

Harina germinadas de Maíz morado y Quinoa andina para la producción de cereales extruidos: propiedades tecnológicas y aceptación sensorial

Sprouted flour of purple corn and Andean quinoa for the production of extruded cereals: technological properties and sensory acceptance

^aJohn K., Gonzales Capcha¹ 

^bDaniel Á., Sánchez Vaca¹ 

^cAlicia, Lavado Cruz¹ 

¹Universidad Nacional del Santa.

Recibido: Mayo, 2025 / Aceptado: Mayo 2025 / Publicado: Junio 2025

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar cereales extruidos funcionales a partir de harinas germinadas de maíz morado (*Zea mays* L.) y quinoa andina (*Chenopodium quinoa*), evaluando su efecto en las propiedades tecnológicas y la aceptación sensorial. Se formularon 17 mezclas con proporciones variables de maíz morado germinado (5–35%) y quinoa germinada (65–95%), procesadas por extrusión a temperaturas entre 120 °C y 130 °C. La formulación óptima (35% maíz morado germinado, 65% quinoa germinada, 124.71 °C) presentó la mayor capacidad antioxidante (ORAC = 1427.74 $\mu\text{mol TE/mg}$) y contenido de polifenoles (TPC = 64.95 mg GAE/100 g). Se observó que a mayor contenido de maíz morado y temperaturas elevadas, los snacks presentaron colores más oscuros, mayor crocancia y menor contenido graso, mientras que la quinoa germinada contribuyó a una mayor retención de proteínas y mejor textura uniforme. El análisis sensorial indicó que la formulación influye significativamente en la aceptación general ($P < 0.05$), siendo preferidas aquellas con equilibrio entre ingredientes y temperatura moderada. En conclusión, el uso combinado de harinas germinadas de granos andinos permite obtener productos extruidos con alto valor nutricional, buenas propiedades tecnológicas y elevada aceptabilidad sensorial, destacando su potencial como alternativa saludable e innovadora en la industria alimentaria local.

Palabras clave: *Extrusión termoplástica, germinación, maíz morado, quinoa, alimento funcional.*

ABSTRACT

The present investigation aimed to develop functional extruded cereals from germinated purple corn (*Zea mays* L.) and Andean quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours, evaluating their effect on technological properties and sensory acceptance. 17 mixtures were formulated with variable proportions of germinated purple corn (5–35%) and germinated quinoa (65–95%), processed by extrusion at temperatures between 120 °C and 130 °C. The optimal formulation (35% germinated purple corn, 65% germinated quinoa, 124.71 °C) showed the highest antioxidant capacity (ORAC = 1427.74 $\mu\text{mol TE/mg}$) and polyphenol content (TPC = 64.95 mg GAE/100 g). It was observed that at higher purple corn content and elevated temperatures, the snacks presented darker colors, greater crispness, and lower fat content, while germinated quinoa contributed to higher protein retention and improved uniform texture. Sensory analysis indicated that formulation significantly influences overall acceptance ($P < 0.05$), with those showing a balance between ingredients and moderate temperature being preferred. In conclusion, the combined use of germinated Andean grain flours allows obtaining extruded products with high nutritional value, good technological properties, and high sensory acceptability, highlighting their potential as a healthy and innovative alternative in the local food industry.

Key words: *Thermoplastic extrusion, germination, purple corn, quinoa, functional food.*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la alimentación ha cobrado un rol fundamental en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, como la obesidad, la diabetes y ciertos tipos de cáncer. Ante esta situación, los consumidores muestran una creciente preferencia por alimentos funcionales, es decir, aquellos que además de nutrir, ejercen efectos beneficiosos adicionales sobre el organismo, tales como mejorar el metabolismo, fortalecer el sistema inmunológico y prevenir el envejecimiento prematuro (Figueiredo et al., 2015).

En Perú, la situación es preocupante, la FAO (2018) reportó que el país ocupa el tercer lugar en Latinoamérica en tasas de sobrepeso y obesidad, afectando especialmente a la población urbana. Este escenario impulsa la necesidad de desarrollar productos alimentarios que contribuyan a una dieta saludable. En este contexto, los granos andinos como la quinua, el maíz morado, la kiwicha y la cañihua destacan como “superalimentos” por su alto contenido de proteínas, grasas saludables, almidones y compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides y saponinas (Campos et al., 2018; MINAGRI, 2014).

Entre los procesos tecnológicos que potencian el valor nutricional de estos granos se encuentra la germinación, que activa enzimas endógenas capaces de mejorar la digestibilidad, reducir compuestos anti nutricionales y aumentar la biodisponibilidad de antioxidantes y polifenoles (Bewley y Black, 2014; Kaukovirta-Norja et al., 2014). Asimismo, la extrusión es una tecnología ampliamente utilizada en la industria alimentaria para la elaboración de snacks, cereales y productos de valor agregado. Esta técnica permite transformar harinas en productos expandidos con buena aceptabilidad, textura crujiente, y estabilidad nutricional.

Estudios recientes demuestran que tanto la composición de la mezcla como la temperatura de extrusión influyen significativamente en las propiedades tecnológicas y funcionales del producto final. Por ejemplo, el uso de maíz morado incrementa el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante, mientras que la quinua mejora el perfil proteico y la textura (Sampaio et al., 2022; Torres et al., 2021). Así mismo, la temperatura de extrusión puede favorecer o degradar estos compuestos dependiendo de su intensidad (Kantrong et al., 2022; Menchaca et al., 2021).

Ante esta evidencia, la presente investigación se propuso desarrollar un snack extruido funcional a partir de harinas germinadas de maíz morado (*Zea mays L.*) y quinua andina (*Chenopodium quinoa*), evaluando el efecto de la formulación y la temperatura de extrusión sobre sus propiedades tecnológicas y su aceptabilidad sensorial. Se plantea que la combinación de estos ingredientes andinos y el control adecuado del proceso permitirá la obtención de un producto saludable, con alto valor agregado y buena aceptación por parte del consumidor.

METODOLOGÍA

Materia Prima

Los granos Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) var. Pasankalla se obtuvo del Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos, Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú); y los granos de maíz morado (*Zea mays L.*) de la var. PMV-581 (mejorado por el INIA) fueron procedentes de la ciudad de Caraz (Ancash, Perú) (9°02'54"S 77°48'39"O).

Producción de la harina germinada de los Granos

Los granos de quinoa y maíz morado se lavaron con agua corriente y se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 0,1% durante 30 min. Los granos se lavaron con agua corriente hasta alcanzar un pH neutro y se remojaron en agua estéril en una proporción de 1:5 *p/v* durante 7 h para la quinoa y 24 h para el maíz morado. La germinación se realizó en una cámara de germinación a escala piloto (Maquilak, Lima, Perú). Los granos embebidos se germinaron en sus condiciones óptimas de germinación (20 °C durante 42 h para quinoa y 26 °C durante 63 h para cañihua) para aumentar el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante (Paucar-Menacho *et al.*, 2017; Paucar-Menacho *et al.*, 2018). Los brotes se secaron al aire en un secador de bandejas semiindustrial (Thorr, modelo SBT-10XL, Perú) con ventilación a 40 °C durante 48 h y se molieron en un molino de laboratorio (Brabender, Duisburg, Alemania). SQF (harina de quinoa germinada) y SPCF (harina de maíz morado germinado) se almacenaron en bolsas plásticas al vacío a -20 °C.

Caracterización Nutricional

El contenido de humedad de las materias primas se analizó utilizando el método 44-15.02 de la Asociación Científica Dedicada a la Excelencia Analítica (AOAC), en el cual las muestras (2,0 g) se secaron durante 4 h a 105 °C. El contenido de proteína se realizó por el método Kjeldahl y se calculó a partir del contenido de nitrógeno (%) utilizando un factor de conversión de 6.25. Los contenidos de grasa y cenizas se determinaron utilizando los métodos oficiales de la AOAC 922.06 y 923.03, respectivamente. Los compuestos fenólicos solubles totales se cuantificaron de acuerdo con la metodología descrita por Pico *et al.* (2022), mientras que la actividad antioxidante se midió mediante el método de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), según Dávalos *et al.* (2003). Los resultados se expresaron en gramos por 100 gramos de peso seco (g/100 g dw).

Diseño experimental y Proceso de Extrusión Termoplástica

Los snacks se elaboraron en una extrusora a escala piloto en el instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Nacional del Santa (Ancash, Perú). Se prepararon 17 formulaciones según un diseño de mezcla combinada, con diferentes proporciones de

SQF (65%-95%) y SPCF (5%-35%), como también a diferentes temperaturas de extrusión (120°C-130°C), como se muestra en la Tabla 1. Todos los ingredientes se mezclaron manualmente durante 2 minutos para asegurar su correcta homogenización. El proceso de extrusión se llevó en una extrusora de doble tornillos (Ibramaq, modelo Labor PQ DRX-50, Brasil) con siete zonas de calentamiento, con una matriz de orificio de 6 cm de diámetro, con un flujo de alimentación constante, una velocidad de tornillo de 380 rpm, un caudal de agua de 10 cc/min y una velocidad de cuchilla de 600 rpm. Después de la extrusión, los extruidos se enfriaron a temperatura ambiente, se almacenaron en bolsas flexibles de polipropileno de varias laminas, para conservar el producto y se mantuvieron en un ambiente oscuro.

Tabla N°01:

*Matriz de experimentos (Diseño de mezclas combinada) para elaborar un snack obtenido por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión*

Formulación	A:% Harina de maíz morado	B:% Harina de quinua germinada	C:Temperatura de extrusión (°C)
1	27.5	72.5	127.5
2	20	80	120
3	35	65	130
4	5	95	120
5	35	65	125
6	27.5	72.5	122.5
7	20	80	125
8	5	95	130
9	35	65	120
10	20	80	130
11	12.5	87.5	120
12	12.5	87.5	127.5
13	12.5	87.5	122.5
14	35	65	120
15	5	95	130
16	35	65	130
17	5	95	125

Propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de los Snacks Extruidos

El índice expansión (IE) se calculó mediante la relación entre el diámetro promedio de los extruidos expandidos y el diámetro de la matriz de la extrusora (Meza *et al.*, 2019). La textura instrumental de los extruidos se analizó utilizando un Texturómetro equipado con una celda de carga ajustada para medir la fuerza de compresión con una cuchilla Warner Blatzer. El índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA) adaptado de Correa *et al.* (2017). Y el color CIELAB se determinó por triplicado con un colorímetro (Minolta, CR-310, Osaka, Japón). Además, se realizó un análisis de calidad nutricional de los extruidos elaborados: Composición proximal (grasa, proteína).

Análisis Sensorial

La evaluación sensorial se realizó con 25 panelistas semientrenados, quienes valoraron las características organolépticas de los snacks extruidos (sabor, color, textura y apariencia general) utilizando escalas no estructuradas de 10 cm, ancladas en los extremos con los descriptores correspondientes (“me disgusta mucho” a “me gusta mucho”). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico para identificar diferencias significativas entre formulaciones. Posteriormente, los resultados sensoriales fueron incorporados al proceso de optimización global mediante el método de la función deseabilidad descrito por Myers y Montgomery (2002).

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el software Design Expert, versión 13.0, aplicando regresión múltiple y análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Se evaluaron modelos de regresión lineal, cuadrático y cúbico, seleccionando aquel que presentara mayor ajuste estadístico ($p < 0.05$) y coeficiente de determinación más alto (R^2). A partir del modelo óptimo se construyeron superficies de respuesta que permitieron identificar los rangos de proporciones de harinas que optimizan las variables dependientes.

Para la etapa de optimización se aplicó el método de función deseabilidad, el cual transforma cada respuesta en una función con valores entre 0 (no deseado) y 1 (óptimo), facilitando la identificación del punto ideal de formulación. El criterio de optimización se centró en maximizar las propiedades funcionales y tecnológicas del snack, así como su aceptabilidad sensorial.

RESULTADOS

Caracterización de las Materias Primas

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis químico proximal de las harinas germinadas de quinoa y maíz morado. La evaluación de estos componentes en *Chenopodium quinoa* y *Zea mays L.* permite identificar diferencias clave en su composición que pueden influir en su comportamiento durante los procesos tecnológicos, particularmente en la elaboración de snacks extruidos. Estos datos no solo evidencian su aporte nutricional, sino que también brindan información relevante sobre su influencia en las propiedades funcionales del producto final.

Tabla 2.

Composición químico proximal de la harina de Quinoa y Maíz Morado germinado

Análisis Proximal	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) germinada	Maíz Morado (<i>Zea mays L.</i>) germinada
Proteína (%)	17.2426 ± 0.3718	14.7588 ± 0.5306
Humedad (%)	5.14 ± 0.082	8.18 ± 0.047
Cenizas (%)	1.98 ± 0.091	1.52 ± 0.246
Grasas (%)	7.356 ± 0.151	5.14 ± 0.208
Carbohidratos (%)	68.2814 ± 0.4214	70.4012 ± 0.208
ORAC (µmoles TE/mg)	1493.3559±100.7128	7456.50±62.6605
TPC (mg GAE/100 g)	34.1339±0.2888	134.9378±5.8929

Una de las diferencias más relevantes observadas en la composición proximal fue el mayor contenido proteico de la quinua germinada ($17.24 \pm 0.37\%$) en comparación con el maíz morado germinado ($14.76 \pm 0.53\%$). Este resultado respalda el reconocimiento de la quinua como un pseudocereal con alto valor nutricional, particularmente por su perfil completo de aminoácidos esenciales (Guzmán-Maldonado et al., 2019; Vega-Gálvez et al., 2010). Por su parte, aunque el maíz morado presenta una menor concentración de proteínas, destaca por su riqueza en compuestos bioactivos, especialmente antocianinas, que le otorgan propiedades funcionales superiores (Menchaca et al., 2020). Desde el punto de vista tecnológico, se ha demostrado que el contenido de proteínas influye en la formación de la matriz estructural durante la extrusión. Un mayor contenido proteico puede mejorar la retención de agua y la cohesión de la mezcla; sin embargo, niveles excesivos tienden a limitar la expansión del producto, alterando su textura y reduciendo su porosidad (Moraru & Kokini, 2003; Brennan et al., 2013). En este sentido, una formulación que combine quinua y maíz morado podría ofrecer un equilibrio óptimo entre funcionalidad y expansión. En cuanto al contenido de humedad, el maíz morado germinado presentó un valor superior ($8.18 \pm 0.047\%$) frente a la quinua germinada ($5.14 \pm 0.082\%$), lo que tiene implicancias en la estabilidad y vida útil del producto, ya que una mayor humedad favorece el deterioro microbiológico (Pathania et al., 2013). El contenido de cenizas, indicador de la concentración de minerales, fue mayor en la quinua germinada ($1.98 \pm 0.091\%$) respecto al maíz morado ($1.52 \pm 0.246\%$), lo cual reafirma su valor como fuente de micronutrientes esenciales como el hierro, zinc y magnesio (Hegazy et al., 2017).

Desde una perspectiva funcional, estos minerales pueden modificar la gelatinización del almidón y fortalecer la matriz proteica durante la extrusión, afectando positivamente la textura del snack (Ragaei et al., 2014; Kebede et al., 2023). Además, la quinua mostró un contenido graso más elevado ($7.36 \pm 0.151\%$) en comparación con el maíz morado ($5.14 \pm 0.208\%$), lo que refuerza su valor como fuente de ácidos grasos esenciales como el linoleico y oleico, asociados tanto a beneficios para la salud como a la mejora de la textura y estabilidad del producto (Song & Tang, 2023). Respecto a los compuestos funcionales, el maíz morado germinado presentó una mayor concentración de polifenoles (134.94 mg GAE/100 g) y una capacidad antioxidante más alta (7456.50 $\mu\text{mol TE/mg}$) frente a la quinua germinada (34.13 mg GAE/100 g y 1493.35 $\mu\text{mol TE/mg}$). La germinación mejora la biodisponibilidad de estos compuestos, al activar enzimas que favorecen su liberación y reducir los factores antinutricionales que interfieren con su absorción (Martínez-Villaluenga et al., 2020; Lemmens et al., 2019). No obstante, la estabilidad de los antioxidantes varía según la fuente, siendo las antocianinas del maíz morado más resistentes que los polifenoles presentes en la quinua.

Finalmente, los carbohidratos fueron el macronutriente predominante en ambas harinas,

con valores más altos en el maíz morado germinado ($70.40 \pm 0.208\%$) que en la quinua ($68.28 \pm 0.4214\%$), lo cual es esperable considerando la mayor proporción de almidón en cereales en comparación con pseudocereales (Muñoz et al., 2022). Este mayor contenido de almidón podría favorecer la expansión del producto extruido, ya que es el principal responsable de la estructura aireada característica de este tipo de snacks (Yi et al., 2022).

Propiedades Fisicoquímicas de los snacks extruidos

La Tabla 3 presenta los resultados de la composición nutricional de los snacks extruidos elaborados a partir de harinas germinadas de maíz morado (*Zea mays L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa*), procesados bajo diferentes condiciones de temperatura. En esta tabla se detallan los valores de proteína y contenido de grasa correspondientes a las 17 formulaciones evaluadas, de acuerdo con el diseño de mezcla combinado empleado en el estudio. Esta información resulta clave para comprender cómo las proporciones de los ingredientes y las variaciones térmicas afectan el perfil nutricional del producto final.

Con respecto al contenido de grasa, se observó que, a temperaturas más altas, como $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, el contenido de grasa disminuyó significativamente. Este efecto es evidente en la formulación 3, que registró un valor de 0.6998% , lo que concuerda con estudios previos (Brennan et al., 2013; do Carmo et al., 2019), donde se indica que el aumento de temperatura durante la extrusión puede inducir degradación térmica de lípidos y volatilización de compuestos apolares. En contraste, a temperaturas más bajas como $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, los snacks retuvieron mayor cantidad de grasa, como se observó en la formulación 4 (1.030%), posiblemente debido a una menor oxidación lipídica, según lo reportado por Martínez-Villaluenga et al. (2020).

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó que el modelo fue estadísticamente significativo ($p = 0.0124$, $R^2 = 0.8036$). Se identificó una interacción significativa entre la temperatura y la proporción de maíz morado (AC), con $p = 0.0208$, así como efectos significativos de los términos cuadráticos (AC^2 y BC^2) y cúbicos (AC^3), lo que indica relaciones no lineales complejas. El modelo cúbico ajustado que describe esta relación es el siguiente:

$$\text{Grasa (\%)} = 1.02A + 0.73B - 0.54AC + 0.36BC - 0.25AC^2 + 0.19BC^2 + 0.49AC^3 - 0.41BC^3$$

Las formulaciones con mayor contenido de maíz morado (35%) mostraron una mayor variabilidad en los valores de grasa según la temperatura de extrusión, lo que podría atribuirse a interacciones térmicas entre almidones y lípidos, como señalan Yi et al. (2022). Por otro lado, las formulaciones con una mayor proporción de quinua germinada (80–95%) mantuvieron un contenido de grasa más estable, posiblemente debido a sus propiedades funcionales que mejoran la retención de agua y lípidos y protegen frente a la oxidación (Graziano et al., 2022; Paucar-Menacho et al., 2018). La Figura 1 ilustra gráficamente el comportamiento del contenido de grasa (%) en los snacks extruidos, mostrando cómo varía

en función de la temperatura y de las proporciones de harinas utilizadas en las diferentes formulaciones.

Figura N°01:

Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de grasa de snacks.

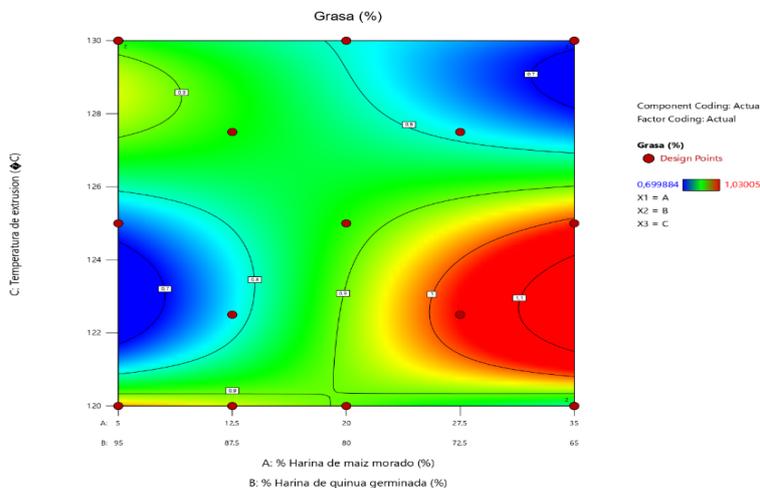


Tabla N°03:

Resultados del contenido Composicional de Grasas y Proteínas de snacks para cada formulación.

Formulación	Grasas (%)	Proteínas (%)
1	0.735547 ± 0.0270	16.7679 ± 0.1849
2	0.876914 ± 0.0233	17.3609 ± 0.3675
3	0.699884 ± 0.0085	16.7811 ± 0.2068
4	1.03005 ± 0.0356	17.8349 ± 0.2505
5	1.023 ± 0.0057	17.2036 ± 0.1837
6	0.983735 ± 0.0108	16.8228 ± 0.2329
7	0.997624 ± 0.0080	17.5589 ± 0.2605
8	0.85058 ± 0.0200	17.8594 ± 0.1366
9	0.81703 ± 0.0147	16.97 ± 0.2308
10	0.884216 ± 0.0199	17.398 ± 0.5504
11	0.890558 ± 0.0184	17.46 ± 0.3611
12	0.837416 ± 0.0160	17.7984 ± 0.4739
13	0.75097 ± 0.0071	17.8004 ± 0.2520
14	0.83475 ± 0.03242	16.8815 ± 0.1145
15	0.8487 ± 0.0219	17.7984 ± 0.1425
16	0.70125 ± 0.0099	16.8126 ± 0.2147
17	0.724068 ± 0.0118	20.3725 ± 0.3487

En relación al contenido de proteína (Tabla 3), las formulaciones con mayor proporción

de quinua germinada presentaron los niveles más altos de proteínas. Por ejemplo, la formulación 17 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 125 °C) alcanzó el valor más alto con $20.37 \pm 0.35\%$, lo que concuerda con estudios previos que destacan la quinua germinada como una fuente de proteínas de alta calidad, con buen perfil de aminoácidos y alta biodisponibilidad (Graziano et al., 2022; Paucar-Menacho et al., 2018). En cambio, formulaciones con mayor contenido de maíz morado, como el número 9 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 120 °C), registraron niveles más bajos ($16.97 \pm 0.23\%$), debido al menor contenido proteico intrínseco del maíz (Félix-Medina et al., 2021).

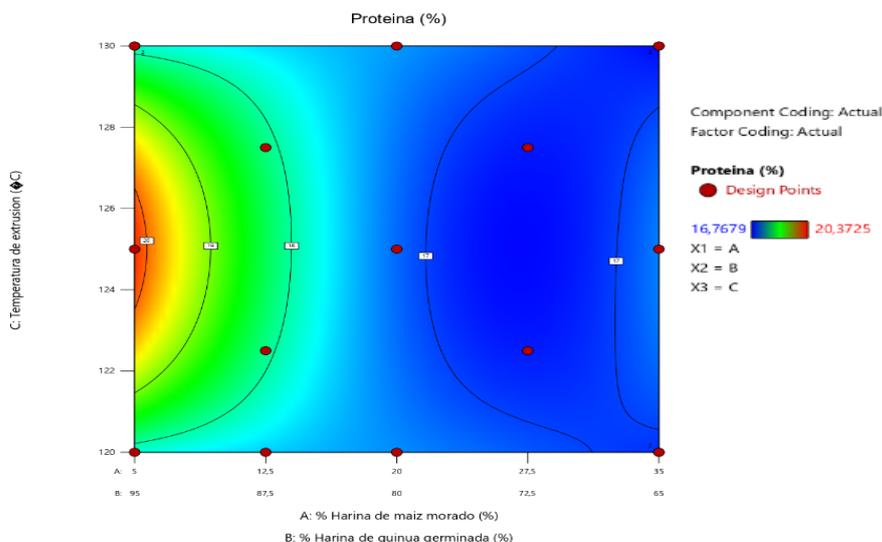
Respecto al efecto de la temperatura, en formulaciones con predominancia de quinua germinada, las diferencias fueron mínimas. Por ejemplo, la formulación 8 (130 °C) presentó un contenido de 17.86%, muy similar al de la formulación 4 (120 °C, 17.83%), lo que sugiere una mayor estabilidad térmica de las proteínas de quinua. En cambio, formulaciones con más maíz morado mostraron una mayor sensibilidad térmica. La formulación 3 (35% maíz morado, 130 °C) presentó un leve descenso proteico respecto a su contraparte procesada a menor temperatura (formulación 14), posiblemente debido a la desnaturalización inducida por el calor y su interacción con almidones (Zhu et al., 2017; do Carmo et al., 2019). El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó la significancia del modelo ($p < 0.0001$, $R^2 = 0.9643$), con interacciones notables entre las variables de formulación (AB, $p = 0.0002$) y efectos cuadráticos significativos, especialmente la interacción entre temperatura y quinua germinada (BC^2 , $p < 0.0001$), indicando la existencia de condiciones óptimas de procesamiento para preservar proteínas. El modelo cuadrático ajustado para predecir el contenido proteico fue el siguiente:

$$\text{Proteína (\%)} = 17.22A + 20.22B - 6.29AB - 0.07AC + 0.01BC + 0.20ABC - 0.36AC^2 - 2.41BC^2 + 6.13ABC^2$$

Este modelo confirma que la quinua germinada (coeficiente $B = 20.22$) ejerce la mayor influencia positiva en el contenido de proteínas, mientras que su combinación con maíz morado puede disminuir la retención proteica, especialmente a temperaturas más elevadas, debido a fenómenos de desnaturalización térmica. Esto coincide con los hallazgos de Martínez-Villaluenga et al. (2020) y Zhu et al. (2017), quienes demostraron que la estabilidad proteica depende de la fuente vegetal y del tratamiento térmico aplicado. Además, Graziano et al. (2022) resaltan que la quinua germinada no solo mejora el aporte proteico, sino que también brinda estabilidad funcional durante el procesamiento térmico. La Figura 2 representan gráficamente el comportamiento del contenido de proteínas (%) en función de la composición y la temperatura de extrusión, confirmando las tendencias descritas.

Figura N°02:

Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de proteínas de snacks



Propiedades tecnológicas de los Snacks Extruidos

En la tabla 4, se presenta los resultados de las características tecnológicas textura, color, IAA, ISA e índice de expansión de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado y harina de quinua germinadas a distintas condiciones de temperatura.

Tabla N°04:

Resultados de Características Tecnológicas de snacks para cada formulación

Formulación	Textura-Trabajo total (mJ)	Textura-Dureza (N)	Color Angulo de tonalidad (grados)	IAA %	ISA %	Índice de Expansión
1	84.18±2.95	34.29± 0.41	69.75 ± 1.74	6.28± 0.37	1.68± 0.34	2.29± 0.24
2	80.18 ±2.02	48.42±0.24	71.97 ± 1.30	6.43± 0.38	1.69± 0.22	2.34± 0.13
3	94.22 ± 2.68	41.99± 0.25	62.05 ± 0.86	6.40± 0.34	1.95± 0.37	2.48± 0.13
4	101.07 ± 2.11	32.80±0.25	75.52 ± 1.45	6.78± 0.18	1.83± 0.22	2.37± 0.13
5	88.45 ± 2.23	30.48± 0.45	62.78 ± 0.28	6.63± 0.32	1.99± 0.16	2.36± 0.27
6	114.79 ± 2.09	42.47±0.26	68.13 ± 0.60	6.71± 0.20	1.78± 0.14	2.37± 0.14
7	147.23 ± 2.62	44.23± 0.48	70.68 ± 0.35	7.07± 0.36	2.35± 0.34	2.52± 0.29
8	114.81± 2.51	45.32±0.41	77.85 ± 0.98	7.49± 0.14	2.10± 0.19	2.32± 0.24
9	95.97 ± 2.02	38.72±0.21	59.48 ± 1.57	7.15± 0.19	2.14± 0.13	2.34± 0.11
10	118.41± 2.28	41.25± 0.38	69.30 ± 0.55	7.15± 0.28	2.24± 0.30	2.16± 0.22
11	67.45± 2.53	29.34± 0.37	77.54 ± 0.17	7.24± 0.35	2.08± 0.20	2.35± 0.21
12	119.82 ± 2.21	39.51±0.49	72.97 ± 1.03	7.23± 0.25	2.19± 0.25	2.37± 0.29

13	138.33± 2.63	33.27± 0.24	72.19 ± 1.03	6.78± 0.19	3.37± 0.37	2.26 ± 0.13
14	94.99 ± 2.95	33.27± 0.44	58.85 ± 0.93	7.20± 0.39	2.14± 0.19	2.50± 0.26
15	113.34 ± 2.85	40.61± 0.31	78.59 ± 0.78	7.53± 0.13	2.10± 0.36	2.35± 0.1
16	96.33± 2.68	44.76± 0.29	53.37 ± 0.68	6,38± 0.24	2,01± 0.24	2.20± 0.16
17	135.82 ± 2.68	36.86± 0.20	77.75 ± 0.58	7.45± 0.12	2.19± 0.21	2.31± 0.10

Trabajo Total

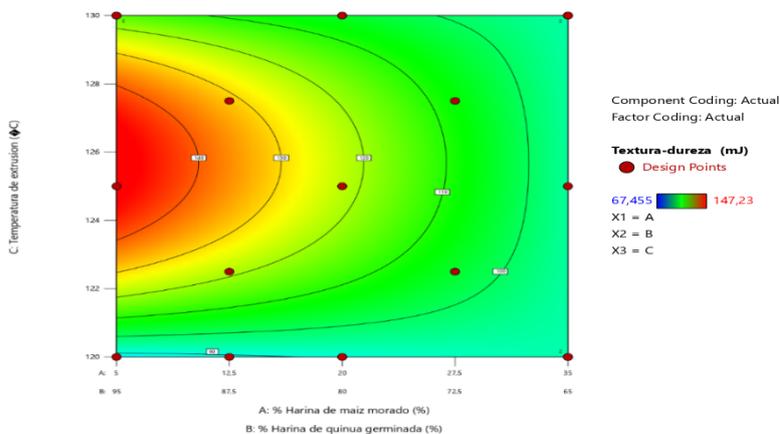
Los resultados obtenidos sobre el trabajo total en snacks extruidos a partir de mezclas de harina de maíz morado y quinua germinada permiten comprender cómo la formulación y la temperatura de extrusión influyen directamente en la textura del producto final. Este parámetro, que representa la energía necesaria para comprimir y fracturar el snack, refleja aspectos como la firmeza, cohesión y porosidad de la estructura. Su comportamiento varía en función de la proporción de ingredientes y las condiciones térmicas aplicadas durante el proceso. Las formulaciones con mayor contenido de maíz morado (35%) mostraron menores valores de trabajo total, lo que indica una textura más aireada y menos compacta. Este efecto se atribuye a la gelatinización y expansión del almidón del maíz morado, que favorece la formación de una matriz porosa. En contraste, las formulaciones con mayor proporción de quinua germinada (80–95%) registraron valores significativamente más altos de trabajo total, evidenciando una textura más firme y densa, posiblemente debido a la presencia de proteínas y fibras que limitan la expansión del producto. La temperatura también desempeña un papel importante en este comportamiento. A temperaturas más bajas (120 °C), varias formulaciones mostraron una disminución en el trabajo total, lo que se asocia con una mayor expansión y porosidad de la estructura. Sin embargo, al aumentar la temperatura a 130 °C, especialmente en formulaciones ricas en quinua germinada, se observó un incremento en el trabajo total, debido a la mayor compactación de la matriz y a la desnaturalización de proteínas que contribuyen a una mayor resistencia a la fractura.

El modelo cuadrático ajustado mostró un buen nivel de significancia ($p = 0.0366$; $R^2 = 0.6187$), destacando la influencia predominante de la harina de quinua germinada sobre el trabajo total. La interacción cuadrática entre quinua y temperatura (BC^2 , $p = 0.0091$) evidenció la existencia de un punto óptimo donde se maximiza o minimiza la textura del snack. La ecuación predictiva reveló que una combinación equilibrada de ingredientes y temperatura moderada permite alcanzar una textura firme pero no excesivamente dura, como también se refleja en la Figura 3, que ilustra el comportamiento del trabajo total en función de las variables estudiadas.

$$\text{Trabajo total} = 95.26A + 149.07B + 0.24AC + 13.31BC - 1.21AC^2 - 48.41BC^2$$

Figura N°03:

Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (trabajo total) de snacks


Dureza

Los resultados obtenidos sobre la dureza de los snacks extruidos revelan cómo las proporciones de harina de maíz morado y quinua germinada, junto con la temperatura de extrusión, inciden directamente en la textura del producto final. Las formulaciones con mayor contenido de quinua germinada (95%) y menor proporción de maíz morado presentaron los valores más altos de dureza, indicando una estructura más compacta y firme. Este comportamiento se asocia con el alto contenido proteico de la quinua, que favorece una mayor cohesión en la matriz del producto (Graziano et al., 2022). En contraste, las formulaciones con mayor proporción de maíz morado mostraron dureza más baja, reflejando una textura más porosa y ligera, posiblemente debido al efecto expansivo del almidón de maíz morado durante la extrusión (Guha et al., 2020).

Respecto a la temperatura, se observó que a 120 °C los productos tienden a ser menos duros, especialmente en formulaciones con predominancia de quinua, debido a una gelatinización más limitada del almidón que favorece la expansión. No obstante, en formulaciones con contenido medio o alto de maíz morado, las temperaturas intermedias (122.5–127.5 °C) pueden aumentar la dureza al compactar la estructura del snack. A temperaturas más elevadas (130 °C), algunas formulaciones mostraron un incremento de dureza, posiblemente por mayor desnaturalización proteica y fortalecimiento de la matriz estructural, aunque este efecto no fue uniforme en todos los casos.

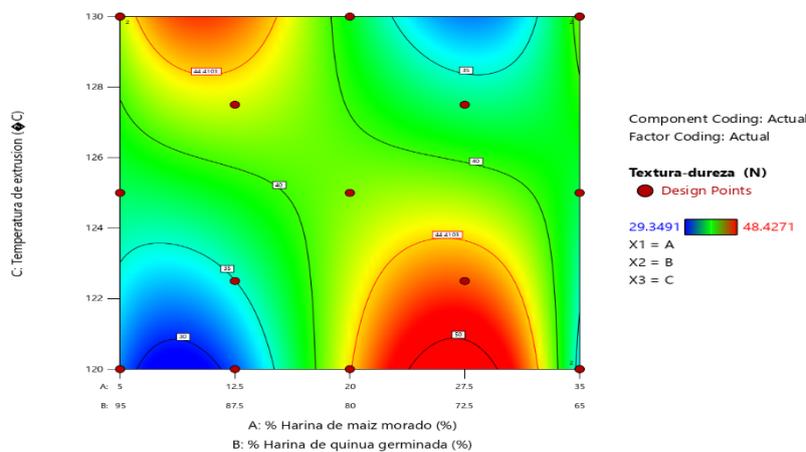
El análisis estadístico (ANOVA) del modelo cúbico x lineal indicó que, aunque el modelo completo no fue significativo ($p = 0.1014$), se identificaron interacciones relevantes. En particular, la combinación de quinua germinada con temperatura (BC^2) mostró una tendencia significativa ($p = 0.0715$), y la interacción de tercer orden entre maíz morado, quinua germinada y temperatura (ABC) fue estadísticamente significativa ($p = 0.0458$). Estos

hallazgos sugieren que la dureza del snack no puede preverse considerando los factores por separado, sino que depende de su interacción simultánea. La ecuación matemática generada refleja estas relaciones, destacando que ciertas combinaciones específicas de ingredientes y temperatura pueden reducir la dureza del producto, posiblemente promoviendo una textura más aireada y aceptable para el consumidor (Gumul et al., 2023); como también se refleja en la Figura 4, que ilustra el comportamiento de la dureza en función de las variables estudiadas.

$$\text{Dureza} = 37.51A + 37.13B + 15.92AB + 3.74AC + 5.41BC - 29.98ABC + 14.09AB(AB) - 90.49ABC(A-B)$$

Figura 4

Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (dureza) de snacks



Angulo de Tonalidad

Los resultados revelan que un mayor porcentaje de harina de maíz morado produce tonalidades más oscuras, reflejadas en menores valores de ángulo de tonalidad. Por ejemplo, formulaciones con 35% de maíz morado, como las muestras 14 y 16, mostraron valores de 58.86 y 53.37, respectivamente, en función de la temperatura. Esto se atribuye a la alta concentración de antocianinas presentes en el maíz morado, que tienden a degradarse parcialmente por el calor, generando compuestos que intensifican el pardeamiento del producto (Graziano et al., 2022; Brennan et al., 2013). En contraste, formulaciones con mayor proporción de quinoa germinada (95%) y solo 5% de maíz morado, como las muestras 8, 15 y 17, presentaron valores de ángulo de tonalidad más altos (77.76–78.59), evidenciando tonalidades más claras. Este resultado se debe a la ausencia de pigmentos oscuros y a la naturaleza clara de la quinoa germinada, que mantiene una coloración brillante tras la extrusión. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que señalan que los ingredientes y su estabilidad térmica son determinantes en la apariencia de productos extruidos (Yi et al., 2022; Robin et al., 2010). Además, la temperatura también influye de forma notable en la tonalidad. Formulaciones con proporciones intermedias (por ejemplo, 20% de maíz morado y 80% de quinoa germinada) mostraron una disminución del ángulo de tonalidad

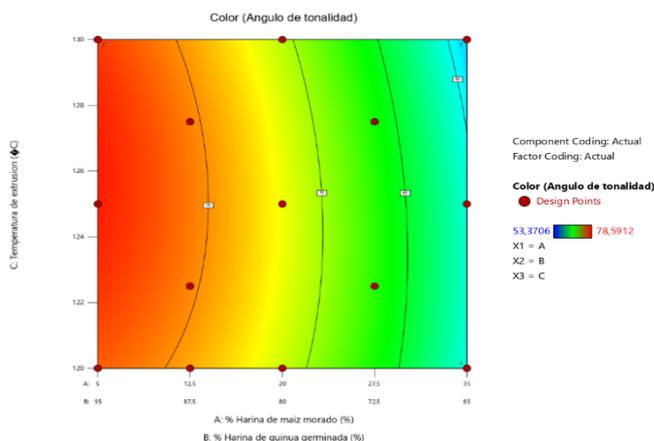
a medida que la temperatura se elevó. Este fenómeno, como se observa en la comparación entre las muestras 10 (130 °C, 69.30) y 2 (120 °C, 71.97), puede explicarse por reacciones de pardeamiento no enzimático, como la de Maillard, y por la degradación térmica de compuestos fenólicos (Zhu et al., 2017; Xiao et al., 2021).

El modelo estadístico ajustado (ANOVA) resultó altamente significativo ($p < 0.0001$; $R^2 = 0.9005$), demostrando que la formulación y la temperatura explican gran parte de la variabilidad del color. La ecuación predictiva muestra que la harina de quinua germinada tiene mayor influencia en la generación de tonalidades claras (coef. = 77.85), en comparación con la harina de maíz morado (coef. = 60.64). La interacción positiva entre ambos ingredientes indica que una combinación equilibrada podría atenuar el efecto oscurecedor del maíz morado, permitiendo controlar la apariencia visual del snack extruido; como también se refleja en la Figura 5, que ilustra el comportamiento del ángulo de tonalidad en función de las variables estudiadas.

$$\text{Angulo de tonalidad} = 60.64A + 77.85B + 10.97AB - 0.96AC + 0.44BC - 1.18C^2$$

Figura N°05:

Representación gráfica de superficie de contornos del ángulo de tonalidad de snacks



Índice de Absorción de Agua

El IAA en los snacks extruidos a base de mezclas de harina de maíz morado y quinua germinada revela el impacto de la formulación y la temperatura de extrusión sobre sus propiedades tecnológicas. El IAA es un indicador clave para evaluar la capacidad del producto para retener agua, lo cual influye en su textura, capacidad de rehidratación y percepción sensorial. Las formulaciones con alto contenido de quinua germinada, como la muestra 15 (95% quinua, 130 °C), presentaron los valores más elevados de IAA, atribuibles a la presencia de proteínas y fibras solubles que favorecen la absorción de agua al formar estructuras porosas durante la extrusión. Estudios previos han demostrado que estos componentes, al desnaturalizarse o hidrolizarse por el calor, aumentan la capacidad de retención hídrica del producto. En contraste, formulaciones con mayor proporción de maíz

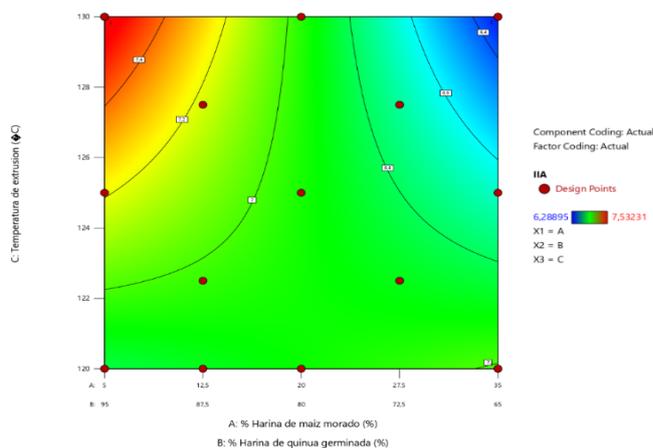
morado, como las muestras 3 y 16 (35% maíz, 130 °C), mostraron valores más bajos de IAA. Esta diferencia puede estar asociada a la menor capacidad del almidón de maíz morado para retener agua, debido a su compactación y a una menor porosidad estructural tras la extrusión. Además, los compuestos fenólicos del maíz, como las antocianinas, pueden interferir con la hidratación, reduciendo la eficiencia de absorción de agua. En formulaciones intermedias, como la muestra 13 (12.5% maíz, 122.5 °C), los valores de IAA fueron moderados, reflejando cómo la interacción entre la composición y la temperatura puede limitar la formación de una matriz altamente retentiva.

El análisis estadístico (ANOVA) confirmó que el modelo general es altamente significativo ($p = 0.0011$; $R^2 = 0.6973$). Las interacciones entre la harina de quinua y la temperatura (BC), así como entre el maíz morado y la temperatura (AC), resultaron estadísticamente significativas, destacando el efecto combinado de los ingredientes y las condiciones térmicas sobre la retención de agua. El modelo matemático ajustado mostró que la quinua germinada tiene mayor impacto en la absorción (coef. = 7.21), mientras que la combinación de maíz morado con altas temperaturas reduce esta capacidad. En cambio, temperaturas elevadas junto a una mayor proporción de quinua germinada incrementan el IAA, favoreciendo la expansión y porosidad del producto final, como también se refleja en la Figura 6, que ilustra el comportamiento del IAA en función de las variables estudiadas.

$$IAA = 6.66A + 7.21B - 0.3459AC + 0.3839BC$$

Figura N°06:

Representación gráfica de superficie de contornos del Índice de Absorción de Agua (IAA) de snacks



Índice de Solubilidad de Agua

El ISA en snacks extruidos elaborados con harinas de maíz morado y quinua germinada permite evaluar cómo la formulación y la temperatura de extrusión afectan la capacidad de disolución del producto. Este parámetro es fundamental para la experiencia sensorial, ya que determina la facilidad con la que el snack se disuelve en la boca o en líquidos. Los datos

obtenidos muestran que un mayor contenido de quinua germinada favorece valores más altos de ISA, como se evidenció en la formulación 13 (87.5% quinua, ISA = 3.379%). Este comportamiento se relaciona con la alta proporción de proteínas solubles y fibra dietética en la quinua, que facilitan la dispersión del producto tras el contacto con agua. Por el contrario, las formulaciones con mayor proporción de maíz morado tienden a mostrar menor solubilidad, como ocurre con la muestra 1 (27.5% maíz morado, ISA = 1.688%). Esto sugiere que el almidón del maíz morado, menos propenso a fragmentarse, contribuye a estructuras más compactas y menos solubles tras la extrusión. La temperatura también influye: por ejemplo, a 130 °C la muestra 10 presenta mayor ISA que su equivalente a 120 °C, lo que indica que temperaturas elevadas pueden promover cierta fragmentación estructural, aunque un exceso puede generar desnaturalización de proteínas o una gelatinización excesiva del almidón, reduciendo finalmente la solubilidad.

El análisis estadístico (ANOVA) mostró que, si bien el modelo general no fue significativo ($p = 0.0856$; $R^2 = 0.3877$), se identificó un efecto cúbico relevante en la interacción entre maíz morado y quinua germinada (AB(A-B), $p = 0.0219$). Esto revela un comportamiento no lineal en la relación entre la composición de harinas y la solubilidad del producto. El modelo matemático ajustado sugiere que combinaciones no equilibradas de ingredientes pueden disminuir notablemente la solubilidad (coeficiente de -4.39 para AB(A-B)), debido a la formación de matrices más densas o a modificaciones estructurales inducidas por el proceso térmico. Estos hallazgos subrayan la importancia de optimizar tanto la proporción de ingredientes como las condiciones de extrusión para lograr un producto con propiedades sensoriales adecuadas.

Índice de Expansión

El IE es un parámetro clave para evaluar la calidad estructural de los snacks extruidos, ya que influye directamente en su textura, porosidad y aceptabilidad sensorial. El análisis de las formulaciones elaboradas con harinas de maíz morado y quinua germinada evidenció que la expansión del producto depende tanto de la composición como de la temperatura de extrusión. Se observó que formulaciones con alto contenido de quinua germinada, como la muestra 7 (80% quinua, 125 °C), alcanzaron los mayores niveles de expansión. Este comportamiento puede explicarse por una gelatinización más eficiente del almidón y una menor degradación proteica a temperaturas moderadas, condiciones que favorecen la formación de una estructura más aireada.

En contraste, formulaciones con mayor proporción de maíz morado, como la muestra 16 (35% maíz, 130 °C), presentaron menores valores de IE, posiblemente debido a la interferencia de polifenoles en la formación de una red expansible. Además, a temperaturas elevadas, el almidón puede degradarse excesivamente, reduciendo la capacidad del producto para retener gas durante la extrusión. Sin embargo, combinaciones balanceadas, como en la

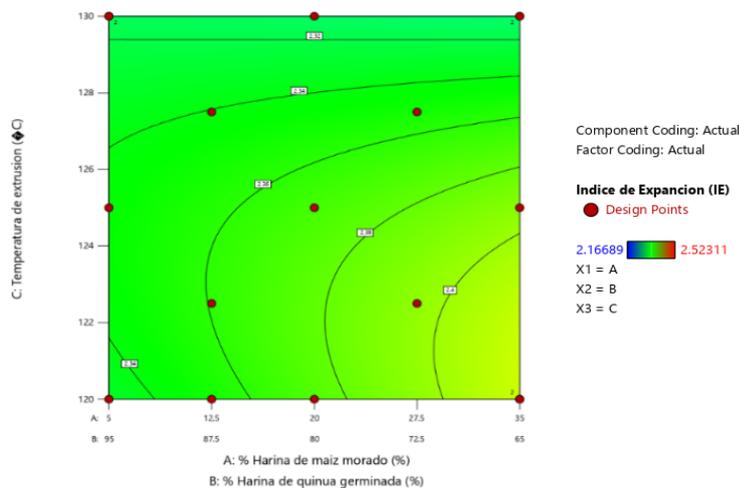
muestra 6 (27.5% maíz, 122.5 °C), lograron una expansión intermedia adecuada. Esto sugiere que una proporción moderada de ambos ingredientes, junto con temperaturas controladas, puede optimizar el volumen del snack extruido.

Aunque los resultados muestran tendencias claras, el análisis estadístico (ANOVA) del modelo lineal cuadrático no fue significativo ($p = 0.8382$; $R^2 = 0.1542$), lo que indica que las variables evaluadas no explican de manera contundente la variabilidad del IE. El modelo matemático ajustado refleja coeficientes negativos para las interacciones entre temperatura e ingredientes, lo cual sugiere efectos leves de reducción de expansión en ciertas combinaciones. En conjunto, los datos respaldan que una mayor expansión se logra con temperaturas moderadas (120–125 °C) y un contenido intermedio de maíz morado (20–35%), mientras que temperaturas superiores a 127 °C o formulaciones muy ricas en quinoa tienden a generar snacks más compactos y densos.

$$\text{Índice de Expansión (IE)} = 2.3932A + 2.3448B - 0.05506AC - 0.0083BC - 0.03237AC^2 - 0.02272BC^2$$

Figura N°07:

Representación gráfica de superficie de contorno del Índice de Expansión (IE) de snacks



Optimización Numérica

La tabla 6 describe las restricciones y objetivos para la optimización de snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) germinada a distintas condiciones de temperatura de extrusión. Esto sugiere que la combinación de estas harinas puede afectar significativamente las características finales de los snacks, como la textura, el sabor y el contenido nutricional. Según el análisis estadístico, la formulación óptima tiene la siguiente combinación de mezcla de harina de maíz morado con 5% de maíz morado, 95% de harina de quinoa germinada y una temperatura de extrusión de 127.69 °C ha sido identificada como la óptima, con un valor de deseabilidad de 70.7%, lo

que sugiere un equilibrio entre múltiples variables de respuesta.

Tabla 6

Restricciones para la Optimización de snacks

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Importance
A:% Harina de maíz morado	is in range	5	35	3
B:% Harina de quinua germinada	is in range	65	95	3
C:Temperatura de extrusion	is in range	120	130	3
Proteína	maximize	16,7679	20,3725	3
Grasa	maximize	0,699884	1,03005	3
Textura-dureza	none	29,3491	48,4271	3
Color	is in range	53,3706	78,5912	3
Densidad	none	0,203144	0,284017	3
IAA	none	6,28895	7,53231	3
ISA	none	1,68829	3,37896	3
Textura -Trabajo total	none	67,455	147,23	3
Indice de Expansion (IE)	none	2,16689	2,52311	3

Análisis Sensorial

Los resultados del análisis sensorial (Tabla 7) indican que la aceptación, apariencia, sabor, textura y color de los snacks extruidos dependen significativamente de la formulación ($P < 0.05$), mientras que la evaluación de los panelistas fue consistente ($P > 0.05$). Formulaciones con mayor contenido de maíz morado y temperaturas altas favorecen una textura crujiente y un sabor intenso, mientras que aquellas con mayor proporción de quinua germinada y temperaturas moderadas presentan mejor aroma y textura uniforme. las formulaciones con un mayor porcentaje de harina de quinua germinada y extruidas a temperaturas moderadas son las más recomendadas.

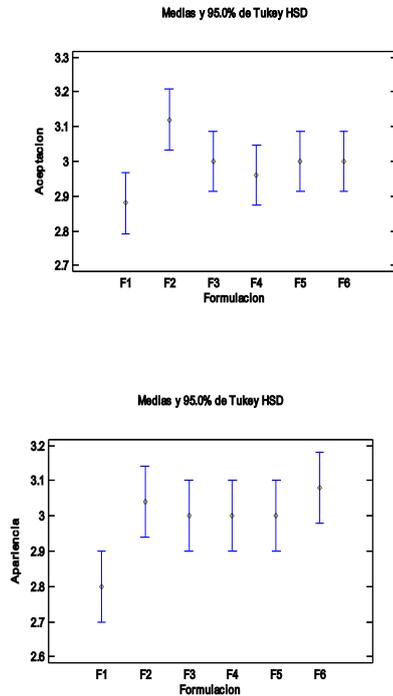
Tabla N°07:

Formulaciones de evaluación Sensorial de snacks

N°	Formulación	% Harina de maíz morado	% Harina de quinua germinada	Temperatura de extrusión
1	F1	35	65	125
2	F2	13	87	127
3	F3	24	76	120
4	F4	22	78	130
5	F5	21	79	130
6	F6	5	95	120

Figura N°08:

Gráfico de medias para la apariencia y aceptación general según cada formulación



CONCLUSIÓN

Se demostró que la combinación de harinas germinadas de maíz morado y quinua andina, junto con el control de la temperatura de extrusión, influye significativamente en las propiedades tecnológicas, funcionales y sensoriales de los snacks extruidos. La quinua germinada destacó por su mayor contenido de proteínas, grasas y minerales, mientras que el maíz morado aportó más carbohidratos y compuestos bioactivos, especialmente polifenoles y capacidad antioxidante, diferencias que impactaron directamente en la retención de nutrientes, textura, color, densidad y expansión del producto final. Las temperaturas intermedias (alrededor de 125 °C) y una formulación equilibrada (5% maíz morado, 95% quinua germinada) permitieron maximizar la capacidad antioxidante y obtener una textura crujiente con alta aceptabilidad sensorial. El análisis sensorial evidenció preferencia por formulaciones con alto contenido de quinua germinada debido a su textura uniforme, buen aroma y sabor balanceado. La formulación óptima determinada mediante el modelo de deseabilidad logró un equilibrio integral entre atributos tecnológicos, funcionales y sensoriales, posicionando al producto como una alternativa saludable e innovadora con alto valor agregado en el desarrollo de snacks a base de ingredientes andinos.

REFERENCIAS

- Bewley, J.D. & Black, M. 2014. Seeds: physiology of development and germination. Plenum Press, NY. 445 p.
- Campos, D., Chirinos, R., Ranilla, L. G., & Pedreschi, R. (2018). Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 84, pp. 287 -343). Academic Press.
- Correa, C., Daniela, M. F., & Montoya, J. (2017). Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca l.).
- do Carmo, C. S., Varela, P., Poudroux, C., Dessev, T., Myhrer, K., Rieder, A., ... & Knutsen, S. H. (2019). The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions. *Lwt*, 112, 108252.
- Figueiredo, H. R., & Carvalho, V. R. J. D. (2015). ALIMENTOS FUNCIONAIS: Compostos bioativos e seus efeitos benéficos à saúde. In *II Congresso Internacional do Grupo Unis. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas*.
- Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., & Gullì, M. (2022). Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 154-165.
- Gumul, D., Berski, W., & Zięba, T. (2023). The influence of fruit pomaces on nutritional, pro-health value and quality of extruded gluten-free snacks. *Applied Sciences*, 13(8), 4818.
- Hegazy, H. S., El-Bedawey, A. E. A., Rahma, E. H., & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion process on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *Am. J. Food Sci. Nutr. Res*, 4(1), 59-66.
- Kantrong, H., Klongdee, S., Jantapirak, S., Limsangouan, N., & Pengpinit, W. (2022). Effects of extrusion temperature and puffing technique on physical and functional properties of purpled third-generation snack after heat treatment. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2209-2219.
- Kebede Ali, M., Abera, S., & Neme Tolesa, G. (2023). Optimization of extrusion cooking process parameters to develop teff (*Eragrostis* (Zucc) Trotter)-based products: Physical properties, functional properties, and sensory quality. *Cogent Food & Agriculture*, 9(2), 2279705.
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., ... & Delcour, J. A. (2019). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(1), 305-328.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains:

- Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food Chemistry and Toxicology*, 137, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Menchaca-Armenta, M., Frutos, M. J., Ramírez-Wong, B., Quintero-Ramos, A., Torres-Chávez, P. I., Valero-Cases, E., ... & Campas-Baypoli, O. N. (2021). The Effect of Nixtamalization Extrusion Process and Tortillas Making on the Stability of Anthocyanins from Blue Corn through the Kinetic and Thermodynamic Parameters. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(3), 334-339.
- Menchaca-Armenta, M., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Quintero-Ramos, A., Ledesma-Osuna, A. I., Frutos, M. J., ... & Morales-Rosas, I. (2020). Effect of extrusion conditions on the anthocyanin content, functionality, and pasting properties of obtained nixtamalized blue corn flour (*Zea mays* L.) and process optimization. *Journal of Food Science*, 85(7), 2143-2152.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). "MINAGRI: los granos andinos como alimentos del futuro" Lima, 27 de junio del 2014.
- Mohamed, I. O. (2023). Interaction of starch with some food macromolecules during the extrusion process and its effect on modulating physicochemical and digestible properties. A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100294.
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Muñoz-Pabon, K. S., Roa-Acosta, D. F., Hoyos-Concha, J. L., Bravo-Gómez, J. E., & Ortiz-Gómez, V. (2022). Quinoa snack production at an industrial level: effect of extrusion and baking on digestibility, bioactive, rheological, and physical properties. *Foods*, 11(21), 3383.
- Ortiz, J. (2013). Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem. 2013. 198f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2013.
- Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, V., & Singla, S. (2013). Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3), 1040-1049.
- Paucar-Menacho, L.; Peñas, E.; Dueñas, M.; Frias, J.; Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 76B: 245242
- Paucar-Menacho, L.M., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Peñas, E. (2018). Response surface optimization of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of*

- Food Science & Technology, 53(2), 516-524. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13629>
- Pico, J., Pismag, R. Y., Laudouze, M., & Martinez, M. M. (2020). Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. *Food & function*, 11(11), 9868-9880.
- Ragae, S., Seetharaman, K., & Abdel-Aal, E. S. M. (2014). The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(7), 837-849.
- Robin, F., Engmann, J., Pineau, N., Chanvrier, H., Bovet, N., & Della Valle, G. (2010). Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams. *Journal of food engineering*, 98(1), 19-27.
- Sampaio, U. M., Salvador-Reyes, R., Moro, T. D. M. A., Brito, A. D., Behrens, J., Campelo, P. H., & Clerici, M. T. P. S. (2022). Andean Purple maize to produce extruded breakfast cereals: Impact on techno-functional properties and sensory acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Song, J., & Tang, Y. (2023). Effect of extrusion temperature on characteristic amino acids, fatty acids, organic acids, and phenolics of white quinoa based on metabolomics. *Food Research International*, 169, 112761.
- Torres, O. L., Lema, M., & Galeano, Y. V. (2021). Effect of using quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) on the physicochemical characteristics of an extruded pasta. *International Journal of Food Science*, 2021.
- Vega-Galvez A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente and E. A. Martínez (2010) Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Will.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:2541-2547.
- Xiao, X., Li, J., Xiong, H., & Zhu, Y. (2021). Effect of extrusion or fermentation on physicochemical and digestive properties of barley powder. *Frontiers in Nutrition*, 8, 794355. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.794355>
- Yi, C., Qiang, N., Zhu, H., Xiao, Q., & Li, Z. (2022). Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. *Food Research International*, 160, 111681.
- Zhu, F. (2017). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 100(1), 184-196.