diversos alimentos, un ejemplo de ello es la maca (*Lepidium meyenii* Walp.) raíz prodigiosa de los andes, considerado como superalimento que se ha convertido en los últimos años un emblema nacional, pero su sabor astringente limita su consumo directo entre los pobladores, a pesar de sus innumerables beneficios como la neuroprotección, propiedades antiinflamatorias, inmunorregulación, efectos antioxidantes, mejora de la fertilidad, combate la fatiga, posibles propiedades antitumorales, regulación metabólica, promueve la salud gastrointestinal, la protección cardíaca, la actividad antihipertensiva, la fotoprotección, el crecimiento muscular, la hepatoprotección, los efectos proangiogénicos, las propiedades antitrombóticas y la actividad antialérgica tal como señala Ulloa et al. (2024). Además de estos beneficios la maca tiene un alto valor nutritivo, elevado contenido de polifenoles, isotiocianatos y los aminoácidos esenciales (Mohamed et al., 2024).

Por otro lado, la lúcuma (*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze) es una fruta perenne de la familia Sapotaceae autóctona de la región Andina del Perú (Aguilar-Galvez et al. 2021), conocida por su alto contenido de fibra, β-caroteno, compuestos fenólicos con actividad antioxidante, esteroles, α-amirina, mioinositol y α-tocoferol, además de propiedades hipolipídicas, antihiperglucémicas y antiinflamatorias (Aguilar-Galvez et al., 2021; Li et al., 2021). Es un fruto versátil para la agroindustria que se emplea como materia prima en diversos productos (Aguilar-Galvez et al., 2021) incluyendo la elaboración de productos extruidos.

Asimismo, se ha añadido la espirulina (*Arthrospira maxima* Setchell & Gardner), un tipo de cianobacteria

(algas verde azul) con alto contenido de proteínas (50-70%), vitaminas, minerales, ácidos grasos omega-3 y omega-6, compuestos bioactivos como fenoles, ficolianina y polisacárido de elevada actividad biológica (actividad antioxidant y antiinflamatoria) (AlFadhly et al., 2022; Costa et al., 2021). Estos ingredientes con base en los grits de maíz amarillo duro han sido exitosamente añadidos al snack extruido, mejorando su composición nutricional y funcional.

Por otra parte, es conocido que los bocadillos extruidos han visto un aumento significativo en la popularidad recientemente, gracias a su facilidad de preparación y amplia aceptación sensorial (Hervert-Hernández 2022). Estudios recientes, como el de Pérez et al. (2017) y Silva et al. (2021) han demostrado que muchos de estos productos contienen ingredientes refinados y altos niveles de carbohidratos simples y gruesos, junto con diversos aditivos, lo que puede conducir a problemas de salud como la obesidad y la enfermedad cardíaca. Por lo tanto, es necesario desarrollar alternativas más saludables que no solo cumplan con las preferencias del consumidor, sino que también proporcionen un valor nutricional adicional.

Finalmente se puede indicar que la tecnología de extrusión ha demostrado ser muy versátil en la producción de alimentos al preservar y mejorar sus propiedades nutricionales (Leiva-Castro et al., 2025). Esto facilita la incorporación de ingredientes funcionales y mejora la textura y estructura de los productos finales (Leonard et al., 2019; Offiah et al., 2019). Además de eso, la extrusión también permite aprovechar los subproductos de la industria agroalimentaria en beneficio de la sustentabilidad del sistema alimentario (Uribe-Wandurraga et al. 2020). Por eso, la creación de snacks extruidos que incluyen superalimentos como la maca, la lúcuma y la espirulina, se muestra como una alternativa prometedora para elevar la aceptabilidad y el valor nutritivo de esos productos alimenticios.

Por ello el estudio tuvo como objetivo desarrollar y optimizar un snack extruido funcional a base de maca, lúcuma y espirulina y para alcanzar este objetivo fue necesario optimizar la formulación de las mezclas de ingredientes para maximizar el contenido proteico, la capacidad antioxidant y la aceptabilidad sensorial; validando la posibilidad de incorporar los ingredientes altoandinos y las microalgas en matrices extruidas. De este modo, se busca coadyuvar a la oferta de alimentos saludables en el mercado, cubriendo parte de la

demandas de alimentos con beneficios funcionales y atributos organolépticos atractivos (Córdoba-Cerón et al. 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo de investigación fue realizado en los laboratorios del programa de estudios de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicada en el centro poblado de Pomachaca, distrito y provincia de Tarma (11° 23' 03" S, 75° 41' 23" O, altitud 3 003 m s.n.m.)

Metodología

Materias primas

Se utilizaron gritz de maíz amarillo como base para la extrusión, adquiridos de la distribuidora en la ciudad de

Huancayo de la empresa Corina en sacos de 25 kg. La harina de maca fue adquirida en presentación de 1 kg de la empresa Cultivos Andinos Bombón de la ciudad de Junín, la harina de lúcumo se adquirió en bolsas de 5 kg de la empresa KERA Superfoods de la ciudad de Lima y la Espirulina en polvo fue adquirida en potes de 1 kg de la empresa Insumos Naturales en la ciudad de Lima.

Diseño experimental

Para desarrollar el snack extruido de alto contenido nutricional y funcional, se empleó un diseño óptimo de mezclas, apoyado en el software Design Expert v.13, el cual permitió la determinación de la proporción óptima de cada ingrediente para alcanzar los objetivos del estudio, alto contenido de proteínas, capacidad antioxidante, y propiedades sensoriales atractivas, en este caso se formularon 11 mezclas distintas (Tabla 1). Este diseño experimental se seleccionó por su idoneidad para evaluar la interacción entre ingredientes y optimizar formulaciones complejas.

Tabla 1. Formulaciones de los snacks de prueba.

| Ingredientes | Formulaciones (%) | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Gritz de maíz | 84.50 | 84.50 | 82.83 | 73.00 | 78.75 | 86.25 | 79.00 | 88.00 | 79.67 | 83.00 | 76.17 |
| Harina de maca | 10.00 | 5.00 | 8.33 | 10.00 | 10.00 | 7.50 | 5.00 | 5.00 | 6.67 | 10.00 | 8.33 |
| Harina de lúcumo | 5.00 | 10.00 | 8.33 | 15.00 | 10.00 | 5.00 | 15.00 | 5.00 | 11.67 | 5.00 | 15.00 |
| Espirulina | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 2.00 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 0.50 |

Procedimiento experimental

Para realizar el proceso de extrusión, se prepararon las formulaciones ajustando la humedad al 18% mediante la adición de agua ozonizada, luego se introdujeron en una extrusora de doble tornillo, marca Galix Tech, precalentada a 160 °C y operada a una velocidad de 45 rpm, la alimentación se realizó a 22 rpm y el corte a 15 rpm. Los ingredientes fueron previamente mezclados y continuamente alimentadas a la extrusora donde el calor y las fuerzas de corte convirtieron la mezcla en un producto expandido. Se han realizado ajustes en la preparación y en las circunstancias de la operación para aumentar la eficiencia en el crecimiento y disminuir la dureza del producto.

Análisis de laboratorio

Para evaluar la calidad del producto extruido, se determinó la composición químico proximal (proteínas, carbohidratos, lípidos, y humedad) de las materias primas y el contenido de proteínas de cada una de las muestras, siguiendo los métodos descritos en la

AOAC (1990). La capacidad antioxidante se midió mediante espectrofotometría UV-Vis de marca UNICO modelo UV-2150, aplicando el método DPPH descrito por Brand-Williams et al. (1995) y el contenido de polifenoles se determinó por el método Folin-Ciocalteau descrito por Abramović et al. (2017).

Evaluación sensorial

El análisis sensorial se realizó con 30 panelistas semientrenados, quienes evaluaron los atributos de sabor, color, olor, textura y apariencia general. La metodología empleada se basó en una escala hedónica de cinco puntos (1 = no me gusta para nada, 2 = no me gusta, 3 = ni me gusta ni me disgusta, 4 = me gusta, 5 = me gusta mucho) para determinar la aceptabilidad general del producto de acuerdo con la metodología descrita por Espinosa (2007).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó un Diseño Optimizado de Mezclas (DOM) mediante el uso del

software Design Expert v.13 para analizar formulaciones con componentes restringidos. Se generaron combinaciones experimentales basadas en criterios de optimización, ajustando modelos polinomiales (Scheffé) que relacionan proporciones de componentes con respuestas. La validación incluyó ANOVA, coeficientes R^2 y diagnóstico de residuos. La evaluación sensorial fue analizada además con la prueba de Friedman para identificar grupos homogéneos. La optimización de formulaciones para snacks extruidos se realizó mediante el software Design Expert v.13.

Tabla 2. Análisis químico proximal de las materias primas.

| Materia prima | Humedad (%) | Proteínas (%) | Cenizas (%) | Grasas (%) | Carbohidratos (%) |
|------------------|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------------|
| Gritz de maíz | 9.17 ± 0.28 | 6.34 ± 0.08 | 0.66 ± 0.04 | 3.37 ± 0.15 | 80.47 ± 0.49 |
| Harina de lúcumá | 12.27 ± 0.15 | 4.42 ± 0.15 | 0.79 ± 0.02 | 2.27 ± 0.15 | 80.26 ± 0.37 |
| Harina de maca | 5.73 ± 0.35 | 11.32 ± 0.40 | 4.94 ± 0.05 | 1.06 ± 0.15 | 76.94 ± 0.87 |
| Espirulina | 4.74 ± 0.06 | 62.50 ± 0.64 | 4.67 ± 0.15 | 5.27 ± 0.13 | 22.82 ± 0.82 |

Expresado como media de tres repeticiones ± DE (desviación estándar).

En proteínas, la espirulina lideró con $62.50 \pm 0.64\%$, destacándose como fuente completa de aminoácidos esenciales para productos enriquecidos (Mosibo et al., 2024). Le siguió la harina de maca ($11.32 \pm 0.40\%$), que además de los aminoácidos esenciales aporta glucosinolatos y polifenoles bioactivos (Yábar y Reyes, 2020), superando ampliamente al gritz de maíz ($6.34 \pm 0.08\%$) y la lúcumá ($4.42 \pm 0.15\%$).

El contenido de cenizas, reflejo de minerales, fue mayor en maca ($4.94 \pm 0.05\%$) y espirulina ($4.67 \pm 0.15\%$), gracias a su riqueza en hierro, zinc y calcio en el caso de la maca (Yábar y Reyes, 2020), frente a valores mínimos en gritz de maíz ($0.66 \pm 0.04\%$) y lúcumá ($0.79 \pm 0.02\%$). En grasas, la espirulina también destacó ($5.27 \pm 0.13\%$), con ácidos grasos como el gamma-linolénico, beneficioso para la salud cardiovascular (Mosibo et al., 2024), mientras maca y lúcumá registraron menos del $1.06 \pm 0.15\%$ y $2.27 \pm 0.15\%$ respectivamente.

Los carbohidratos dominaron en gritz de maíz ($80.47 \pm 0.49\%$), lúcumá ($80.26 \pm 0.37\%$) y maca ($76.94 \pm 0.87\%$). La lúcumá, en particular, contiene almidón resistente, útil para modular la respuesta glucémica en alimentos funcionales (Li et al., 2021). La espirulina, con solo $22.82 \pm 0.82\%$ de carbohidratos, se posiciona como opción para dietas bajas en carbohidratos y altas en proteínas (Mosibo et al., 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Composición químico proximal de las materias primas

Los resultados, detallados en la Tabla 2, revelan diferencias notables que orientan su uso en formulaciones específicas, según objetivos nutricionales o tecnológicos. La humedad varió desde 4.74% en la espirulina, ideal para almacenamiento prolongado al inhibir microorganismos (Mosibo et al., 2024), hasta 12.27% en harina de lúcumá, que requiere condiciones controladas para evitar degradación (Li et al., 2021).

El gritz de maíz, con un perfil típico de $80.47 \pm 0.49\%$ carbohidratos y $6.34 \pm 0.08\%$ proteínas, coincide con el trabajo de Jozinović et al. (2021) que lo recomiendan para productos energéticos. Por su parte, la maca refuerza su valor añadido no solo por minerales, sino por su equilibrio entre macronutrientes y compuestos bioactivos.

Estas diferencias abren rutas para innovar: la espirulina como suplemento proteico, el maíz y lúcumá como bases energéticas, y la maca como ingrediente multifuncional. La elección dependerá de si se busca mejorar estabilidad, densidad nutricional o funcionalidad, demostrando que la diversidad de materias primas es clave para diseñar alimentos adaptados a las demandas actuales.

Composición química y evaluación sensorial de los tratamientos experimentales

Los datos de la Tabla 3 revelan que el tratamiento T2 sobresale: combina alta capacidad antioxidante ($137.38 \pm 0.32 \mu\text{mol ETg}^{-1}$) y polifenoles ($50.88 \pm 0.10 \text{ mg AGE[100g]}^{-1}$) con una excelente aceptación en olor (4.50 ± 0.78) y sabor (4.63 ± 0.49), posicionándolo como el más equilibrado. Le siguen los tratamientos 5, 7 y 10, ricos en antioxidantes ($> 125 \mu\text{mol ETg}^{-1}$), aunque su atractivo sensorial decae, especialmente en olor (≤ 2.73) y color (≤ 3.13), sugiriendo que un mayor beneficio nutricional podría comprometer el gusto.

Tabla 3. Análisis químico, funcional y sensorial de los tratamientos experimentales.

| Tratamiento | Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol ETg}^{-1}$) | Polifenoles (mg AGE [100g $^{-1}$]) | Proteínas (%) | Color | Olor | Sabor | Textura | Aceptación general |
|-------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| T1 | 99.60 ± 0.15 | 36.89 ± 0.67 | 10.61 ± 0.97 | 3.70 ± 0.88 | 3.50 ± 0.90 | 3.43 ± 0.73 | 3.83 ± 0.38 | 3.97 ± 0.18 |
| T2 | 137.38 ± 0.32 | 50.88 ± 0.10 | 10.82 ± 0.73 | 4.43 ± 0.82 | 4.50 ± 0.78 | 4.63 ± 0.49 | 3.90 ± 0.31 | 3.93 ± 0.25 |
| T3 | 66.42 ± 0.27 | 24.60 ± 0.94 | 9.39 ± 0.69 | 3.93 ± 0.78 | 3.97 ± 0.96 | 4.17 ± 0.79 | 3.90 ± 0.31 | 3.93 ± 0.25 |
| T4 | 84.24 ± 0.61 | 31.20 ± 0.65 | 9.89 ± 0.22 | 3.07 ± 1.48 | 3.07 ± 1.26 | 3.53 ± 1.04 | 3.50 ± 1.04 | 3.50 ± 1.04 |
| T5 | 130.63 ± 0.66 | 48.38 ± 0.92 | 10.08 ± 0.11 | 3.13 ± 1.41 | 2.73 ± 1.31 | 2.97 ± 1.13 | 3.40 ± 1.07 | 3.40 ± 1.07 |
| T6 | 67.85 ± 0.26 | 25.13 ± 0.93 | 8.74 ± 0.46 | 3.07 ± 1.39 | 2.63 ± 1.35 | 3.40 ± 1.00 | 3.53 ± 1.04 | 3.53 ± 1.04 |
| T7 | 125.15 ± 0.30 | 46.35 ± 0.27 | 9.20 ± 0.03 | 2.47 ± 1.46 | 2.70 ± 1.68 | 3.80 ± 1.06 | 3.53 ± 1.11 | 3.53 ± 1.11 |
| T8 | 98.82 ± 0.46 | 36.60 ± 0.64 | 9.39 ± 0.22 | 3.20 ± 1.42 | 3.17 ± 1.46 | 3.53 ± 1.14 | 3.40 ± 1.10 | 3.40 ± 1.10 |
| T9 | 113.00 ± 0.43 | 41.85 ± 0.54 | 8.14 ± 0.24 | 3.13 ± 1.61 | 2.90 ± 1.45 | 3.07 ± 1.11 | 3.40 ± 1.07 | 3.40 ± 1.07 |
| T10 | 125.39 ± 0.13 | 46.44 ± 0.06 | 10.88 ± 0.79 | 3.30 ± 1.42 | 2.57 ± 1.22 | 3.63 ± 1.16 | 3.33 ± 1.09 | 3.33 ± 1.09 |
| T11 | 94.72 ± 0.35 | 35.08 ± 0.13 | 11.09 ± 0.27 | 2.93 ± 1.53 | 2.60 ± 1.25 | 3.50 ± 1.20 | 3.67 ± 1.18 | 3.67 ± 1.18 |

Expresado como media de tres repeticiones ± DE.

Las formulaciones que incluyen espirulina, maca y lúcuma destacaron por su elevada actividad antioxidante y concentración de polifenoles. Este efecto se atribuye a compuestos como las ficocianinas y péptidos bioactivos de la espirulina (Costa et al., 2021), las macamidas de la maca y los polifenoles y carotenoides de la lúcuma, reconocidos por neutralizar radicales libres (Li et al., 2021).

El contenido proteico de los snacks varió entre 8.14 ± 0.24% y 11.09 ± 0.27%, superando el promedio de extruidos de maíz convencionales (~7%) (Duarte y Cruz, 2024). Este incremento se explica por la espirulina, cuya composición proteica ronda el 50-70% (Mosibo et al. 2024), y la maca, que además aporta aminoácidos esenciales (Yábar y Reyes, 2020). Aunque el proceso de extrusión puede desnaturalizar parcialmente las proteínas y formar enlaces isopeptídicos (Jozinović et al., 2021), la mezcla de maíz con estos ingredientes logró un producto alineado con la demanda de snacks proteicos (Grasso, 2020).

Con respecto a la percepción sensorial, los tratamientos T1, T2 y T3 obtuvieron las mejores calificaciones. En apariencia, la espirulina aportó tonalidades verdes y la lúcuma matices amarillos, una combinación poco convencional que, sorprendentemente, no redujo su atractivo,

coincidiendo con hallazgos en snacks vegetales (Grasso, 2020).

En aroma y sabor, el balance entre notas herbáceas (espirulina), dulzor (lúcuma) y toques terrosos (maca) resultó agradable. Estudios sugieren que proporciones precisas de estos ingredientes mejoran la percepción sensorial (Jozinović et al., 2021). En textura, el producto mantuvo crocancia y expansión, aunque con leve rigidez frente a extruidos de maíz puro, probablemente por la interacción de proteínas y fibra (Costa et al., 2021). Esta característica, común al añadir componentes funcionales, puede influir en la densidad del producto (Leonard et al., 2019).

Análisis de superficie de respuesta para la capacidad antioxidante

La Figura 1 presenta el análisis de superficies de respuesta, revelando que la actividad antioxidante de los snacks varió notablemente según su composición, desde 66.42 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$ (T3, rico en gritz de maíz) hasta 137.38 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$ (T2, con mayor proporción de lúcuma y maca). Los datos muestran una relación directa, al incrementar las harinas de maca (B) y lúcuma (C) por encima del 50% de la mezcla, se potencia esta capacidad, alcanzando su máximo en T2.

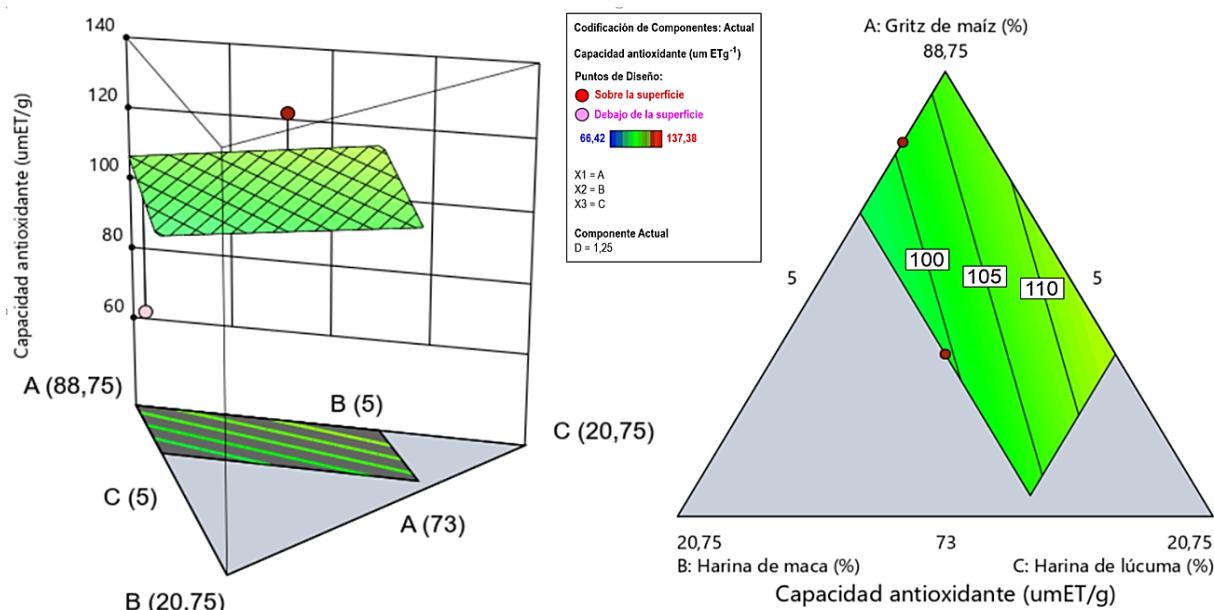


Figura 1. Superficie de respuesta de la Capacidad Antioxidante ($\mu\text{mET g}^{-1}$) en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

El modelo tridimensional (Figura 1) destaca áreas verdes intensas donde predominan lúcumo y maca, con valores entre 99.60 y 137.38 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$, confirmados por los puntos experimentales (rojos). En contraste, las zonas con mayor contenido de maíz (A) registraron la menor actividad, como en T3 (66.42 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$). Esta tendencia se refuerza con el diagrama de contorno, donde las regiones con > 50% de lúcumo y maca mostraron niveles de 100-110 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$, mientras el maíz, aunque esencial para la textura, aportó menos compuestos bioactivos.

Para maximizar la actividad antioxidante sin comprometer calidad, se propone una mezcla con 40% de lúcumo y maca combinadas, y 60% de maíz. Esta fórmula mantiene valores > 100 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$, aprovechando los polifenoles de la maca (hasta 4.2 mg g⁻¹) y la lúcumo (30-50 mg [100g]⁻¹), cuyos beneficios persisten incluso tras procesamiento térmico (Yábar y Reyes, 2020; Li et al. 2021). El maíz, aunque limitado en antioxidantes, sigue siendo clave para la expansión y textura del producto.

El proceso de extrusión no redujo drásticamente la actividad antioxidante en formulaciones ricas en maca y lúcumo. Por el contrario, las altas temperaturas y presión podrían liberar compuestos atrapados en la matriz alimentaria, aumentando su biodisponibilidad (Jozinović et al., 2021). Además, se observó que las melanoidinas formadas durante la reacción de Maillard

contribuyen a esta actividad (Leonard et al., 2019). Estudios previos señalan que la extrusión puede elevar la capacidad antioxidante entre 10% y 30% en productos enriquecidos (Collantes et al., 2022).

Un hallazgo relevante es que las mezclas con alta proporción de maca y lúcumo mantuvieron niveles superiores a 100 $\mu\text{mol ETg}^{-1}$ post-procesamiento, sugiriendo que el calor no solo preserva, sino que podría estabilizar estos compuestos. Esto abre posibilidades para diseñar snacks funcionales donde el procesamiento no degrada, sino que potencie, sus beneficios.

Análisis de superficie de respuesta para el contenido de polifenoles

El contenido de polifenoles en los snacks varía drásticamente según los ingredientes, desde 24.60 mgAGE (100g)⁻¹ (T3, rico en maíz) hasta 50.88 mgAGE (100g)⁻¹ (T2, con predominio de lúcumo y maca). La Figura 2 revela que superar el 50% de estos ingredientes andinos maximiza su aporte antioxidante, como confirman las zonas verdes intensas en el modelo 3D, donde se registran hasta 50.88 mgAGE (100 g)⁻¹. En contraste, el maíz reduce estos valores a casi la mitad, como muestra T3 (24.60 mgAGE [100 g]⁻¹), aunque sigue siendo clave para la textura crujiente (Li et al., 2021; Yábar y Reyes, 2020).

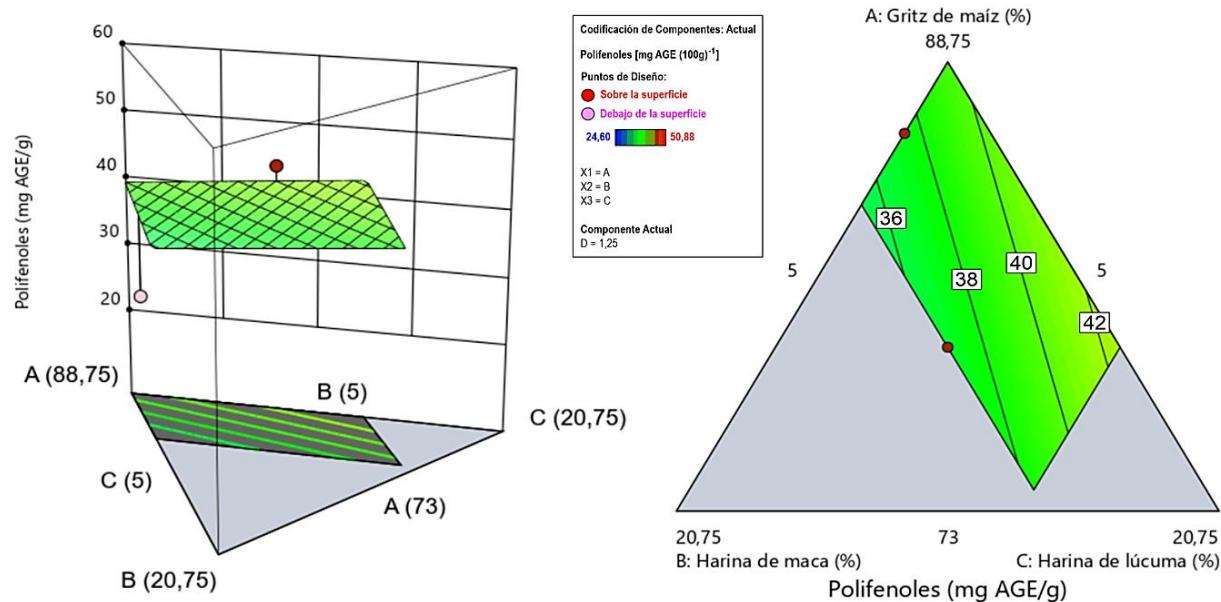


Figura 2. Superficie de respuesta del contenido de polifenoles (mgAGE [100 g]⁻¹) en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

La fórmula ideal combina 40-50% de lúcumo y maca con 50-60% de maíz, logrando > 40 mgAGE (100g)⁻¹. Esto aprovecha los 50 mgAGE (100 g)⁻¹ de polifenoles en lúcumo y los compuestos termoestables de maca, que resisten el procesamiento térmico. Aunque el maíz diluye antioxidantes, su papel estructural es insustituible (Li et al., 2021).

Sorprendentemente, la extrusión no degradó los polifenoles en mezclas andinas. Por el contrario, la presión y temperatura liberaron compuestos atrapados, aumentando su biodisponibilidad (Jozinović et al., 2021). Además, las melanoidinas formadas durante el tostado estabilizan estos antioxidantes (Leonard et al., 2019). Estudios sugieren que la extrusión puede elevar los polifenoles hasta un 50%, dependiendo de los ingredientes (Collantes et al., 2022). La espirulina (1.25% fijo) actuaría como escudo

antioxidante, protegiendo estos compuestos (Costa et al., 2021). Un hallazgo clave indica que las mezclas con lúcumo y maca mantuvieron > 40 mgAGE (100g)⁻¹ tras la extrusión, sugiriendo que el calor no solo preserva, sino que potencia su actividad. Esto redefine el procesamiento térmico como aliado, no enemigo, de la nutrición.

Análisis de superficie de respuesta para el contenido de proteínas

La Figura 3 muestra cómo el contenido proteico de los snacks varía según su formulación: desde 8.14% (T9, alto en maíz) hasta 11.09% (T11, rico en maca y espirulina). Al aumentar estos ingredientes proteicos, el valor nutricional se potencia, alcanzando su máximo en T11.

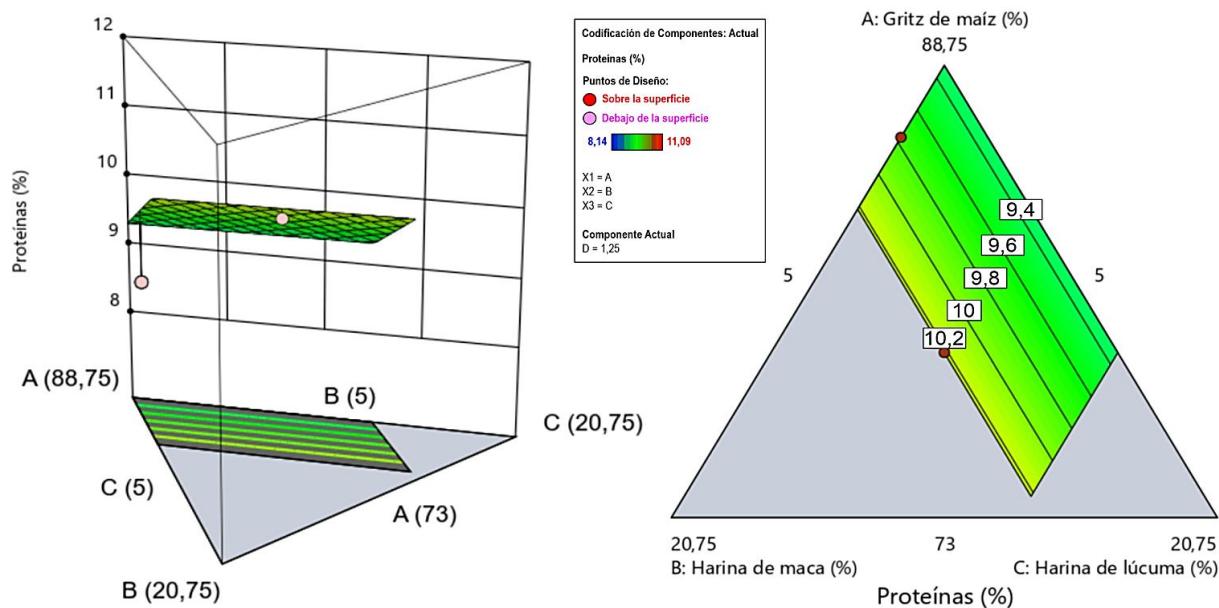


Figura 3. Superficie de respuesta del contenido de proteínas (%) en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

El modelo tridimensional destaca zonas verdes intensas donde maca (B) y espirulina (D) elevan la proteína > 10%, mientras que el maíz (A) la reduce a ~8%, como en T9. Los puntos rojos validan esta tendencia: a mayor proporción de maca y espirulina, mejor perfil proteico.

El diagrama de contorno refuerza que mezclas con > 50% de maca y espirulina logran 10-11% de proteína, frente a 8-9% en formulaciones dominadas por maíz. Un ejemplo: 40% maca, 30% espirulina y 30% maíz alcanzan 10.88%, mientras que > 50% de maíz reduce el valor a 8.14%.

Para snacks proteicos sin sacrificar calidad, se recomienda 40-50% de maca y espirulina con 50-60% de maíz. Estudios destacan que la maca aporta proteínas de alto valor biológico, y la espirulina, con hasta 60% de proteína, es clave para enriquecer extrudidos (Li et al., 2021; Coro et al., 2023).

El calor y presión durante la extrusión no redujeron drásticamente la proteína, pero sí modificaron su estructura, mejorando su digestibilidad. La desnaturización proteica inactiva inhibidores de tripsina, aumentando su biodisponibilidad (Coro et al., 2023). Aunque la extrusión puede elevar la digestibilidad proteica 10-15% al romper enlaces complejos (Collantes et al., 2022), temperaturas extremas generan reacciones de Maillard que reducen

lisina en 5-10% (Leonard et al. 2019).

Las mezclas con mayor espirulina y maca mantuvieron > 10% de proteína post-procesamiento, sugiriendo que el calor no degrada, sino que mejora su calidad. Esto posiciona a la extrusión como aliada para snacks funcionales: alta proteína, digestibilidad mejorada y perfil nutricional adaptado a demandas actuales. Así, ingredientes como la maca y espirulina no solo enriquecen, sino que desafían los límites de lo que los procesos industriales pueden lograr en alimentos saludables.

Análisis de superficie de respuesta para la evaluación sensorial

Evaluación del color

La Figura 4 muestra que la percepción del color en el snack extruido varía entre 2.47 y 4.43 en la escala hedónica, dependiendo de la proporción de gritz de maíz (A), harina de maca (B) y harina de lúcum (C). Se observó que formulaciones con mayor contenido de gritz de maíz y harina de maca alcanzan valores más altos ($\approx 3.4-3.5$), mientras que aquellas con más harina de lúcum obtienen los valores más bajos ($\approx 2.4-2.6$). El tratamiento T2 (81.98% maíz, 7.08% maca, 10.44% lúcum) presentó la mejor aceptación sensorial (4.43 ± 0.82), mientras que T7 mostró la menor (2.47 ± 1.46).

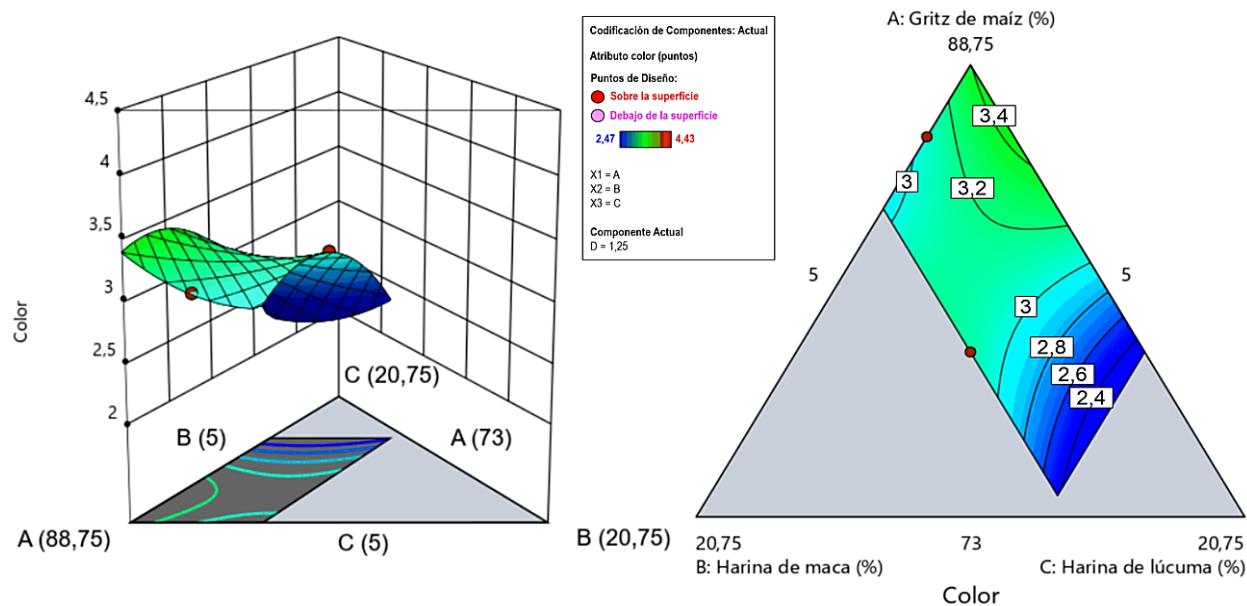


Figura 4. Superficie de respuesta del color del snack en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

Comparando con estudios previos, Leonard et al. (2019) destacan que la extrusión modifica el color de los productos según la temperatura y la composición. Mohamed et al. (2024) reportan que la harina de maca mejora la intensidad cromática pero a concentraciones $> 20\%$ puede generar un regusto terroso. Grasso (2020) enfatiza que el gritz de maíz contribuye a la retención de pigmentos, mejorando la apariencia del producto.

En términos de desarrollo de productos, la harina de lúcumo debe balancearse cuidadosamente, ya que su presencia reduce la intensidad del color. Jozinović et al. (2021) sugieren que combinaciones óptimas de ingredientes pueden mejorar la aceptación sensorial sin comprometer atributos visuales. Pavani et al. (2023) recomiendan estrategias como la encapsulación de pigmentos para mejorar la estabilidad del color.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de optimizar la formulación de snacks extruidos, asegurando que el equilibrio entre ingredientes funcionales y atributos sensoriales mejore la percepción del consumidor (Shimizu et al. 2024; Pavani et al. 2023).

Evaluación del olor

La evaluación sensorial del olor (Figura 5) mostró diferencias significativas en función de la formulación de los snacks extruidos. Las puntuaciones oscilaron

entre 2.57 y 4.50 en la escala hedónica de cinco puntos. Las formulaciones con mayor proporción de gritz de maíz obtuvieron los valores más altos (3.4-3.5), mientras que aquellas con mayor proporción de harina de maca y lúcumo fueron peor valoradas (2.6-2.8). T2 presentó la mejor aceptación (4.50 ± 0.78), mientras que T10 tuvo la menor (2.57 ± 1.22).

Los resultados coinciden con estudios previos. Jozinović et al. (2021) demostraron que los productos a base de gritz de maíz retienen mejor los compuestos volátiles, lo que favorece su percepción aromática. Sin embargo, la harina de maca puede generar notas terrosas, afectando la aceptación sensorial. Mohamed et al. (2024) y Yábar y Reyes (2020) informaron que su uso en concentraciones superiores al 20% disminuye la percepción positiva del aroma.

En el caso de la lúcumo, aunque su dulzura mejora la percepción del snack, Li et al. (2021) indicaron que la degradación térmica de sus compuestos volátiles durante la extrusión puede producir notas aromáticas menos atractivas. Estudios previos sobre evaluación sensorial en extruidos sugieren que la combinación de ingredientes con aromas dominantes puede afectar la percepción global del producto. Grasso (2020) destacó que los snacks extruidos con harinas funcionales pueden enfrentar desafíos en términos de aceptación sensorial debido a la generación de compuestos volátiles no deseados.

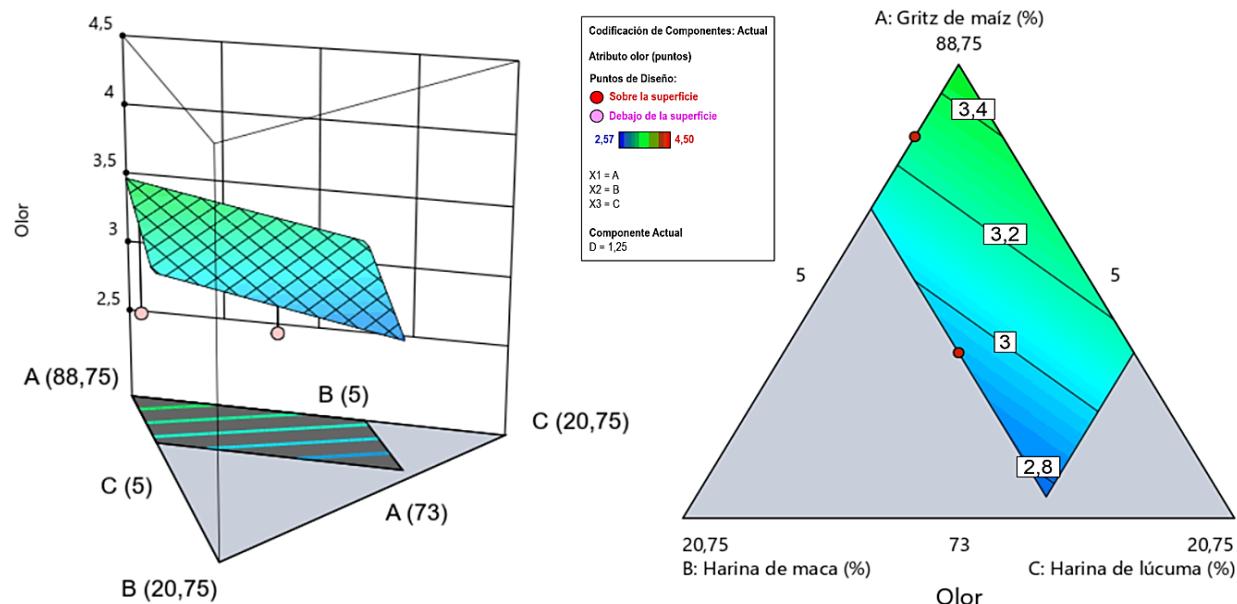


Figura 5. Superficie de respuesta del olor del snack en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

Se recomienda priorizar el gritz de maíz como ingrediente base para mejorar el aroma del snack extruido, mientras que la harina de maica y lúcum deben utilizarse en proporciones equilibradas para evitar efectos negativos en la percepción sensorial. Pavani et al. (2023) sugieren el uso de agentes enmascaradores de aroma o pretratamientos térmicos para mejorar la aceptación del consumidor.

Evaluación del sabor

El sabor es un atributo clave en la aceptación de productos extruidos. La evaluación con escala hedónica mostró variaciones entre 2.97 y 4.63 (Figura 6), con mejor percepción en formulaciones con mayor proporción de gritz de maíz (A) y harina de maica (B), obteniendo puntuaciones de 4.30 a 4.50. En contraste, la espirulina (D) en altas concentraciones redujo la aceptación, alcanzando valores de 2.4 a 3.0.

La formulación T2 obtuvo la mejor puntuación (4.63 ± 0.49), lo que sugiere que el balance entre gritz de maíz y harina de maica optimiza el sabor. En cambio, T5 y T9, con valores de 2.97 ± 1.13 y 3.07 ± 1.11 , mostraron menor aceptación, probablemente por el impacto sensorial de la espirulina. Estos hallazgos coinciden con estudios previos sobre extrusión de snacks. Grasso (2020) informó que el uso de subproductos en

extrusiones puede afectar la percepción sensorial, especialmente en ingredientes con perfiles aromáticos intensos, como la espirulina.

Además, Nuchsai y Sakphisutthikul (2023) indicaron que la textura influye en la percepción sensorial, sugiriendo que la crocancia del gritz de maíz puede mejorar la aceptabilidad del producto. Respecto a la maica, Mohamed et al. (2024) y Yábar y Reyes (2020) reportaron que su regusto terroso, en concentraciones superiores al 20%, puede afectar la percepción sensorial.

Sobre la lúcum, Li et al. (2021) señalaron que sus compuestos volátiles pueden degradarse durante la extrusión, afectando el perfil aromático. No obstante, su dulzura natural ayuda a equilibrar sabores amargos, favoreciendo la aceptación en formulaciones con mayor contenido de gritz de maíz y maica.

Para optimizar la formulación, se recomienda priorizar el gritz de maíz y la harina de maica, mientras que la espirulina debe utilizarse en niveles controlados para evitar afectar negativamente la percepción sensorial. Pavani et al. (2023) sugieren estrategias como edulcorantes naturales o enmascaradores de sabor para mejorar la aceptación de productos extruidos.

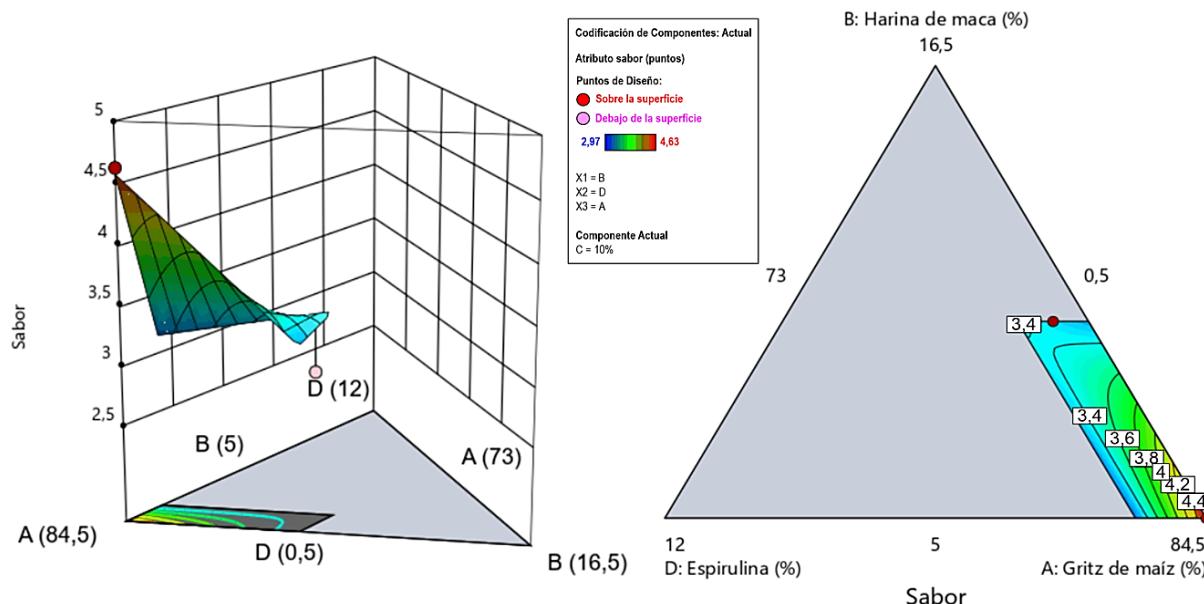


Figura 6. Superficie de respuesta del sabor del snack en función de las proporciones de los componentes B, D y A.

Evaluación de la textura

El análisis sensorial de la textura (Figura 7) en los snacks extruidos reveló diferencias entre las muestras evaluadas. Según la escala de preferencia de cinco niveles aplicada, las versiones con más gritz de maíz lograron puntuaciones superiores, reflejando una

mayor sensación de crujencia y consistencia. Las muestras T2 y T3 registraron las cifras máximas en textura (3.90 ± 0.31), mientras que T10 tuvo el valor más bajo (3.33 ± 1.09), sugiriendo que ciertos ingredientes perjudican la experiencia al consumirlos.

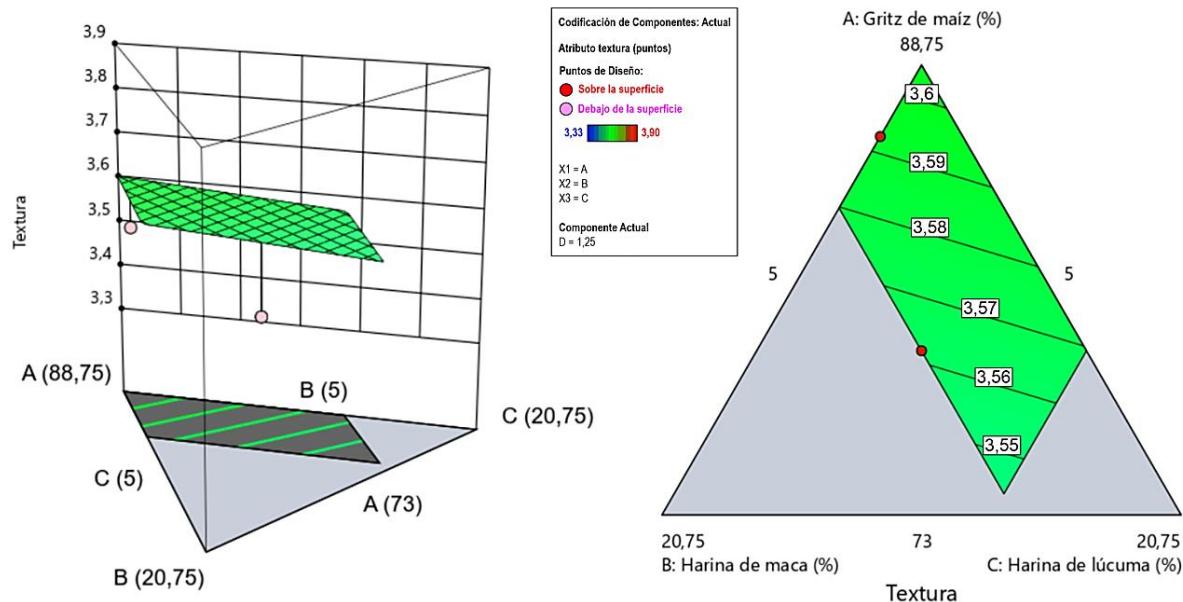


Figura 7. Superficie de respuesta de la textura del snack en función de las proporciones de los componentes A, B y C.

La Figura 7 apoya esta tendencia: en el gráfico 3D, los niveles altos de textura se ubicaron en recetas con mayor proporción de gritz de maíz. Por el contrario, aquellas con más harina de maca y lúcumo mostraron resultados inferiores (3.40-3.53), indicando que estos componentes alteran la estructura del producto. Esto

se alinea con investigaciones previas, donde la pérdida de crujencia se vinculó al incremento de fibra, que interrumpe la gelificación del almidón y limita la expansión durante la extrusión (Pavani et al., 2023; Leonard, et al. 2019).

El patrón observado concuerda con la evidencia científica: el nivel de almidón es clave para formar una estructura porosa y crujiente (Jozinović et al. 2021). La disminución de la crujencia en recetas ricas en harina de maca también fue documentada antes, señalando que superar el 20% de este ingrediente genera una textura menos agradable al paladar (Comettant-Rabanal et al. 2021, Collantes et al. 2022).

Por ello el gritz de maíz emerge como factor clave para lograr texturas crujientes en snacks extruidos, mientras que la harina de maca y lúcumo tienden a ablandar la textura. Para maximizar la preferencia del consumidor, se sugiere equilibrar la crujencia con los nutrientes aportados por estos ingredientes (Nuchsai y Sakphisutthikul 2023).

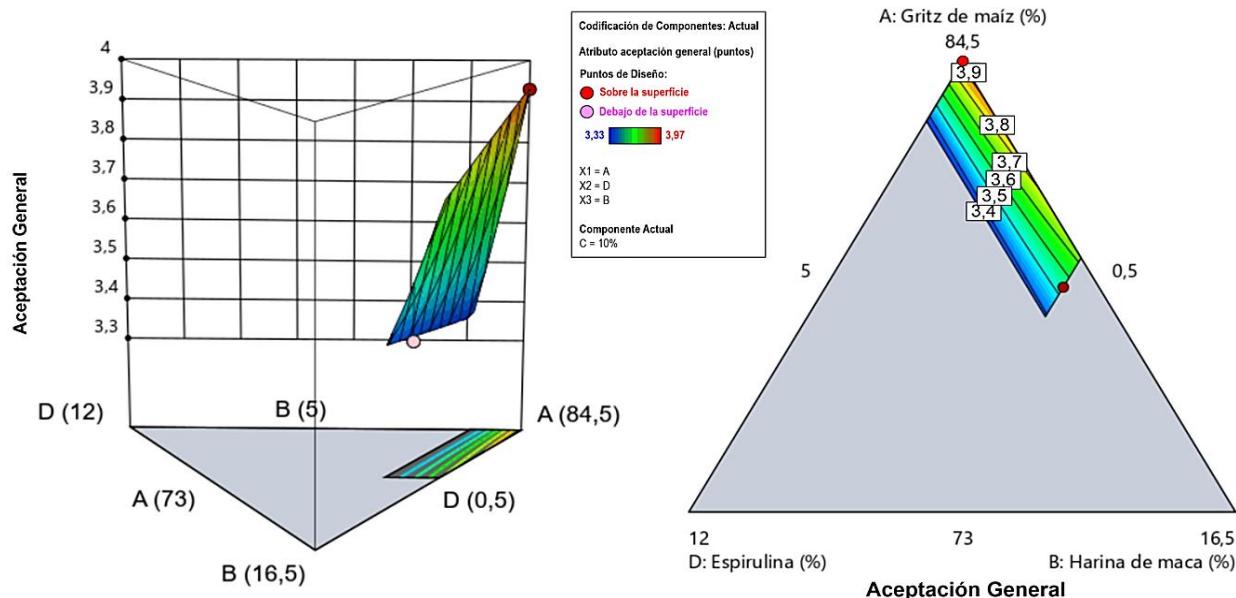


Figura 8. Superficie de respuesta para la aceptación general del snack en función de las proporciones de los componentes A, D y B.

El gráfico en tres dimensiones evidenció que las fórmulas con menos harina de maca y espirulina tuvieron mejores resultados en las pruebas sensoriales, y el diagrama de proporciones confirmó que el maíz molido es el elemento central en la preferencia del consumidor. Por otro lado, aumentar la espirulina se asoció a una menor aprobación, lo que indica que su influencia en cualidades como el aroma o el gusto podría alterar la percepción del producto.

La disminución en la preferencia de las fórmulas con altas dosis de espirulina y maca podría deberse a alteraciones en el aroma y gusto. Investigaciones previas señalan que, si bien la espirulina se usa para enriquecer productos, exceder el 12% reduce su

Evaluación de la aceptación general

La Figura 8 muestra la evaluación sensorial de los aperitivos, revelándose diferencias significativas entre las formulaciones probadas; los puntajes variaron entre 3.33 y 3.97. Por un lado las muestras T1 (3.97 ± 0.18) y T2-T5 (3.93 ± 0.25), obtuvieron los resultados más sobresalientes; en contraste la muestra T10 (3.33 ± 1.09), recibió la calificación más baja en la escala. Las formulaciones con $\geq 84.5\%$ de gritz de maíz obtuvieron calificaciones superiores; en contraste aquellos que contenían mayor proporción de harina de maca y espirulina (12% o más) mostraron una aceptación más baja en el rango de 3.3 a 3.5.

atractivo, alineándose con reportes sobre su efecto desfavorable (AlFadhly et al., 2022; Costa et al., 2021). Se propone reducir su cantidad o emplear métodos para camuflar sus rasgos sensoriales (Uribe-Wandurraga et al., 2020).

En cuanto a la harina de maca, a pesar de sus propiedades nutritivas y componentes activos (Mohamed et al., 2024), su inclusión superior al 20% disminuye la aceptación, principalmente por un regusto terroso (Baquerizo et al., 2021). En contraste, el maíz molido se posiciona como el componente clave, gracias a su sabor familiar y textura quebradiza (Leonard et al., 2019; Jozinović et al., 2021). La literatura especializada respalda que fórmulas con $\geq 80\%$ de maíz optimizan

la aceptación, garantizando una experiencia más agradable (Offiah et al., 2019). Finalmente, el modelado de mezclas permitió identificar opciones con alta aceptación, destacándose la propuesta con 81.98% maíz, 7.08% maca y 10.44% lúcumo, que alcanzó 3.83 puntos, superando a snacks comunes (Pérez et al., 2017; Guiné et al., 2020). Esto refuerza que equilibrar los ingredientes es esencial para lograr un producto sensorialmente atractivo.

De otra parte se realizó la prueba no paramétrica de Friedman (por tener datos que no se ajustan a la curva

normal) para los atributos sensoriales, observándose diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 4) para los atributos de sabor, color y olor ($p < 0.0001$ en todos los casos), indicando que al menos uno de los tratamientos fue percibido como diferente por los evaluadores. Asimismo, en los atributos de textura y apariencia general no se presentaron diferencias significativas ($p = 0.2234$ y $p = 0.0626$ respectivamente), indicando que estos atributos fueron calificados de manera similar para todas las formulaciones.

Tabla 4. Prueba de Friedman para los atributos sensoriales.

| Atributo | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T ² | p |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------|
| Sabor | 5.38 | 8.92 | 7.50 | 5.77 | 4.30 | 5.42 | 6.47 | 5.70 | 4.67 | 6.13 | 5.75 | 6.01 | < 0.0001 |
| Color | 6.58 | 8.45 | 7.20 | 5.65 | 5.85 | 5.37 | 4.28 | 5.90 | 5.62 | 6.05 | 5.05 | 4.10 | < 0.0001 |
| Olor | 6.83 | 9.22 | 7.97 | 5.82 | 5.25 | 4.87 | 5.10 | 6.00 | 5.57 | 4.75 | 4.63 | 7.62 | < 0.0001 |
| Textura | 6.75 | 6.97 | 6.97 | 5.85 | 5.42 | 5.83 | 5.80 | 5.42 | 5.37 | 5.43 | 6.20 | 1.31 | 0.2234 |
| Apariencia general | 7.13 | 7.02 | 7.02 | 5.75 | 5.32 | 5.78 | 5.82 | 5.32 | 5.33 | 5.32 | 6.20 | 1.79 | 0.0626 |

Después de determinar la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos para los atributos de sabor, color y olor ($p < 0.05$) se realizó una evaluación post hoc para la prueba de Friedman (Tablas 5, 6, 7). De manera particular, el tratamiento T2 fue el mejor valorado en estos tres atributos, formando parte de los grupos homogéneos superiores en cada caso. Para el

atributo sabor, T2 obtuvo una puntuación promedio de 8.92, seguido por T3 (7.50), ambos ubicados en los grupos A y B, respectivamente, lo que indica que fueron percibidos como los de mejor sabor por los panelistas. Por el contrario, los tratamientos T5 y T9 obtuvieron los puntajes más bajos, integrando los grupos I y J.

Tabla 5. Análisis post hoc de la prueba de Friedman para los atributos sensorial sabor.

| Tratamiento | Suma | Media | n | Grupos homogéneos | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|----|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| T2 | 267.5 | 8.92 | 30 | A | | | | | | | |
| T3 | 225.0 | 7.50 | 30 | A | B | C | | | | | |
| T7 | 194.0 | 6.47 | 30 | B | C | D | E | F | G | H | |
| T10 | 184.0 | 6.13 | 30 | C | D | E | F | G | H | I | |
| T4 | 173.0 | 5.77 | 30 | | D | E | F | G | H | I | |
| T11 | 172.5 | 5.75 | 30 | | | E | F | G | H | I | J |
| T8 | 171.0 | 5.70 | 30 | | | | F | G | H | I | J |
| T6 | 162.5 | 5.42 | 30 | | | | | G | H | I | J |
| T1 | 161.5 | 5.38 | 30 | | | | | | H | I | J |
| T9 | 140.0 | 4.67 | 30 | | | | | | I | J | |
| T5 | 129.0 | 4.30 | 30 | | | | | | | J | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$).

Tabla 6. Análisis post hoc de la prueba de Friedman para los atributos sensorial color.

| Tratamiento | Suma | Media | n | Grupos homogéneos | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|----|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| T2 | 253.5 | 8.45 | 30 | A | | | | | | | |
| T3 | 216.0 | 7.20 | 30 | A | B | C | D | E | | | |
| T1 | 197.5 | 6.58 | 30 | B | C | D | E | F | G | H | |
| T10 | 181.5 | 6.05 | 30 | C | D | E | F | G | H | I | |
| T8 | 177.0 | 5.90 | 30 | | D | E | F | G | H | I | |
| T5 | 175.5 | 5.85 | 30 | | | E | F | G | H | I | |
| T4 | 169.5 | 5.65 | 30 | | | | F | G | H | I | J |
| T9 | 168.5 | 5.62 | 30 | | | | | G | H | I | J |
| T6 | 161.0 | 5.37 | 30 | | | | | | H | I | J |
| T11 | 151.5 | 5.05 | 30 | | | | | | I | J | |
| T7 | 128.5 | 4.28 | 30 | | | | | | | J | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$).

Tabla 7. Análisis post hoc de la prueba de Friedman para los atributos sensorial olor.

| Tratamiento | Suma | Media | n | Grupos homogéneos | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|----|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
| T2 | 276.5 | 9.22 | 30 | A | | | | | | | | | |
| T3 | 239.0 | 7.97 | 30 | A | B | | | | | | | | |
| T1 | 205.0 | 6.83 | 30 | B | C | D | E | | | | | | |
| T8 | 180.0 | 6.00 | 30 | C | D | E | F | G | H | I | J | | |
| T4 | 174.5 | 5.82 | 30 | D | E | F | G | H | I | J | | | |
| T9 | 167.0 | 5.57 | 30 | E | F | G | H | I | J | | | | |
| T5 | 157.5 | 5.25 | 30 | F | G | H | I | J | | | | | |
| T7 | 153.0 | 5.10 | 30 | G | H | I | J | | | | | | |
| T6 | 146.0 | 4.87 | 30 | H | I | J | | | | | | | |
| T10 | 142.5 | 4.75 | 30 | I | J | | | | | | | | |
| T11 | 139.0 | 4.63 | 30 | J | | | | | | | | | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$).

Para el atributo color, T2 alcanzó una puntuación de 8.45, seguido por T3 y T1, que también se ubicaron dentro de los grupos de mayor aceptación. Los tratamientos T11 y T9 mostraron las puntuaciones más bajas en este atributo. En cuanto al olor, T2 obtuvo la puntuación más alta (9.22), siendo estadísticamente superior al resto de tratamientos. Le siguió T3 (7.97), mientras que T10 y T11 fueron los peor valorados por los evaluadores.

Optimización de las mezclas

La Tabla 8 presenta las cuatro opciones generadas, las cuales fueron evaluadas en términos de deseabilidad, ingredientes, componentes funcionales, proteínas y atributos sensoriales.

Tabla 8. Comparación y elección de la mejor opción.

| Parámetro | Opción 1 | Opción 2* | Opción 3 | Opción 4 |
|-----------------------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| Deseabilidad | 0.615 | 0.611 | 0.609 | 0.609 |
| Gritz de maíz (%) | 80.57 | 81.98 | 81.04 | 81.64 |
| Harina de maca (%) | 7.08 | 7.08 | 7.82 | 7.62 |
| Harina de lúcumo (%) | 11.85 | 10.44 | 10.64 | 10.23 |
| Espirulina (%) | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Capacidad antioxidante ($\mu\text{mOLET g}^{-1}$) | 104.96 | 103.80 | 102.23 | 102.38 |
| Polifenoles (mgAGE [100g] $^{-1}$) | 38.87 | 38.44 | 37.86 | 37.92 |
| Proteínas (%) | 10.14 | 10.13 | 10.27 | 10.23 |
| Color | 3.74 | 3.96 | 3.84 | 3.91 |
| Olor | 3.44 | 3.48 | 3.42 | 3.44 |
| Sabor | 3.97 | 4.01 | 3.81 | 3.88 |
| Aceptación general | 3.78 | 3.83 | 3.79 | 3.82 |

*Opción seleccionada.

Las cuatro formulaciones presentan ligeras variaciones en la proporción de gritz de maíz, harina de maca y harina de lúcumo, mientras que la espirulina se mantiene constante en 0.50%. La deseabilidad, que indica el cumplimiento de los objetivos de optimización, varió entre 0.609 y 0.615, con opción 1 obteniendo el valor más alto.

Desde una perspectiva sensorial, opción 2 mostró la mayor aceptación general (3.83 ± 0.25) y mejor percepción en atributos clave como color (3.96) y sabor (4.01). La opción 1, a pesar de su mayor contenido antioxidante ($104.96 \mu\text{mOLET g}^{-1}$) y polifenoles ($38.87 \text{ mgAGE } 100\text{g}^{-1}$), tuvo una menor calificación en color

(3.74) y aceptación (3.78). Estos hallazgos indican que los consumidores priorizan características sensoriales por encima de parámetros nutricionales, lo que concuerda con estudios previos sobre la importancia del sabor y la apariencia en snacks extruidos (Guiné et al. 2020).

El gritz de maíz es el principal determinante de la aceptación general del snack, dado que proporciona textura crujiente y familiaridad en el sabor (Leonard et al., 2019). En contraste, la inclusión de harina de maca y espirulina en niveles elevados tiende a reducir la aceptación, probablemente debido a su influencia en el sabor y aroma (Costa et al., 2021). La literatura

respalda que formulaciones con $\geq 80\%$ de maíz optimizan la percepción sensorial, ya que favorecen la crocancia y reducen efectos adversos en el color (Offiah et al., 2019).

En cuanto a la harina de lúcuma, su presencia en niveles entre 10.23% y 11.85% mejora la percepción del sabor, lo que respalda su papel en la armonización de atributos organolépticos en productos extruidos (Aguilar-Galvez et al., 2021). Sin embargo, su ligera reducción en la opción 2 (10.44%) no afectó negativamente la aceptación sensorial, lo que sugiere que su inclusión puede ajustarse sin comprometer la percepción del consumidor.

Basándose en la combinación de atributos sensoriales y deseabilidad, opción 2 es la formulación óptima, ya que:

- Logró la mayor aceptación sensorial (3.83 sobre 5 puntos).
- Presentó la mejor evaluación en color (3.96) y sabor (4.01).
- Mantuvo una composición nutricional equilibrada con 103.80 $\mu\text{molET g}^{-1}$ de capacidad antioxidante y 38.44 mgAGE (100g) $^{-1}$ de polifenoles.
- Su índice de deseabilidad (0.611) es competitivo frente a otras opciones.

Estos resultados indican que la optimización sensorial y la selección adecuada de ingredientes permiten obtener un snack extruido con alta aceptación, sin comprometer sus propiedades nutricionales. Futuras investigaciones podrían explorar estrategias de enmascaramiento sensorial para mejorar la aceptación de ingredientes funcionales como la espirulina, alineándose con tendencias de desarrollo de snacks saludables y sostenibles (Mosibo et al., 2024).

CONCLUSIONES

El desarrollo de un snack extruido funcional hecho de maca lúcuma y espirulina logró combinar propiedades nutricionales y sensoriales de forma equilibrada. La maca añadió polifenoles y compuestos bioactivos al producto mientras que la lúcuma mejoró el gusto y la textura para aumentar su aceptación. La espirulina enriqueció el snack en proteínas y capacidad antioxidante (10.23% y 102.38 $\mu\text{molET g}^{-1}$ respectivamente), pero se recomendó utilizarla de manera controlada para evitar cambios en el color, olor y sabor del producto. Con una concentración de polifenoles de 37.92 mgAGE (100g) $^{-1}$ y una calificación

de 3.82 en la evaluación sensorial, el snack mostró ser una opción viable y atractiva para los consumidores en búsqueda de alimentos saludables que ofrezcan beneficios extras. Este hallazgo resalta la capacidad de los ingredientes naturales para innovar en productos nutritivos y funcionales, cumpliendo así las necesidades actuales de una alimentación consciente.

Agradecimientos

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Aplicadas y de la Universidad Nacional del Centro del Perú por las facilidades para hacer uso de los laboratorios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abramovič, H; Grobin, B; Ulrih, NP; Cigic, B. 2017. The methodology applied in DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteau assays has a large influence on the determined antioxidant potential (en línea). *Acta Chimica Slovenica* 64(2):491-499. Disponible en <https://doi.org/10.17344/acsi.2017.3408>
- Aguilar-Galvez, A; García-Ríos, D; Janampa, C; Mejía, C; Chirinos, R; Pedreschi, R; Campos, D. 2021. Metabolites, volatile compounds and in vitro functional properties during growth and commercial harvest of Peruvian lucuma (*Pouteria lucuma*) (en línea). *Food Bioscience* 40:100882. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100882>
- AlFadhl, NKZ; Alhelfi, N; Altemimi, AB; Verma, DK; Cacciola, F; Narayananakutty, A. 2022. Trends and Technological Advancements in the Possible Food Applications of Spirulina and Their Health Benefits: A Review (en línea). *Molecules* 27(17):5584. Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules27175584>
- AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis (en línea). 12th ed. Washington, D.C USA, Association of Official Analytical Chemists. 700 p. Disponible en <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.method.s.1.1990.pdf>
- Argumedo, A; Song, Y; Khoury, CK; Hunter, D; Dempewolf, H; Guarino, L; de Haan, S. 2021. Fronteras | Diversidad biocultural para la transformación del sistema alimentario en el contexto del cambio ambiental global (en línea). *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.685299>
- Baquerizo, M; Córdova Ponce, L; Samaniego Rafaele, C; Yábar Villanueva, F; Artica Mallqui, L; Reyes De la Cruz, V. 2021. Composición química, valor biológico y glucosinolatos de harina de maca negra (*Lepidium meyenii* W.) extruida y obtención de mezcla con avena (*Avena sativa*) (en línea). *Revista de la Sociedad Química del Perú* 87(4):332-344. Disponible en <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.359>

- Brand-Williams, W; Cuvelier, ME; Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity (en línea). LWT - Food Science and Technology 28(1):25-30. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Collantes, NF; Carvalho, CWP; Ascheri, JLR; Chávez, DWH; Comettant-Rabanal, R; Bernardo, CO; Queiroz, VAV. 2022. Effect of sucrose on the extrusion of varied whole sorghum grits genotypes (en línea). Journal of Food Processing and Preservation 46(12). Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfpp.17204>
- Comettant-Rabanal, R; Carvalho, CWP; Ascheri, JLR; Chávez, DWH; Germani, R. 2021. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread (en línea). LWT 150:112042. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112042>
- Córdoba-Cerón, D; Carranza Saavedra, D; Roa-Acosta, D; Hoyos-Concha, J; Solanilla Duque, JF. 2022. Physical and culinary analysis of long gluten-free extruded pasta based on high protein quinoa flour (en línea). Frontiers in Sustainable Food Systems 6. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1017324>
- Coro, J; Kóller, A; Zabalaga, R. 2023. Formulación de un snack saludable y nutritivo, a partir de los requerimientos de la población cochabambina (en línea). Acta Nova 11(1):65-75. Disponible en <https://doi.org/10.35319/acta-nova.202317>
- Costa, P; Toledo, T; Brião, V; Bertolin, TE; Vieira, JA. 2021. Desarrollo de snacks extruidos enriquecidos con péptidos bioactivos de la microalga *Spirulina* sp. LEB 18 (en línea). Food Bioscience 42:101031. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101031>
- Duarte, M; Cruz, L. 2024. Elaboración de un snack salado extruido a partir de una mezcla de harinas (en línea). Revista Centro Azúcar 51(1):1-11. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v51n1/2223-4861-caz-51-01-e1059.pdf>
- Espinosa, J. 2007. Evaluación Sensorial de los Alimentos (en línea). s.l., Editorial Universitaria (Cuba). 129 p. Disponible en https://www.google.com.pe/books/edition/Evaluaci%C3%93_B3n_Sensorial_de_los_Alimentos/heDzDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&printsec=frontcover
- Grasso, S. 2020. Extruded snacks from industrial by-products: A review (en línea). Trends in Food Science & Technology 99:284-294. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
- Guiné, RPF; Florença, SG; Barroca, MJ; Anjos, O. 2020. The Link between the consumer and the innovations in food product development (en línea). Foods 9(9):1317. Disponible en <https://doi.org/10.3390/foods9091317>
- Hervert-Hernández, D. 2022. El papel de los cereales en la nutrición y en la salud en el marco de una alimentación sostenible (en línea). Nutrición Hospitalaria 39(3):52-55. Disponible en <http://dx.doi.org/10.20960/nh.04312>
- Jozinović, A; Šubarić, D; Ačkar, Đ; Babić, J; Orkić, V; Guberac, S; Miličević, B. 2021. Food Industry By-Products as Raw Materials in the Production of Value-added Corn Snack Products (en línea). Foods 10(5):1-11. Disponible en <https://doi.org/10.3390/foods10050946>
- Leiva-Castro, B; Mamani-Benavente, L; Elías-Peñaflie, C; Comettant-Rabanal, R; Silva-Paz, R; Olivera-Montenegro, L; Paredes-Concepción, P. 2025. Andean Pseudocereal Flakes with Added Pea Protein Isolate and Banana Flour: Evaluation of Physical-Chemical, Microstructural, and Sensory Properties (en línea). Foods 14(4):620. Disponible en <https://doi.org/10.3390/foods14040620>
- Leonard, W; Zhang, P; Ying, D; Fang, Z. 2019. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview (en línea). Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 19(1):218-246. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>
- Li, B; Zhang, Y; Zhang, Y; Zhang, Y; Xu, F; Zhu, K; Huang, C. 2021. A novel underutilized starch resource- Lucuma nervosa A.DC seed and fruit (en línea). Food Hydrocolloids 120:106934. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106934>
- Mohamed, SM; Shalaby, MA; El-Shiekh, RA; Bakr, AF; Kamel, S; Emam, SR; El-Banna, HA. 2024. Maca roots: A potential therapeutic in the management of metabolic disorders through the modulation of metabolic biochemical markers in rats fed high-fat high-carbohydrate diet (en línea). Journal of Ethnopharmacology 321. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117533>
- Mosibo, OK; Ferrentino, G; Udenigwe, CC. 2024. Microalgae Proteins as Sustainable Ingredients in Novel Foods: Recent Developments and Challenges (en línea). Foods 13(5):733. Disponible en <https://doi.org/10.3390/foods13050733>
- Nuchsai, T; Sakphisutthikul, C. 2023. Correlation between Physical properties and sensory evaluation of Extruded Phyto-snack. | International Journal of Public Health Asia Pacific (en línea). International Journal of Public Health Asia Pacific 2(3):74-81. Disponible en <https://doi.org/10.62992/ijphap.v2i3.46>
- Offiah, V; Kontogiorgos, V; Falade, KO. 2019. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review (en línea). Critical Reviews in Food Science and Nutrition 59(18):2979-2998. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>
- Pavani, M; Singha, P; Rajamanickam, DT; Singh, SK. 2023. Application of fuzzy logic techniques for sensory evaluation of plant-based extrudates fortified with bioactive compounds (en línea). Open Exploration 1(5):272-287. Disponible en <https://doi.org/10.37349/eff.2023.00021>
- Pérez, K; Elías, C; Delgado, V. 2017. Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.) (en línea). Scientia Agropecuaria 8(4):377-388. Disponible en <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>

- Shimizu, T; Okamoto, M; Ieda, Y; Kato, T. 2024. Index for Quantifying 'Order' in Three-Dimensional Shapes (en línea). *Symmetry* 16(4):381. Disponible en <https://doi.org/10.3390/sym16040381>
- Silva, PC da; Toledo, T; Brião, V; Bertolin, TE; Costa, JAV. 2021. Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga Spirulina sp. LEB 18 (en línea). *Food Bioscience* 42:101031. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101031>
- Ulloa, N; Alvarado-Corella, D; Quiñones-Laveriano, DM; Araya-Sibaja, A; Vega-Baudrit, J; Monagas-Juan, M; Navarro-Hoyos, M; Villar-López, M. 2024. Exploring the chemical and pharmacological variability of *Lepidium meyenii*: a comprehensive review of the effects of maca (en línea). *Frontiers in Pharmacology* 15:1360422. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1360422>
- Uribe-Wandurraga, ZN; Igual, M; García-Segovia, P; Martínez-Monzó, J. 2020. Influence of microalgae addition in formulation on colour, texture, and extrusion parameters of corn snacks (en línea). *Food Science and Technology International* 26(8):685-695. Disponible en <https://doi.org/10.1177/1082013220924178>
- Yábar, E; Reyes, V. 2020. La Maca (*Lepidium meyenii* Walpers) alimento funcional andino: bioactivos, bioquímica y actividad biológica (en línea). *Revista de Investigaciones Altoandinas* 21(2):139-152. Disponible en <https://doi.org/10.18271/ria.2019.457>

Artículo recibido en: 26 de marzo del 2025

Aceptado en: 04 de agosto del 2025