



Evaluación sensorial y análisis del perfil de textura (TPA) de barras energéticas a base de avena (Avena sativa) con diferentes niveles de inclusión de quinua (Chenopodium quinua)

Sensory evaluation and texture profile analysis (TPA) of oat-based (Avena sativa) energy bars with different levels of quinua (Chenopodium quinua) inclusion

Avaliação sensorial e análise do perfil de textura (TPA) de barras energéticas à base de aveia (Avena sativa) com diferentes níveis de inclusão de quinua (Chenopodium quinua).

ARTÍCULO ORIGINAL

Mariana Rosa Cano Neyra

mariana.cano@upsjb.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0005-9208-2641>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

Thayly Valeria Quispe Marcatinco

thayly.quispe@upsjb.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0007-3729-454X>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

Christian Jhamir Rivas Chumpitaz

christian.rivas@upsjb.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0004-3929-3020>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Lima – Perú

Anthony Jesús Arosena Escate

anthony.arosena@upsjb.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0004-5960-1916>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Lima – Perú

Junior Felipe Añanca Huamani

junior.ananca@upsjb.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-4250-6603>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Lima – Perú

Recibido 15 de Junio 2026 | Arbitrado y aceptado 28 de Junio 2026 | Publicado el 24 de Julio 2026

RESUMEN

Las barras de cereal son aperitivos muy populares, pero frecuentemente su composición comercial no incluye ingredientes funcionales y carece de buenas texturas. Este estudio tuvo como finalidad analizar cómo la sustitución parcial de harina de avena por quinua (*Chenopodium quinua*) afecta el perfil de textura instrumental y la aceptación sensorial de una barra de cereal horneada. Metodología. Se llevaron a cabo cuatro tratamientos con varias proporciones de sustitución: T0 (50:50), T1 (40:60), T2 (30:70) y T3 (20:80) de avena y quinua, manteniendo inalterados los otros ingredientes aglutinantes. Las características mecánicas se determinaron mediante un Análisis de Perfil de Textura (TPA) instrumental para evaluar la dureza y la masticabilidad, y se realizó una prueba sensorial con jueces no formados para calificar atributos como la suavidad, la crocancia y la aceptación general. Resultados. El análisis instrumental indicó que, al aumentar la cantidad de quinua, se reduce notablemente la dureza y la masticabilidad de la mezcla alimentaria. El tratamiento T3 (80% quinua) mostró los valores mecánicos más bajos (dureza: 33.45 N; masticabilidad: 14.11 N·mm). En la evaluación sensorial, este tratamiento (T3) recibió las puntuaciones más altas en suavidad y crocancia, indicando una fuerte correlación con los datos instrumentales al prevenir la fatiga maxilar al consumir. Conclusión. La sustitución de avena por quinua en un 80% (T3) mejora las propiedades reológicas y de sabor del aperitivo, estableciéndose como una alternativa técnica válida para el desarrollo de productos agroindustriales funcionales muy aceptables.

Palabras clave: *Chenopodium quinua*, Análisis de Perfil de Textura (TPA), barras energéticas, optimización sensorial, reología alimentaria.

ABSTRACT

Cereal bars are popular snacks, yet commercial versions often lack functional ingredients and desirable textures. This study aimed to analyze how the partial substitution of oat flour with quinoa (*Chenopodium quinua*) affects the instrumental texture profile and sensory acceptance of a baked cereal bar. Methodology. Four treatments involving varying substitution ratios were conducted: T0 (50:50), T1 (40:60), T2 (30:70), and T3 (20:80) of oats to quinoa, while keeping binding ingredients constant. Mechanical properties were determined using instrumental Texture Profile Analysis (TPA) to assess hardness and chewiness; additionally, a sensory test with untrained panelists was performed to rate attributes such as softness, crunchiness, and overall acceptance. Results. Instrumental analysis indicated that increasing the quinoa content significantly reduced the hardness and chewiness of the mixture. Treatment T3 (80% quinoa) exhibited the lowest mechanical values (hardness: 33.45 N; chewiness: 14.11 N·mm). In the sensory evaluation, this treatment (T3) received the highest scores for softness and crunchiness, showing a strong correlation with instrumental data regarding the reduction of jaw fatigue during consumption. Conclusion. Substituting 80% of the oats with quinoa (T3) improves the snack's rheological and flavor properties, establishing it as a viable technical alternative for developing highly acceptable functional agro-industrial products.

Keywords: *Chenopodium quinua*, Texture Profile Analysis (TPA), energy bars, sensory optimization, food rheology.

RESUMO

Barras de cereais são lanches populares, porém as versões comerciais frequentemente carecem de ingredientes funcionais e texturas desejáveis. Este estudo teve como objetivo analisar como a substituição parcial da farinha de aveia por quinua (*Chenopodium quinua*) afeta o perfil de textura instrumental e a aceitação sensorial de uma barra de cereal assada. Metodologia: Quatro tratamentos envolvendo diferentes proporções de substituição foram conduzidos: T0 (50:50), T1 (40:60), T2 (30:70) e T3 (20:80) de aveia por quinua, mantendo os ingredientes aglutinantes constantes. As propriedades mecânicas foram determinadas utilizando Análise de Perfil de Textura (TPA) instrumental para avaliar a dureza e a mastigabilidade; adicionalmente, um teste sensorial com painelistas não treinados foi realizado para avaliar atributos como maciez, crocância e aceitação geral. Resultados: A análise instrumental indicou que o aumento do teor de quinua reduziu significativamente a dureza e a mastigabilidade da mistura. O tratamento T3 (80% quinua) apresentou os menores valores mecânicos (dureza: 33,45 N; mastigabilidade: 14,11 N·mm). Na avaliação sensorial, este tratamento (T3) obteve as maiores pontuações para maciez e crocância, apresentando forte correlação com os dados instrumentais referentes à redução da fadiga mandibular durante o consumo. Conclusão: A substituição de 80% da aveia por quinua (T3) melhora as propriedades reológicas e de sabor do snack, estabelecendo-o como uma alternativa técnica viável para o desenvolvimento de produtos agroindustriais funcionais de alta aceitação.

Palavras-chave: *Chenopodium quinua*, Análise de Perfil de Textura (TPA), barras energéticas, otimização sensorial, reologia de alimentos.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria se refiere al conjunto de actividades destinadas a transformar materias primas provenientes de la agricultura, ganadería, pesca y recursos forestales en productos elaborados o semielaborados. Este proceso implica la aplicación de técnicas, conocimientos y tecnologías que permiten mejorar la conservación, calidad y valor comercial de los productos, facilitando su distribución y consumo en el mercado. (Salazar, 2025)

El desarrollo de barras energéticas basadas en cereales busca equilibrar el valor nutricional con una experiencia sensorial óptima. Mientras que la avena proporciona viscosidad y cohesividad a la mezcla, la suplementación con niveles variables de quinua responde a las tendencias actuales de consumo de pseudocereales de alto valor biológico. Esta interacción de ingredientes es determinante en parámetros como la dureza y la masticabilidad, los cuales son evaluados mediante técnicas de TPA para predecir la aceptación por parte del consumidor. (Acosta, 2023).

La avena (*Avena sativa*) se mantiene como el pilar fundamental en la elaboración de barras de cereales debido a su alto contenido de β -glucanos y fibra soluble, los cuales están asociados con beneficios cardiovasculares. Por otro lado, la suplementación con pseudocereales andinos como la quinua (*Chenopodium quinua*) ha cobrado relevancia científica reciente. (Venegas, Perez, & Ochoa, 2024) Asimismo, la avena destaca por su elevado valor nutricional, ya que aporta fibra dietética, proteínas, vitaminas del complejo B y minerales como hierro, zinc, magnesio, cobre y selenio. Además, contiene compuestos bioactivos como polifenoles y avenantramidas, los cuales presentan propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, convirtiéndola en un ingrediente ampliamente utilizado en el desarrollo de alimentos funcionales y productos destinados a promover una alimentación saludable (Chen et al., 2021)

La textura en los alimentos es el conjunto de características físicas y sensoriales que se perciben al tocar, masticar o manipular un alimento, como su dureza, suavidad, crocancia, viscosidad, elasticidad o jugosidad. Esta propiedad influye directamente en la aceptación del consumidor, ya que determina gran parte de la experiencia al consumir un producto. (Tarazona, 2025)

La quinua, conocida como “*Chenopodium quinua* Willd.”, es una especie de la familia *Amaranthaceae* y se clasifica como pseudocereal por el uso alimentario de sus semillas. Su cultivo y consumo se remontan a más de 5,000 años, siendo domesticada en la región andina y considerada un alimento ancestral. Destaca por su alto valor nutricional, debido a su contenido de proteínas de buena calidad, fibra dietética, minerales y vitaminas, además de ser naturalmente libre de gluten. En la actualidad, los principales países exportadores de quinua son Perú, Bolivia y Ecuador, reconocidos por su amplia producción y comercialización internacional. (Aguilar, 2020)

Además de su composición nutricional básica, la quinua contiene diversos compuestos bioactivos como polifenoles y saponinas, los cuales contribuyen a sus propiedades funcionales. Asimismo, presenta un perfil equilibrado de aminoácidos esenciales, destacando la lisina y la metionina, aminoácidos que suelen encontrarse en cantidades limitadas en los cereales convencionales. Debido a estas características, la quinua ha sido considerada un alimento estratégico con potenciales beneficios antioxidantes, antiinflamatorios y favorables para la salud cardiovascular y metabólica (Guo et al., 2025)

De igual manera, la quinua es reconocida como una fuente completa de proteínas, ya que contiene los nueve aminoácidos esenciales requeridos por el organismo humano. Su composición incluye entre 11 % y 19 % de proteínas, además de fibra dietética, vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes como flavonoides y fenoles. Estas propiedades nutricionales y funcionales han impulsado su utilización en el desarrollo de alimentos saludables y productos con valor agregado destinados a consumidores que buscan una alimentación equilibrada (Arguello-Hernández et al., 2024)

El análisis instrumental de texturas, especialmente el TPA, representa un avance importante, ya que actualmente es ampliamente utilizado por la industria alimentaria y la comunidad científica. Por tanto, este método es lo suficientemente rápido y requiere una preparación fácil de muestras para ser utilizado en el control de calidad en la línea de procesamiento. (Guiné, 2022). La prueba TPA también es conocida como la Prueba de doble compresión, permite proporcionar datos complejos que incluyen gomosidad, elasticidad y adhesividad. (Khule, Ranvare, & Singh, 2024)

MATERIALES Y MÉTODOS

1) Materias primas

Harina de avena

Quinua cocida

Cacao en polvo

Aceite de coco

Chía

Esencia de vainilla

Azúcar

Miel

Mantequilla de maní

Chocolate blanco

Ajonjolí

Arándano deshidratado

Almendra

Nuez

CMC

Leche en polvo

2) Caracterización de las materias primas

La avena (*Avena sativa*) y la quinua (*Chenopodium quinua*) que serán empleadas en el proyecto se adquirieron de tiendas comerciales de la ciudad de Ica,

Perú. Asimismo, los otros insumos empleados en la formulación se obtuvieron por proveedores locales y se verificó las condiciones óptimas para su uso alimenticio.

Por otro lado, se eligió la avena por su alto contenido de fibra dietética que posee y por su eficiente capacidad de formar estructuras cohesivas en productos horneados. Asimismo, la quinua fue incluida como insumo funcional pese a que contiene un alto contenido de proteínas, aminoácidos y compuestos bioactivos. (Xi et al., 2024)

Finalmente, antes de iniciar con el uso de las materias primas, se inspeccionó su estado de conservación, sin impurezas y que tengan buenas condiciones de almacenamiento

3) Equipos y materiales

Horno

Bolws

Cucharas

Balanza gramera

Bandejas de horneado

Texturómetro Brookfield CTX

4) Diseño experimental

En este estudio se realizó un diseño experimental complementario al azar (DCA) en el cual se elaboraron cuatro tratamientos de barras energéticas con harina de avena y quinua cocida, denominadas T0, T1, T2 y T3, diferenciadas por la variación en las proporciones de ambos ingredientes. Los demás componentes de la formulación (cacao en polvo, aceite de coco, chía, esencia de vainilla, azúcar, miel, mantequilla de maní, chocolate blanco, ajonjolí, arándano deshidratado, almendras, nuez, CMC y leche en polvo) se mantuvieron constantes en todos los tratamientos. La variable independiente fue el porcentaje de quinua añadido, y las variables que dependían de este eran las propiedades sensoriales y de textura de las barras energéticas.

5) Formulación de los tratamientos

Tabla 1. Formulación de barras energéticas.

INGREDIENTE	T0	T1	T2	T3
Harina de avena	75	60	45	30
Quinua cocida	75	90	105	120
Cacao	5	5	5	5
Aceite de coco	11	11	11	11
Chía	5	5	5	5
Esencia de vainilla	3	3	3	3
Azúcar	21	21	21	21
Miel	21	21	21	21
Mantequilla de maní	16	16	16	16
Leche en polvo	10	10	10	10
CMC	1	1	1	1
Ajonjolí	5	5	5	5
Arándano deshidratado	10	10	10	10
Almendra	10	10	10	10
Nuez	10	10	10	10

Las formulaciones se realizaron modificando las proporciones de harina de avena y quinua cocida, manteniendo los otros componentes iguales en todas las mezclas.

La única variable que se experimentó fue la cantidad de harina de avena y quinua cocida, manteniendo fijo los demás insumos.

Tabla 2. Proporción de harina de avena y quinua en los tratamientos

Tratamiento	% Avena	% Quinua
T0	50%	50%
T1	40%	60%
T2	30%	70%
T3	20%	80%

6) Elaboración de las barras energéticas

Para la elaboración del producto, primero se realizó el pesado de los ingredientes de acuerdo con cada formulación establecida. Posteriormente, se efectuó la mezcla de los ingredientes secos (harina de avena, quinua, almendras, ajonjolí, arándanos deshidratados, nueces, CMC cacao y chía) hasta lograr una distribución homogénea. En

un recipiente aparte se mezclaron los ingredientes líquidos y semilíquidos (aceite de coco, miel, esencia de vainilla y mantequilla de maní). Luego, ambas fases se integraron hasta obtener una masa uniforme.

La mezcla obtenida se moldeó en porciones similares de 10cm de largo x 3cm de ancho y se sometió a un proceso de horneado a aproximadamente 180 °C durante 25 a 30 minutos, hasta lograr la cocción adecuada. Finalmente, los productos se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se evaluaron cualitativamente sus características texturales, considerando aspectos como compactación, suavidad, crocancia y consistencia para comparar el comportamiento de cada tratamiento.

7) Diagrama de flujo

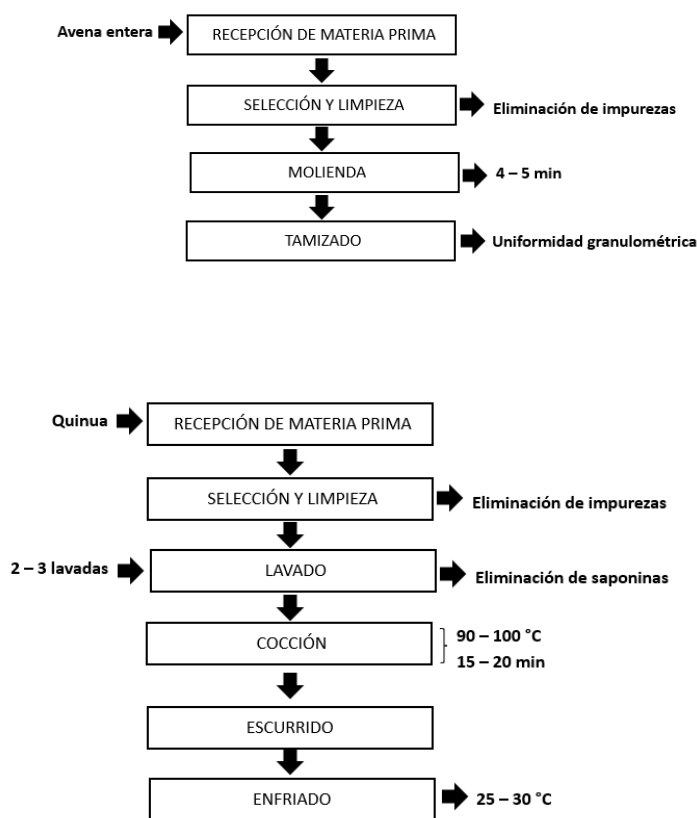


Figura 1: Proceso de cocción de quinua

Figura 2: Proceso de harina de avena

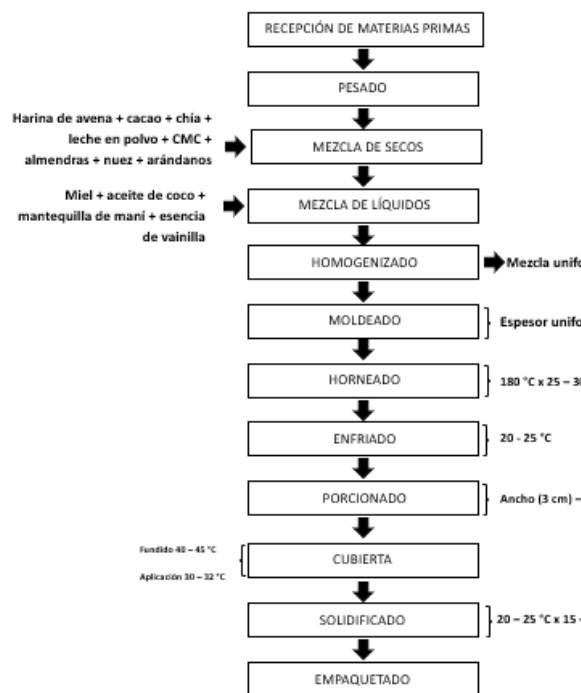


Figura 3: Elaboración de las barras energéticas

8) Análisis de perfil de textura (TPA)

El Análisis de Perfil de Textura (TPA) se establece como un ensayo mecánico instrumental indispensable para especificar el comportamiento mecánico y la consistencia estructural de matrices alimentarias compactas, permitiendo predecir la respuesta física del producto durante la masticación (Aguilar, 2020). La aplicación de esta metodología en el diseño de barras nutricionales permite evaluar cuantitativamente cómo la interacción de los ingredientes secos y los pseudocereales de la formulación configuran la estabilidad mecánica de la masa (Tarazona, 2025). Mediante el empleo de un analizador de textura Brookfield CTX, programado operacionalmente para ejecutar dos ciclos consecutivos de deformación uniaxial controlada, se registrarán curvas cinemáticas de fuerza en función del tiempo y la distancia, a partir de las cuales se extraerán analíticamente los parámetros mecánicos primarios y secundarios de la matriz funcional.

Para estas matrices sólidas y viscoelásticas, el esfuerzo global se evalúa a través de la masticabilidad (Ch), un parámetro mecánico avanzado que unifica las variables fundamentales del ensayo en una única ecuación matemática compuesta:

$$Ch = F1 * \left(\frac{A2}{A1}\right) * \left(\frac{L2}{L1}\right)$$

- **Masticabilidad (Ch):** Trabajo mecánico neto (N * mm) necesario para desintegrar la barra estructural hasta que sea apta para la deglución.
- **Dureza (F1):** Fuerza del primer pico (N), que mide la resistencia del alimento a romperse durante la primera mordida.
- **Cohesividad (A2/A1):** Relación adimensional entre las áreas de trabajo del segundo y primer ciclo, que evalúa la fuerza de los enlaces internos para evitar que el producto se desmorone.
- **Elasticidad (L2/L1):** Relación adimensional de distancia, que cuantifica la capacidad de la barra para recuperar su altura original después de retirar la fuerza del primer impacto.

a) Parámetros del equipo

Para la caracterización mecánica se utilizará un analizador de textura Brookfield CTX equipado con una celda de carga de 50 kg (500 N). Las condiciones operativas para el ensayo de doble compresión uniaxial se configurarán específicamente para matrices sólidas bajo los siguientes criterios técnicos (Atalaya Tacilla, 2025):

- Tipo de ensayo:** Texture Profile Analysis (TPA).
- Sonda / Accesorio:** Plato de compresión cilíndrico de base plana para garantizar la distribución uniforme de la fuerza sobre la barra.
- Fuerza de disparo (Trigger):** 15 g (0.15 N).
- Compresión:** 50 % de deformación respecto a la altura real de la muestra.
- Número de ciclos:** 2.
- Velocidad de pre-ensayo:** 2.0 mm/s.
- Velocidad de ensayo:** 1.0 mm/s.
- Velocidad de post-ensayo:** 2.0 mm/s.
- Tiempo entre compresiones:** 5 s.
- Temperatura de ensayo:** 25 ± 2 °C.

b) Procedimiento paso a paso del análisis TPA

- Se seleccionaron tres barras por cada tratamiento.
- Con la finalidad de estandarizar el área de contacto y evitar microfracturas que alteren las curvas, las muestras se cortarán en porciones cuadradas uniformes de 20 mm × 20 mm conservando su espesor real (Astolingon Guayan, 2025).

- Se ajustarán las muestras cortadas a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) dentro de un desecador para estabilizar la humedad interna.
- Se colocaron las barras en la bandeja del texturómetro.
- Se aplicó una doble compresión al 50% de la altura real.
- Se registró la curva fuerza-tiempo.
- Se obtendrán los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad usando el software TexturePro CT.
- Se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento.

9) Pérdida de peso por horneado

La pérdida de peso por horneado (RPH) en las barras energéticas será evaluado utilizando método gravimétrico, es comúnmente usado para calcular la disminución de peso causada por la evaporación del agua y eliminación de los compuestos volátiles mediante el horneado de los productos. Para ello, la técnica se llevará a cabo siguiendo la metodología descrita por (Ahmadinia et al., 2023) que mediante registros del peso de las muestras antes y después del horneado pudieron calcular la pérdida.

Primero, se registrará el peso inicial de cada barra antes del horneado (P_i) usando una balanza electrónica, luego las muestras serán horneadas a 180°C por un tiempo de 25 a 30 minutos. Al finalizar el horneado, las barras serán enfriadas a temperatura ambiente. Por último, se anotará el peso final de cada muestra (P_f), la reducción del peso por horneado se determinará en porcentaje (%) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$PPH(\%) = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

P_i : Peso inicial

P_f : Peso final

10) Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) será evaluado mediante el método de centrifugación, siendo el procedimiento más utilizado para la evaluación de una matriz alimentaria al retener agua cuando se someten a fuerzas externas. Para ello, se llevará a cabo siguiendo la metodología descrita por (Valencia G. & Román M., 2006) con algunas modificaciones.

Para la evaluación de las barritas energéticas se realizó el siguiente procedimiento:

- Pesar 7gr de muestra
- Colocar muestra en el tubo de centrifuga
- Añadir 6ml de agua destilada
- Homogenizar 1 minuto
- Reposo de 30 minutos
- Centrifuga por 4500 rpm x 11 minutos
- Eliminar sobrenadante
- Pesar residuo

Por último, se empleó la siguiente fórmula:

$$CRA = \frac{(P_1 - P_0)}{P_0}$$

Donde:

P₁: Peso residuo

P₀: Peso inicial

11) Poder de Hidratación

Según Chetrariu y Dabija (2021), la absorción de agua (WA) de las barras energéticas elaboradas a base de avena (*Avena sativa*) con diferentes niveles de inclusión de quinua (*Chenopodium quinua*) donde determinarán mediante el método gravimétrico, el cual ayudara a evaluar la capacidad del producto para absorber agua. Respecto al análisis, las muestras serán sometidas al procedimiento de hidratación establecido, registrándose el peso inicial de cada muestra (W_o) y el peso final después del proceso de hidratación (W). La absorción de agua se expresará como el porcentaje de incremento de peso con respecto a la muestra inicial y se calculó mediante la siguiente formula:

$$\%WA = \frac{W - W_o}{W_o} \times 100$$

W = Peso de la muestra después del proceso de hidratación en gramos.

W_o = Peso inicial de la muestra antes del proceso en gramos.

Para la evaluación se realizó lo siguiente:

- Pesar 5 gr de cada tratamiento
- Añadir 100 ml de agua
- Dejar reposar durante 5; 10; 15; 30; 60 minutos
- Drenar el agua
- Pesar el restante

12) Análisis sensorial

El análisis sensorial de las barritas energéticas se llevó a cabo a través de una prueba inicial de aceptación, la cual se entiende como el enfoque adecuado para analizar la reacción cualitativa y el grado de satisfacción de los consumidores en relación con cambios en las estructuras. Se empleó el método analítico modificado (Aguilar et al.,

2020), junto con las pautas metodológicas (Guiné, 2022) para evaluar las propiedades texturales en productos horneados.

Para llevar a cabo el análisis, se eligió un grupo de 30 jueces no entrenados, a quienes se les presentaron al mismo tiempo las cuatro fórmulas experimentales (T0, T1, T2 y T3). Los aspectos sensoriales que se examinaron estuvieron enfocados en las características mecánicas que se sienten mientras se mastica, evaluándose de esta manera:

- **Sabor:** Percepción combinada de los estímulos químicos de sabor y aroma que se liberan al masticar, analizando la cohesión y fuerza general de los elementos de la mezcla.
- **Olor:** Porción de volatilidad reconocida a través de las rutas retronasales y ortonasal antes y durante la ingesta, vinculada a las propiedades fragantes características de la base alimenticia y sus componentes.
- **Suavidad:** Nivel de descomposición y cambios en la estructura del alimento al estar en la boca, que influye en la facilidad para masticar y en la sensación de suavidad que se siente al tocar el paladar.
- **Crocancia:** Nivel de sonido y reacción que ocurre al romper la textura dura y crujiente de los elementos en el primer bocado, relacionada con la baja cantidad de humedad del alimento.
- **Consistencia:** Percepción general sobre la firmeza física y unión de la estructura del alimento, considerando su habilidad para sostener su forma y no desmoronarse prematuramente durante el manejo y la masticación.

Las muestras recibieron códigos numéricos aleatorios de tres cifras y se ofrecieron a los degustadores a temperatura normal, en envases iguales y en un entorno de luz neutral. Entre la valoración de cada opción, los degustadores tuvieron agua disponible para enjuagar su paladar con el objetivo de prevenir el arrastre de sabores y la fatiga sensorial.

La información cualitativa recopilada se utilizó para relacionar la reacción perceptiva de las personas con los parámetros mecánicos cuantitativos obtenidos en el Análisis de Perfil de Textura (TPA).

RESULTADOS

Análisis de perfil de textura (TPA)

Los parámetros texturales de las barras energéticas elaboradas con diferentes niveles de inclusión de avena y quinua (T0, T1, T2 y T3) fueron determinados mediante un ensayo instrumental de doble compresión (TPA), cuyos perfiles cinemáticos se observan en la figura 4.

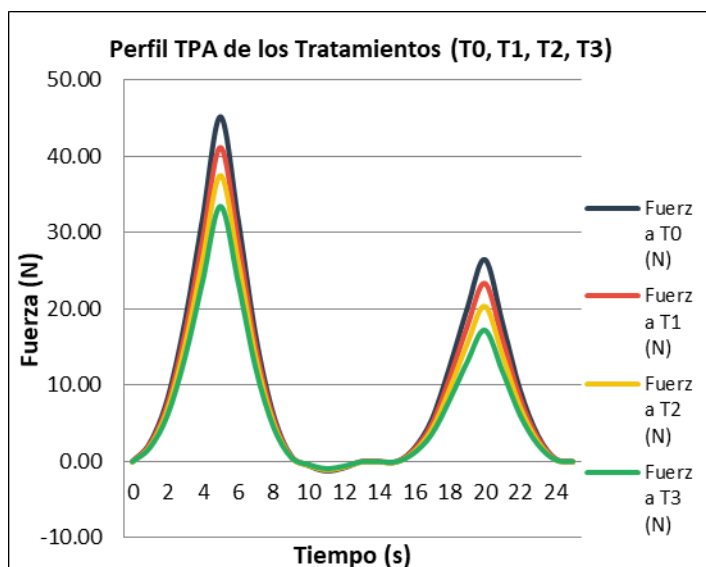


Figura 4: Curvas del Perfil de Textura (TPA) que evidencian el comportamiento mecánico y textural de los 4 tratamientos evaluados.

De la integración matemática de las curvas fuerza-tiempo, se obtuvieron las variables mecánicas reportadas en la Tabla 3.

Tratamiento	Dureza (N)	Cohesividad (adimensional)	Elasticidad (adimensional)	Masticabilidad (N·mm)
T0 (50% A, 50% Q)	45.20	0.55	0.85	21.13
T1 (40% A, 60% Q)	41.13	0.53	0.86	18.73
T2 (30% A, 70% Q)	37.52	0.51	0.87	16.64

T3 (20% A, 80% Q)	33.45	0.48	0.88	14.11
----------------------	-------	------	------	-------

Tabla 3: *Parámetros mecánicos de los tratamientos obtenidos mediante TPA*

Se evidenció una disminución inversamente proporcional en la Dureza (F_1) a medida que aumentó el nivel de inclusión de quinua. El tratamiento T0 (50% avena) registró la mayor dureza (45.20 N) atribuida a la alta capacidad de los β -glucanos de la avena para formar matrices rígidas tras el horneado. Por otra parte, la reducción de avena en el tratamiento T3 (80% quinua) generó una red más suave y crocante, disminuyendo significativamente la dureza a 33.45 N.

Asimismo, este cambio estructural impactó directamente en el esfuerzo de masticación. El T0 requirió el mayor trabajo mecánico para su deglución (Masticabilidad = 21.13 N·mm), mientras que el T3 requirió la menor energía (14.11 N·mm). Estos resultados instrumentales justifican estadísticamente las evaluaciones del análisis sensorial (Tabla 8), donde el tratamiento T3 fue calificado como el ganador en los atributos de "Suavidad" y "Crocancia", demostrando que una masticabilidad intermedia-baja previene la fatiga maxilar y favorece enormemente la aceptabilidad del consumidor.

Pérdida de peso por horneado

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos por la pérdida de peso por horneado de barras energéticas que fueron elaboradas con diferentes proporciones de harina de avena y quinua cocida. Se obtuvieron valores entre 2.90% y 5.88%, teniendo en cuenta que el T0 tuvo una menor pérdida de peso, el T2 mostró una mayor pérdida de peso y el T1 y T3 obtuvieron valores entre 4.83% y 4.70%. Las barras energéticas mostraron pérdidas inferiores al 6% indicando que hay una buena estabilidad de las formulaciones en el proceso de horneado.

Para los resultados se empleó la siguiente fórmula:

$$PPH(\%) = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

TTratamientos	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	%PPH
T0	448	435	2.90%
T1	579	551	4.83%
T2	544	512	5.88%
T3	595	567	4.70%

Tabla 4: Resultados obtenidos de la pérdida de peso por horneado

Capacidad de retención de agua (CRA)

Para la capacidad de retención de agua se obtuvieron los siguientes resultados:

Tubo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	CRA %
T0	7	10	42.86%
T0	7	9.9	41.43%
T1	7	9.6	37.14%
T1	7	10	42.86%
T1	7	10.1	44.29%
T2	7	9.3	32.86%
T2	7	9.3	32.86%
T3	7	9.7	38.57%
T3	7	9.8	40%

Tabla 5: Resultados obtenidos a partir de la capacidad de retención de agua

Luego calculamos la media y desviación estándar de cada tratamiento

Tratamiento	CRA
T0	42.15 ± 1.01
T1	41.43 ± 3.68
T2	32.86 ± 0.00
T3	39.29 ± 1.01

Tabla 6: Valores expresados como media ± desviación estándar

Los valores obtenidos tuvieron un rango de entre 32,86% y 42,15%, donde el T0 obtuvo mayor capacidad de retención de agua y el T2 presentó una menor capacidad de retención de agua. Asimismo, los resultados mostraron las diferencias en la capacidad de los distintos tratamientos para retener agua.

Poder de Hidratación

Para el cálculo de poder de hidratación, se anotaron los pesos iniciales y finales por cada tratamiento como se muestra en las siguientes tablas

T0	Peso inicial (g)	Peso Final (g)
5 min	5	6
10 min	5	7
15 min	5	7
30 min	5	7
60 min	5	8

T1	Peso inicial (g)	Peso Final (g)
5 min	5	6
10 min	5	6
15 min	5	6
30 min	5	6
60 min	5	7

T2	Peso inicial (g)	Peso Final (g)
5 min	5	6
10 min	5	6
15 min	5	9
30 min	5	6
60 min	5	7

T3	Peso inicial (g)	Peso Final (g)
5 min	5	5
10 min	5	6
15 min	5	10
30 min	5	8
60 min	5	11

Luego de ello se calculó el poder de hidratación de cada tratamiento en total

Tiempo (min)	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)
5	20	20	20	0
10	40	20	20	20
15	40	20	80	100
30	40	20	20	60
60	60	40	40	120

Tabla 7 Datos obtenidos del poder de hidratación en distintos tiempos

Como resultados se obtuvo que en el T0 si hubo aumentó en el poder de hidratación desde los 5 hasta los 60 minutos. Mientras que el T1 se mantuvo estable durante los 30 minutos y al final aumentó al 40%. Asimismo, el T2 si obtuvo un aumento favorable a los 15 minutos de la prueba y por último, el T3 si presentó un mayor poder de hidratación llegando así hasta el 120%.

Análisis sensorial

El comportamiento de las características sensoriales de las muestras responde a los distintos tratamientos experimentales se presenta en la Tabla 8. Los puntajes promedio indican el nivel de aprobación de las propiedades examinadas, actuando como criterio para identificar la formulación más preferida.

Atributo	Tratamiento	Puntaje promedio
Sabor	T3	4.40
Olor	T3	4.13
Suavidad	T3	4.37
Crocancia	T3	4.07
Consistencia	T3	4.27

Tabla 8 Puntajes promedio de la evaluación sensorial de los tratamientos ganadores

De acuerdo con los resultados presentados, el tratamiento T3 exhibió los valores promedio más elevados en la totalidad de los atributos analizados.

Atributo	Tratamiento	Puntaje promedio
Sabor	T1	4.07
Olor	T1	3.80
Suavidad	T0	3.53
Crocancia	T2	3.93
Consistencia	T0	3.80

Tabla 9 Puntajes promedio de la evaluación sensorial de los tratamientos menos preferidos.

Los resultados de la tabla 9 muestran las puntuaciones alcanzadas por las muestras con menor aceptación. Las preferencias se dispersaron entre diferentes

formulaciones, evidenciando que ninguna de estas opciones logró un perfil sensorial equilibrado ni el nivel de agrado alcanzado por la fórmula óptima.

DISCUSIÓN

Los parámetros mecánicos de los instrumentos indican que intercambiar la harina de avena con quinua cocida influye directamente en la dureza y la capacidad de masticar las barras energéticas. La prueba T0, que contiene 50% de avena, mostró los niveles más altos de dureza (45. 20 N) y masticabilidad (21. 13 N·mm). Este fenómeno se debe a la notable habilidad de los β -glucanos y la fibra soluble en la avena para crear y formar estructuras tridimensionales firmes durante el proceso de horneado. En cambio, el tratamiento T3, que consistió en un 80% de quinua, logró una baja notable en la dureza a 33. 45 N y en la masticabilidad a 14. 11 N·mm. Al disminuir la proporción de harina de avena, la mezcla pierde el denso empaquetamiento proporcionado por el almidón gelatinizado, resultando en una textura más tierna. Como indica (Khule, Ranvare, & Singh, 2024) la prueba de compresión uniaxial doble permite medir cómo la adición de granos enteros o pseudocereales altera la resistencia mecánica interna, disminuyendo la energía neta requerida para romper el alimento antes de tragárselo.

Los resultados de PPH se mantuvieron en un nivel óptimo por debajo del 6% (entre 2. 90% y 5. 88%), lo que sugiere una buena estabilidad de las formulaciones frente al calor a 180 °C. El tratamiento T0 mostró la menor disminución de peso (2. 90%), gracias a la alta cantidad de polímeros hidrofílicos en la harina de avena, que encapsulan eficazmente el agua libre. Este fenómeno coincide con lo que mencionan (AlJaloudi et al., 2024), quienes sugieren que una adecuada retención de humedad durante el proceso de horneado es crucial para preservar la calidad física y sensorial de las barras energéticas; una excesiva pérdida de agua libre acelera la cristalización de los azúcares (derivados de la miel y el azúcar) y descompone la fase viscoelástica, lo que puede hacer que el producto se sienta seco, duro o quebradizo, lo que a su vez disminuye la aceptación por parte de los consumidores.

La medición de la CRA a través de centrifugación mostró que el tratamiento T0 tiene la mayor habilidad de retener agua bajo influencias externas (42. 15%), mientras que las mezclas con un mayor contenido de quinua (como T2 con 32. 86%) experimentaron una disminución en este aspecto. La alta CRA en las muestras con

avena está relacionada con la presión osmótica generada por sus polisacáridos no amiláceos y la fibra soluble.

Este fenómeno coincide con lo que encontró (Abid et al., 2025) quienes señalaron que las combinaciones que tienen más quinua presentan cambios en la capacidad de retención capilar a causa de las propiedades funcionales propias de las proteínas globulares y la fibra dietética del pseudocereal. Tales elementos transforman la estructura de la comida, afectando los espacios donde se encuentra el agua libre y modificando su resistencia a la fuerza centrífuga-

En situaciones de inmersión variables, el comportamiento del agua cambió de manera significativa: el tratamiento T3 (80% de quinua) mostró una mayor afinidad por el agua a largo plazo, alcanzando un nivel de hidratación del 120% a los 60 minutos, superando de esta manera al T0 (60%) y T1 (40%). Esta notable capacidad de absorción se relaciona con la higroscopicidad natural de las proteínas de la quinua, que tienen un contenido que varía entre el 11% y el 19%, así como con la porosidad de su fibra alimentaria. Según (Kowalska et al., 2025) los productos alimenticios que cuentan con ingredientes ricos en fibra y proteínas vegetales muestran un aumento en la difusión del agua debido a la exposición de grupos polares que interactúan activamente con las moléculas de humedad. Esto mejora de manera significativa las características funcionales de hidratación de la barra y ayuda a mantener una estructura más estable durante la transferencia de masa en el almacenamiento.

La evaluación de aceptabilidad inicial dejó claro que el tratamiento T3 fue el favorito entre el grupo de jueces no capacitados, obteniendo las puntuaciones más elevadas en cada uno de los atributos evaluados: sabor (4. 40), aroma (4. 13), suavidad (4. 37), crocancia (4. 07) y textura (4. 27). Las altas calificaciones en "Suavidad" y "Crocancia" muestran una relación directa y positiva con los resultados cuantitativos del TPA, donde T3 presentó menor dureza y masticabilidad instrumental, lo que ayudó a prevenir la fatiga en la mandíbula. Esta conexión entre los resultados sensoriales y los datos instrumentales apoya lo que mencionan (Siregar et al., 2024) quienes afirman que las barras energéticas hechas con ingredientes funcionales son más apreciadas cuando logran un equilibrio adecuado entre el sabor y la textura. Una formulación que elimina la dureza excesiva, pero conserva la cohesión estructural brinda una experiencia de

masticación agradable y favorece la liberación de los compuestos volátiles que aportan sabor y aroma en la cavidad retronasal, mejorando así la experiencia del consumidor.

CONCLUSIÓN

Se estableció que la sustitución parcial de harina de avena con quinua (*Chenopodium quinua*) afecta de manera significativa las características de textura instrumental y la calidad sensorial de las barras de cereales horneadas. Aumentar la cantidad de quinua provocó una disminución progresiva en la dureza y la masticabilidad de la mezcla alimentaria, un fenómeno vinculado a las interacciones reológicas entre las proteínas de la quinua y la reducción de los β -glucanos presentes en la avena durante el procesamiento térmico. La evaluación del perfil de textura (TPA) resultó ser una herramienta predictiva eficaz, mostrando una fuerte correlación con la percepción de los evaluadores. Las fórmulas con un mayor porcentaje de quinua presentaron menores valores mecánicos de la resistencia, lo que se tradujo sensorialmente en características mejoradas de suavidad y crujido, ayudando a reducir la fatiga mandibular que comúnmente se asocia con este tipo de snacks.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abid, F., Bilal, M., Bakhtawar, F., Firdous, N., Malik, M. M. T., Hussain, A., Rahman, S. ur, Shah, S. R. H., Aziz, T., Al-Hoshani, N., Al-Asmari, F., & Al-Joufi, F. A. (2025). Development, physicochemical quality analysis, and nutritional evaluation of mango and date fruit bars, enriched with quinoa. *Italian Journal of Food Science*, 37(4), 295-311. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i4.3088>
- Acosta Acosta, M. B. (2023). Formulación, elaboración y análisis bromatológico de barras energéticas de quinua fortificadas con achicoria, para el consumo de personas celiacas. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21028>
- Aguilar, M. S. E., Miano, A. C., Obregón, J., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2020). Barras energéticas a base de quinua, kiwicha y chía: 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology: «Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development» «Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy», LACCEI 2020. *18th LACCEI*

International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology, Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology.

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.377>

Ahmadinia, F., Mohtarami, F., Esmaili, M., & Pirs, S. (2023). Investigation of physicochemical and sensory characteristics of low calorie sponge cake made from flaxseed mucilage and flaxseed flour. *Scientific Reports*, 13(1), 20949.

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-47589-5>

AlJaloudi, R., Al-Dabbas, M. M., Hamad, H. J., Amara, R. A., Al-Bashabsheh, Z., Abughoush, M., Choudhury, I. H., Al-Nawasrah, B. A., & Iqbal, S. (2024). Development and Characterization of High-Energy Protein Bars with Enhanced Antioxidant, Chemical, Nutritional, Physical, and Sensory Properties. *Foods*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/foods13020259>

AlJaloudi, R., Al-Dabbas, M. M., Hamad, H. J., Amara, R. A., Al-Bashabsheh, Z., Abughoush, M., Choudhury, I. H., Al-Nawasrah, B. A., & Iqbal, S. (2024). Development and Characterization of High-Energy Protein Bars with Enhanced Antioxidant, Chemical, Nutritional, Physical, and Sensory Properties. *Foods*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/foods13020259>

Arguello-Hernández, P., Samaniego, I., Leguizamo, A., Bernalte-García, M. J., & Ayuso-Yuste, M. C. (2024). Nutritional and Functional Properties of Quinoa (*Chenopodium quinua* Willd.) Chimborazo Ecotype: Insights into Chemical Composition. *Agriculture (Switzerland)*, 14(3).

<https://doi.org/10.3390/agriculture14030396>

Astolington Guayan, B. R. (2025). Evaluación de la adición de harina de albedo de granadilla (*Passiflora ligularis* juss) sobre las propiedades mecánicas y sensoriales de una barra energética <https://hdl.handle.net/11537/48558>

Atalaya Tacilla, N. H. (2025). Evaluación de la humedad y textura en un snack elaborado con maíz morado (*Zea mays* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) empleando diferentes temperaturas de extrusión y formulaciones de

mezclas alimenticias (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca).

<http://hdl.handle.net/20.500.14074/9266>

Chen, O., Mah, E., Dioum, E., Marwaha, A., Shanmugam, S., Malleshi, N., Sudha, V., Gayathri, R., Unnikrishnan, R., Anjana, R. M., Krishnaswamy, K., Mohan, V., & Chu, Y. (2021). The role of oat nutrients in the immune system: A narrative review. In *Nutrients* (Vol. 13, Number 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13041048>

Chetrariu, A., y Dabija, A. (2021). Características de calidad de la pasta de espelta enriquecida con grano gastado. *Agronomía*, 11(9), 1824. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091824>

Farouk Abdel-salam, F., Mohamed Ibrahim, R., & IK Ali, M. (2022). Formulation and Evaluation of High Energy-protein Bars as a Nutritional Supplement for Sports Athletics. *American Journal of Food Science and Technology*, 10(1), 53–65. <https://doi.org/10.12691/ajfst-10-1-8>

Guiné, R. P. F. (2022). Textural Properties of Bakery Products: A Review of Instrumental and Sensory Evaluation Studies. *Applied Sciences*, 12(17), 8628. <https://doi.org/10.3390/app12178628>

Guo, Z., Deng, X., Ping, C., Li, X., Li, D., Wu, X., Xiao, X., & Kong, R. (2025). Quinoa: Nutritional and phytochemical value, beneficial effects, and future applications. In *Applied Food Research* (Vol. 5, Number 1). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100766>

Khule, A. R. (2024). *EXTURE PROFILE ANALYSIS: A COMPREHENSIVE INSIGHT INTO FOOD TEXTURE EVALUATION*. <https://doi.org/10.71058/jodac.v8i9003>

Khule, G., Ranvare, A., & Singh, A. (2024). ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA: UNA VISIÓN COMPLETA SOBRE LA EVALUACIÓN DE TEXTURAS DE ALIMENTOS. <https://doi.org/10.71058/jodac.v8i9003>

Kowalska, H., Masiarz, E., Hać-Szymańczuk, E., Żbikowska, A., Marzec, A., Salamon, A., Kozłowska, M., Ignaczak, A., Chobot, M., Sobocińska, W., & Kowalska, J.

- (2025). The Influence of Recipe Modification and the Technological Method on the Properties of Multigrain Snack Bars. *Molecules*, 30(15). <https://doi.org/10.3390/molecules30153160>
- López, J., Cea, R., Tiznado, N., Fernandez, E., Gonzales, M., Pizarro, S., & Perez, C. (2025). Development of Cereal Bars Enriched with Andean Grains and Patagonian Calafate (*Berberis microphylla*): Nutritional Composition, Phenolic Content, Antioxidant, Textural, and Sensory Evaluation. *FOOD*. <https://doi.org/10.3390/foods14234127>
- Rawat, N., & Darappa, I. (2015). Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of fibre and protein enriched baked energy bars. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 3006–3013. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1367-x>
- Salazar, J. B. (2025). Productividad y Control de Merma en la Agroindustria: Un Enfoque Estratégico para la Competitividad. <https://www.tecnohumanismo.online/index.php/tecnohumanismo/article/view/458>
- Siregar, N. S., Julianti, E., Silalahi, J., & Sinaga, H. (2024). Chemical and sensory evaluations of energy bar made from purple sweet potatoes and tapioca flour with the addition of Sidempuan salak (*Salacca sumatrana* (Becc.)) fruit. *Food Research*, 8(3), 1–6. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(3\).109](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(3).109)
- Tarazona, F. N. (24 de 2 de 2025). ELABORACIÓN DE UNA BARRA NUTRICIONAL DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*), KIWICHA (*Amaranthus caudatus*), CONCENTRADO DE PIÑA, UTILIZANDO EXUDADO DE CACAO COMO AGLUTINANTE, EN UCAYALI. Obtenido de <https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e5fb5606-ca8d-438c-ba15-9d6524c75e26/content>
- Valencia G., F. E., & Román M., M. O. (2006). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE TRES CONCENTRADOS COMERCIALES DE FIBRA DIETARIA. *Vitae*, 13(2), 54-60.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042006000200007&lng=en&tlng=es.

Venegas, O., Perez, D., & Ochoa, M. (2024). Propiedades funcionales de la harina de avena. Obtenido de

<https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/en/article/view/699>

Xi, X., Fan, G., Xue, H., Peng, S., Huang, W., & Zhan, J. (2024). Harnessing the Potential of Quinoa: Nutritional Profiling, Bioactive Components, and Implications for Health Promotion. *Antioxidants*, 13(7), 829.

<https://doi.org/10.3390/antiox13070829>

ANEXOS



Imagen 1: Mezclado de materias primas



Imagen 2: Moldeado de las barras energéticas



Imagen 3: Presentación del tratamiento 0



Imagen 4: Presentación del tratamiento 1



Imagen 5: Presentación del tratamiento 2



Imagen 6: Presentación del tratamiento 3

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2026 por **Mariana Rosa Cano Neyra, Thayly Valeria Quispe Marcatinco, Christian Jhamir Rivas Chumpitaz, Anthony Jesús Arosena Escate, Junior Felipe Añanca Huamani**



Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.