

DOI: <https://doi.org/10.56124/allpa.v9i18.0165>

Evaluación de las características sensoriales de pan sin gluten a base de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Evaluation of the sensory characteristics of gluten-free bread based on quinoa flour (*Chenopodium quinoa*)

Pin-Alvarado Joel Steven ¹; Vences-Zambrano Alain David ²; Santacruz-Terán Stalin Gustavo ³

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: stalin.santacruz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-9973-0098>

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: stalin.santacruz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5637-308X>

³ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: stalin.santacruz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0801-9876>

Resumen

El presente estudio experimental evaluó las características sensoriales de pan sin gluten elaborado a base de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*), utilizando harina de quinoa fermentada (35, 50%) y cocida (25, 35%) con dos niveles cada uno. Los análisis del pan incluyeron pruebas de caracterización y análisis sensorial. Los resultados mostraron diferencias entre los tratamientos ($p < 0,05$) en atributos como volumen específico, dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad y miga. El mejor tratamiento se estableció por ponderación siendo el compuesto por 50 % de harina fermentada y 25 % de harina cocida. El análisis sensorial de este tratamiento mostró que el pan tuvo calificaciones en el rango del gusto en todos los atributos evaluados. El estudio concluye que las proporciones de harina fermentada y cocida influyen directamente en las propiedades del pan sin gluten a base de quinoa, pan cuyas características son prometedoras para consumidores con requerimientos dietéticos específicos.

Palabras clave: volumen específico, miga, análisis de perfil de textura, fermentación, celíacos.

Abstract

The present experimental study evaluated the sensory characteristics of gluten-free bread made from quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour, using fermented (35%, 50%) and cooked (25%, 35%) quinoa flour at two levels each one. Bread analyses included characterization tests and sensory analysis. Results showed differences between treatments ($p < 0.05$) in attributes such as specific volume, hardness, cohesiveness, elasticity, chewiness, and crumb. The best treatment was established by weighing corresponding to a bread with 50% fermented flour and 25% cooked flour. Sensory analysis of this treatment showed that bread had scores within the "I like it" range in all the evaluated attributes. The study concludes that the proportions of fermented and cooked flour directly influence the properties of gluten-free bread based on quinoa, bread whose characteristics are promising for consumers with specific dietary requirements.

Keywords: Specific volume, crumb, texture profile analysis, fermentation, celiacs.

1. Introducción

El pan es un producto elaborado a base de una mezcla de harina de trigo, generalmente con agua sal y levadura. Su sabor color y textura pueden variar según el tipo de harina empleada y los ingredientes secundarios añadidos. El pan es uno de los productos más consumidos por los ecuatorianos, según datos del instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) del 2019 cada año el ecuatoriano consume cerca de 20 kg de pan. De acuerdo con el INEC del volumen de alimentos que se compra en el hogar de bajos ingresos, el 6% es pan y en una familia de ingresos altos es del 5%. Según la encuesta estructural empresarial del INEC (2022), cada año la industria panadera industrializa aproximadamente 48000 toneladas de este producto.

En el trigo, dos de las proteínas presentes forman gluten y le dan al pan su característica elasticidad. El gluten está presente en la harina de trigo y otros cereales como la cebada y el centeno.

La presencia de gluten es un limitante para las personas celíacas. Esta enfermedad deriva en una intolerancia a

las proteínas prolaminas del gluten, mismo que afecta al intestino delgado en niños y adultos predispuestos genéticamente. Las prolaminas son un grupo de proteínas vegetales con gran contenido de prolina. Se encuentra en los cereales, recibiendo diversos nombres en función del cereal: gliadinas en el caso del trigo, hordeínas en caso de la cebada, las secalinas en el centeno y aveninas en la avena.

Las personas que no responden a la dieta pueden desencadenar otras afectaciones como: sobrecrecimiento bacteriano en el intestino delgado, colitis microscópica, mal funcionamiento del páncreas o insuficiencia pancreática, síndrome de colon irritable, dificultad para digerir el azúcar que se encuentra en los productos lácteos (lactosa), el azúcar de mesa (sacarosa), y la fructosa de la miel (NIH, 2020Mayoclinic, 2023)

El pan sin gluten es un pan elaborado con harinas que no presentan gluten. Harinas libres de gluten son compuestas por harinas libres de esta proteína, como harina de arroz, harina de maíz, entre otras.

La elaboración de pan sin gluten requiere del uso de hidrocoloides. Estos

se utilizan para simular la formación de la red de gluten debido a su capacidad para cambiar las características de la masa. Las propiedades viscoelásticas de la masa se ven aumentadas por las propiedades viscoelásticas del hidrocoloide en un medio acuoso. Este efecto depende de la estructura y conformación del hidrocoloide (Tsatsaragkou et al., 202116). La adición de hidrocoloides a las masas sin gluten conduce a un aumento de la viscosidad debido a la capacidad de retención de agua de estas moléculas. También mejora el desarrollo y la retención de gases durante la fermentación. Algunos derivados de celulosa contienen grupos hidrófobos, que tienen afinidad por la fase no polar de la masa. En consecuencia, esto resulta en una actividad interfacial dentro de los límites de las celdas de gas y forma una red durante el horneado. La formación de esta red provoca un aumento de la viscosidad de la masa, una expansión de las paredes celulares y aumenta aún más el volumen del pan (Mir et al., 2016; Sabanis & Tzia, 2010).

Los hidrocoloides utilizados en los alimentos provienen de una amplia gama de materiales como algas

(carrageninas y alginatos), bacterias (goma de xantana), cítricos y manzanas (pectina), extractos de semillas (goma de guar y goma de algarroba), exudados de plantas (goma arábica) y derivados de celulosa [carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y celulosa microcristalina (MCC)]. Todos los hidrocoloides son de alto peso molecular (generalmente carbohidratos) y tienen una gran capacidad para retener el agua (Brites et al., 2018).

Uno de los cereales que no forma gluten es la quinoa (*Chenopodium quinoa wild*). Es un pseudo-cereal perteneciente a la familia *Chenopodiaceae*, también conocido como grano de oro que fue domesticado y utilizado en la dieta de las civilizaciones Tihuanacota e Inca hace más de 5000 años. Existen más de 17 variedades de quinoa que crecen en el norte de Ecuador hasta el sur de Bolivia. La quinoa es de los pocos granos conocidos que provee todos los aminoácidos esenciales para el cuerpo. Es un grano que se ha convertido en objeto de atención en todo el mundo en los últimos años, debido a su valor nutricional y funcional, y su potencial para aplicaciones farmacéuticas (Bhargava et al., 2006; Hirose et 16 al.,

2010; Vega- Gálvez et al., 2010). El valor nutricional de la quinoa es ahora reconocido por sus proteínas de alta calidad (especialmente rica en aminoácidos esenciales) y por su contenido de hidratos de carbono (con un índice glucémico bajo), lo que la da cualidades nutricionales y funcionales superiores a los granos de cereales como el maíz, avena, trigo y arroz (Repo-Carrasco et al., 2003; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010).

El uso de masa madre en la panificación ha ganado un creciente interés debido a su capacidad para mejorar significativamente las características organolépticas de los panes, como el sabor, la textura y el aroma. La masa madre es una mezcla fermentada de harina y agua que contiene microorganismos naturales, principalmente levaduras y bacterias lácticas, responsables de transformar las harinas en productos con perfiles sensoriales complejos y una mayor vida útil (Choque & Neira, 2017). En el caso de panes libres de gluten, donde la ausencia de trigo conduce a cambios de sabor en el producto final, la masa madre puede ser útil para superar estas limitaciones.

La fermentación con masa madre no solo aporta mejoras organolépticas, sino que también incrementa la digestibilidad y los beneficios nutricionales de los panes. Diversos estudios como los de Cerda et al. (2017), Cáceres (2023), Falconi et al. (2024) han demostrado que su aplicación en panes sin gluten, elaborados con harinas como quinoa, arroz o maíz, no solo potencia el perfil aromático, sino que también contribuye a obtener productos más aceptados sensorialmente. Por ejemplo, investigaciones recientes han destacado que la fermentación prolongada en harina de quinoa con masa madre mejora la estructura, reduce la sensación de sequedad y enriquece el aroma del pan, haciendo de esta una alternativa atractiva tanto para el consumidor como para la industria panificadora (Murgueytio & Santacruz, 2020).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el volumen específico, textura instrumental mediante análisis de TPA (Texture profile analysis, por sus siglas en inglés) y características de la miga de pan (área cubierta por los alveolos y número y tamaño de alveolos) a base de harina de quinoa fermentada y cocida. El pan

con mejores características se evaluó adicionalmente por análisis sensorial.

2. Metodología (materiales y métodos)

Para el presente estudio de tipo experimental se adquirió quinoa en un mercado local de la ciudad de Manta.

Preparación de la masa madre

Se inició el proceso de fermentación de la harina de quinoa mezclando 50 g de harina de quinua y 50 g de agua hasta obtener una consistencia pastosa homogénea. Esta mezcla fue alimentada diariamente con 20 g adicionales de harina de quinua y 20 g de agua, manteniendo la mezcla a temperatura ambiente (aprox. 27 °C) para favorecer el desarrollo de la fermentación. El proceso de alimentación continuó hasta que se alcanzó un estado de estabilidad, evaluado mediante el monitoreo de los parámetros de pH y acidez. Una vez estable la mezcla, se consideró apta para proceder con las pruebas de elaboración de la masa de pan.

pH

Para la determinación del pH, se siguió el método descrito en la norma NTE INEN 95:1979 (INEN, 1979), el cual establece

que la medición debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada. Se pesaron al menos 10 g de la muestra previamente preparada en un vidrio de reloj tarado, y luego se transfirió la muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 mL limpio y seco. A continuación, se añadieron 100 mL de agua destilada y se agitó cuidadosamente hasta lograr una suspensión homogénea de las partículas. La mezcla se agitó ocasionalmente durante 30 minutos y posteriormente se dejó en reposo por 10 minutos. Seguidamente, se decantó el líquido sobrenadante en un vaso limpio y seco, y se procedió a medir el pH mediante un potenciómetro de lectura directa.

Acidez

La acidez fue determinada mediante el método de titulación por valoración directa con hidróxido de sodio 0,1 N, utilizando como indicador una solución alcohólica de fenolftaleína al 1 %. Se agregaron 10 mL de la muestra previamente preparada para la medición de pH en un matraz Erlenmeyer, seguido de la adición de 3 gotas de fenolftaleína. La titulación se realizó añadiendo lentamente hidróxido de sodio mientras

se agitaba de manera continua, hasta observar un cambio de color a un tono rosado pálido.

Para la determinación de acidez, se empleó la siguiente ecuación:

$$\%acidez = \frac{(V \text{ NaOH} * Normalidad \text{ NaOH} * meq \text{ ácido})}{V \text{ muestra}} * 100$$

Donde

V NaOH: Volumen en de NaOH consumido:

meq ácido (ácido láctico): 0,09 meq/L

V muestra: Volumen de muestra

Preparación del pan sin gluten a base de harina de quinoa

Para la elaboración del pan a base de harina de quinoa en primer lugar, se preparó una mezcla inicial de harina de quinoa y agua en una proporción 1:4, con 50 g de harina de quinoa y 200 g de agua (Tabla 1). La mezcla se llevó a ebullición durante 10 minutos. Los ingredientes secos como la harina de quinoa cruda, harina de arroz, sal, azúcar (Tabla 1) se combinaron y se mezclaron previa su adición a la harina cocida. Los otros ingredientes como comino molido, orégano y mostaza se añadieron poco a

poco mezclando manualmente. Posteriormente, y para obtener una masa homogénea se utilizó una batidora eléctrica (Oster, EE.UU.) a una velocidad media por 6 minutos. La mezcla obtenida se colocó en un recipiente engrasado, cubriéndola con un paño húmedo para mantener las condiciones de humedad, y se dejó en reposo durante 1 hora en un ambiente cálido (aproximadamente 26 °C). A continuación, se colocó 100 g de la mezcla en un molde de acero inoxidable previamente harinado y se dejó fermentar durante 1 hora a una temperatura de 27 °C. Finalmente, el pan se horneó en un horno precalentado a 200 °C durante 90 minutos, realizando incisiones en la superficie para facilitar la expansión. El horneado se dio por finalizado cuando el pan alcanzó una coloración dorada en la corteza y se obtuvo con el termómetro una temperatura interna del pan de 96 °C, asegurando así su cocción adecuada. Tras la cocción, el pan fue enfriado en una rejilla para estabilizar su textura y evitar la condensación en la base.

Tabla 1. Ingredientes de pan sin gluten a base de harina de quinoa

Ingrediente	Masa (g)	Porcentaje
Harina de quinoa cocida	50	25
Harina de quinoa cruda	68	50
Harina de arroz	68	25
Sal	5	2,8
Azúcar	12	10
Manteca vegetal	6	3,4
Levadura seca	4	2,3
Goma xantana	1,13	0,6
Orégano	5	2,8
Mostaza	4	2,3
Comino molido	2	1,14

Diseño experimental

El diseño experimental correspondió a un diseño bifactorial completamente al azar en el que las variables independientes fueron porcentaje de

harina fermentada con 2 niveles (35, 50 %) y porcentaje de harina cocida con 2 niveles (25, 35 %), dando como resultado 4 tratamientos (Tabla 2) y 12 unidades experimentales.

Tabla 2. Diseño experimental para la elaboración del pan con harina de quinoa cocida y fermentada

Tratamientos	Harina fermentada (%)	Harina cocida (%)
1	35	25
2	50	35
3	35	35
4	50	25

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se realizó un Anova y una prueba de medias de Tukey al 5%, empleando el software estadístico de InfoStat.

Volumen específico

El volumen específico fue determinado mediante el método de desplazamiento de semillas, calculándose como el

cociente entre el volumen del pan, expresado en centímetros cúbicos (cm³), y su masa en gramos (g), de acuerdo con el modelo matemático de volumen-masa (Street, 1991; Weining et al., 2008; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1980; Murgueytio & Santacruz, 2020).

Análisis de textura instrumental

La textura de los panes fue determinada mediante el análisis de perfil de textura

utilizando un texturómetro ShimadzuBrookfield CT3 Texture Analyzer (Shimadzu, JapónBrookfield Engineering Laboratories, Inc., MA, EUA) y el software TexturePro CT V1.2 Build 9. Para esta evaluación, los panes se almacenaron durante un día a temperatura ambiente (aprox. °26 C) en bolsas de polietileno y posteriormente se rebanaron transversalmente con un cuchillo en rodajas de 2,5 cm de espesor. Cada rebanada se colocó en el texturómetro y se analizó la textura de la miga siguiendo las especificaciones del fabricante (Shimadzu, Japón) para un análisis de perfil de textura. Las condiciones de calibración incluyeron una compresión del 40 %, uso de una sonda de 25,4 mm de diámetro; celda de carga de 10000 g de fuerza; carga de activación de 5,0 g de fuerza; velocidad de ensayo de $1,67 \text{ mm s}^{-1}$; velocidad pre y post-ensayo de 2 mm s^{-1} ; tiempo de recuperación de 12 s; y ciclos de compresión de dos repeticiones, registrando la fuerza aplicada durante la compresión. Los parámetros evaluados en el análisis incluyeron dureza, cohesividad, masticabilidad y elasticidad (Murgueytio & Santacruz, 2020).

Estructura de la miga

Las características de la miga fueron determinadas mediante análisis de imágenes digitales según Sciarini (2011). Se escaneó una sección transversal de una muestra de pan (escáner Epson, Epson America, Inc., Long Beach CA, EE. UU.) y una sección de la imagen escaneada se analizó con un software Image J 1.48f (National Health Institute, EE. UU.). Los resultados obtenidos fueron cargados y analizados mediante el software PeakFit v4 (Jandel Scientific, San Rafael, EE.UU.). Se determinó el número de alveolos en la superficie análisis, porcentaje de área cubierta por los alveolos y el tamaño promedio de los alvéolos.

Análisis sensorial

Para determinar las características sensoriales se trabajó con un panel de 12 panelistas semientrenados de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Primeramente, se realizó una prueba dúo trío (Hernández, 2005.) para establecer diferencias entre el pan de quinoa con un control de harina de trigo. Seguidamente, las características del pan de quinoa como

color, sabor, textura y aroma se evaluaron haciendo uso de una escala hedónica adaptada de 9 puntos donde la menor valoración fue me disgusta mucho (valor de 1) hasta me gusta mucho (valor de 9) (Hernández, 2005.)

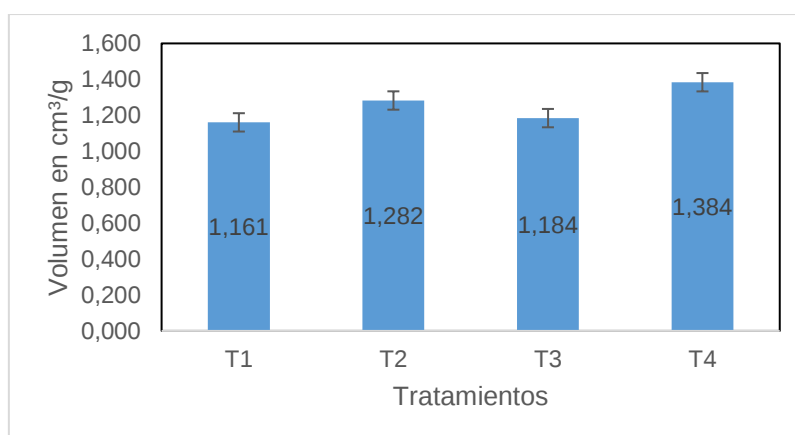
3. Resultados y discusión

Volumen específico

El análisis del volumen específico no reveló diferencias entre los tratamientos (figura 1) ($p < 0,05$). Este resultado podría explicarse por el comportamiento funcional de las harinas de quinoa, cuya estructura proteica y contenido de almidón, independientemente de su estado fermentado o cocido, contribuyen de manera similar a la retención de gases y al desarrollo de la miga durante la fermentación y el horneado (Luz et al., 2022). En particular, durante la fermentación, se generan compuestos como ácidos orgánicos que interactúan con los almidones, fortaleciendo la red de gelificación y proporcionando mayor flexibilidad a la masa (Dorado et al., 2024). Esta propiedad es crucial en panes sin gluten, ya que compensa la ausencia de gluten contribuyendo al desarrollo de volumen. La influencia de

las modificaciones estructurales de las harinas cocidas y fermentadas, como la gelatinización del almidón en las cocidas o la producción de metabolitos en las fermentadas, pudo haber sido insuficiente para generar diferencias en la capacidad de retención de gases (Villar, 2021). Además, es posible que las proporciones utilizadas de harina cocida y fermentada hayan estado dentro de un rango en el que los efectos de ambos tratamientos se equilibraron. Por ejemplo, la harina cocida puede haber proporcionado una matriz más estable debido a la gelatinización parcial de almidón, mientras que los compuestos generados durante la fermentación pudieron haber mejorado el desarrollo de la masa, compensando cualquier diferencia que pudiera haber surgido por la variación en las proporciones.

Figura 1. Volumen específico de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida.

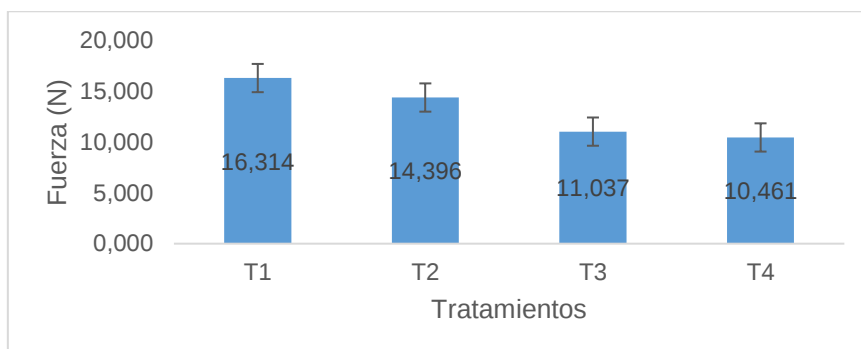


Análisis textura instrumental

En la figura 2, el análisis de dureza mostró diferencias entre los tratamientos, con valores que oscilaron entre 10,461 N (Tratamiento 4) y 16,314 N (Tratamiento 1) ($p < 0,05$). La menor dureza observada en el tratamiento 4 puede atribuirse a la mayor proporción de harina fermentada (50 %) y la menor cantidad de harina cocida (25 %) (Rodríguez, 2024). La fermentación mejora la matriz proteica del pan sin gluten al generar compuestos que ablandan la miga, como ácidos orgánicos y enzimas que degradan parcialmente los polisacáridos estructurales (Moroni et al., 2009). Además, la menor proporción de harina cocida podría haber reducido la densidad de la masa, permitiendo una estructura más porosa y menos compacta, lo que resulta en una textura más suave. Por otro lado, los

tratamientos con mayor dureza, como el tratamiento 1, se ven afectados por el uso equilibrado de harina fermentada y cocida (35 % cada una), lo que puede haber limitado el desarrollo de una estructura ligera y aireada, incrementando la rigidez de la miga. Esto coincide con investigaciones previas que indican que la fermentación prolongada y adecuada es crucial para mejorar la suavidad de los panes sin gluten (Gebremedihin, & Abera, 2017). En este contexto, el Tratamiento 4 es nuevamente el más destacado, ofreciendo una dureza significativamente menor, lo que lo convierte en la opción más adecuada para consumidores que prefieren una textura más suave en panes sin gluten.

Figura 2. Dureza de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida

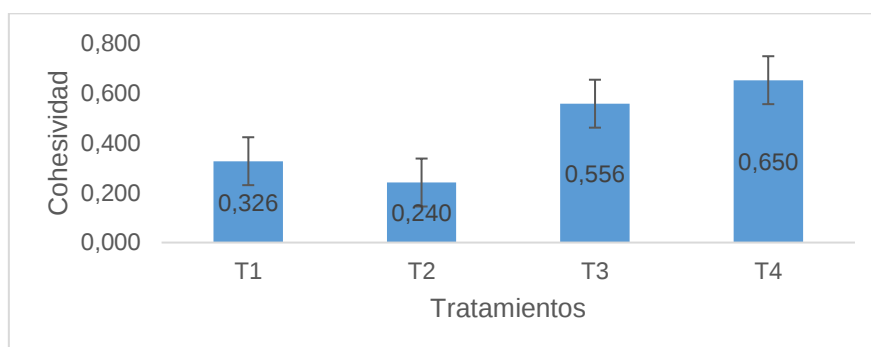


Cohesividad

En la figura 3, los resultados del análisis de cohesividad mostraron diferencias entre los tratamientos ($p < 0,05$), con valores que variaron entre 0,240 (Tratamiento 2) y 0,650 (Tratamiento 4). Se observó una mayor cohesividad en los tratamientos con mayor proporción de harina fermentada. Este resultado puede atribuirse a los efectos de la fermentación en la red de almidón y

proteínas de las harinas sin gluten, que promueve una matriz más uniforme y estructurada, aumentando la resistencia interna de la miga (Ronda et al., 2015). En contraste, el Tratamiento 2, que mostró el menor valor de cohesividad, podría deberse a que la harina cocida tiende a desestructurar parcialmente los almidones y proteínas, reduciendo su capacidad para formar enlaces estables y homogéneos (Capriles & Areas, 2016)

Figura 3. Cohesividad de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida



Elasticidad

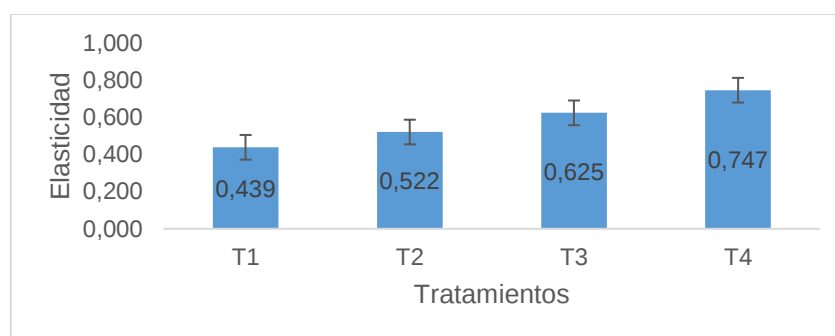
En la figura 4 el análisis de elasticidad, los valores oscilaron entre 0,439 (Tratamiento 1) y 0,747 (Tratamiento 4)

($p < 0,05$), con una clara tendencia hacia una mayor elasticidad en los tratamientos con una proporción más alta de harina fermentada. Los

resultados destacan al Tratamiento 4 como el de mayor elasticidad lo que quiere decir que a deformarse más y volver a su posición original, característica propia de los panes de trigo. El Tratamiento con la elasticidad más alta puede explicarse por los beneficios de la fermentación en la estructura de la miga. Durante la

fermentación, se generan compuestos como ácidos orgánicos que interactúan con los almidones, fortaleciendo la red de gelificación y proporcionando mayor flexibilidad a la masa (Dorado et al., 2024). Esta propiedad es crucial en panes sin gluten, ya que compensa la ausencia de gluten al mejorar la cohesión y elasticidad de la miga.

Figura 4. Elasticidad de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida

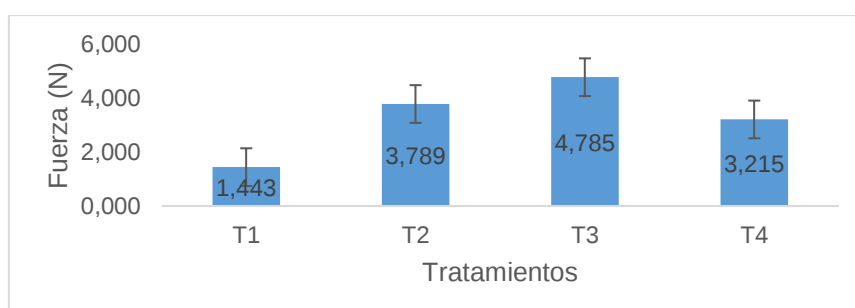


Masticabilidad

En la figura 5 el análisis de masticabilidad, los valores variaron entre 1,443 (Tratamiento 1) y 4,785 (Tratamiento 3). Las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). El Tratamiento 3, con la masticabilidad más alta, puede atribuir

su valor a una mayor proporción de harina cocida, lo que contribuye a una red más compacta, debido al efecto gelificante de los almidones gelatinizados, lo que incrementa la fuerza necesaria para desintegrar la miga durante la masticación (Capriles & Areas, 2016).

Figura 5. Masticabilidad de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida



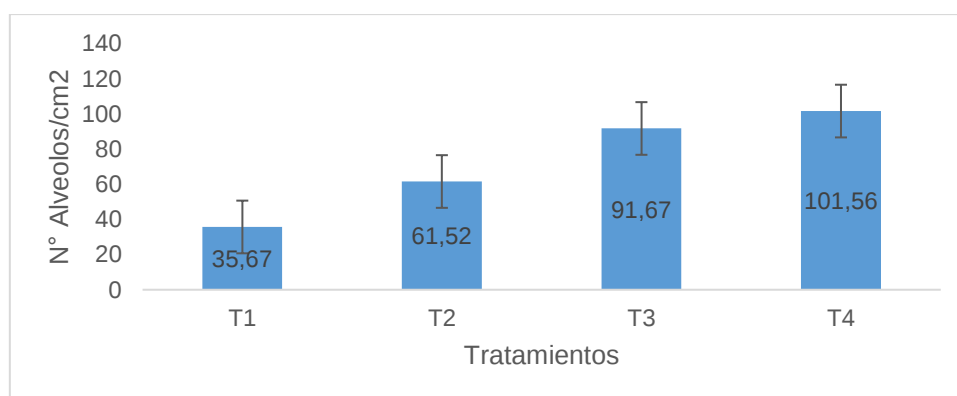
Miga

En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para el número de alveolos en una superficie de 9 cm² mostraron una variación significativa entre los tratamientos, desde 35,67 alveolos/cm² en el Tratamiento 1 hasta 101,56 alveolos/cm² en el Tratamiento 4. Estos valores muestran que el Tratamiento 4, con la mayor cantidad de alveolos por unidad de superficie, resultó en una miga más aireada y uniforme, lo que puede atribuirse a su mayor proporción de harina fermentada (50 %), que favorece la producción de dióxido de carbono durante la fermentación y mejora la elasticidad de la masa,

permitiendo una mejor retención de los gases formados (Katina et al., 2006).

Por otro lado, el Tratamiento 1 presentó el menor número de alveolos, lo que indica una miga más compacta. Esto podría explicarse por el menor contenido de harina fermentada y el equilibrio entre las harinas fermentada y cocida, que no favoreció de manera óptima la formación de una estructura aireada. Este comportamiento es consistente con estudios previos que sugieren que una fermentación insuficiente puede limitar la expansión adecuada de la miga en panes sin gluten (Ronda et al., 2015).

Figura 6. Numero de alveolos/cm² en pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida



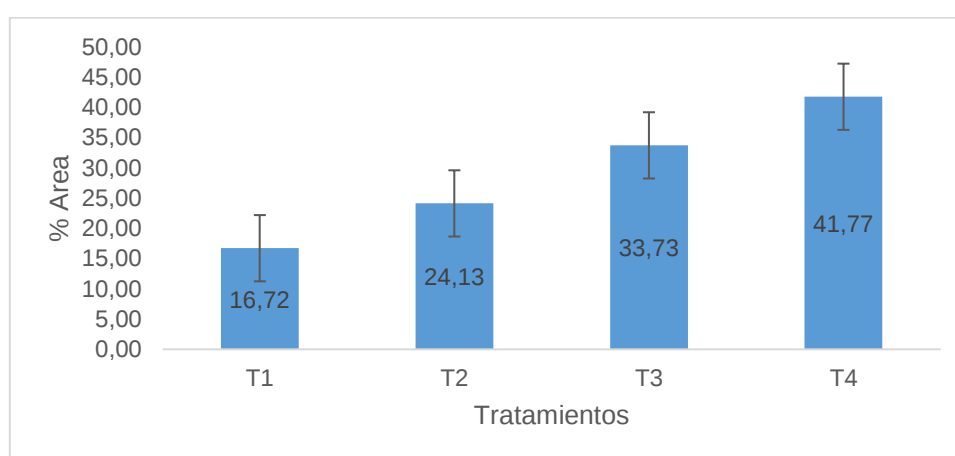
En la figura 7 se observa el porcentaje de área cubierta por alveolos es un indicador clave de la calidad de la miga, ya que refleja el grado de aireación y la estructura interna del pan. En este

estudio, los valores obtenidos para el área cubierta por alveolos variaron significativamente entre los tratamientos, con un rango que fue desde 16,723 % en el Tratamiento 1

hasta 41,774 % en el Tratamiento 4. El Tratamiento 4 mostró una miga con una mayor cantidad de alveolos distribuidos uniformemente, lo que sugiere una estructura más aireada y ligera. Esto puede atribuirse a la mayor proporción de harina fermentada (50 %), que promueve una mejor retención de gas

durante el proceso de fermentación, favoreciendo la expansión de la miga. La fermentación mejora la formación de burbujas de gas dentro de la masa, lo que genera una miga más ligera y con mayor área cubierta por alveolos (Katina et al., 2006).

Figura 7. Porcentaje de área cubierta por alveolos en pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida



En la figura 8, los resultados obtenidos mostraron una variación significativa entre los tratamientos, con el Tratamiento 1 alcanzando un tamaño promedio de alveolos de 53,358 μm , y el Tratamiento 4 alcanzando 110,536 μm .

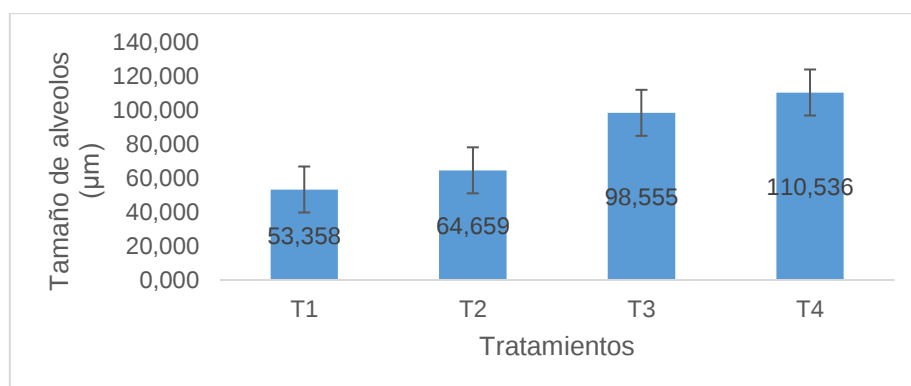
En cuanto al número de alveolos, el tratamiento 4, con la mayor proporción de harina cocida, presentó el valor más elevado (101,56/cm²), seguido del tratamiento 3 con 91,67/cm² alveolos. Este resultado evidencia que las masas con mayores proporciones de harina

cocida favorecen una mayor capacidad para formar burbujas de aire, debido probablemente a la gelatinización parcial del almidón, que mejora la retención de gases durante el horneado (Orlandini, 2021). Sin embargo, estas burbujas no siempre se tradujeron en alveolos uniformes, como lo demuestra el análisis del tamaño promedio. El tratamiento 1 presentó el menor tamaño promedio de alveolos (53,358 μm), mientras que el tratamiento 4 tuvo los alveolos más grandes (110,53 μm). Este contraste puede explicarse por la

mayor cantidad de harina cocida en T4, que tiende a aumentar la elasticidad de la masa, permitiendo la formación de alveolos más grandes, pero menos numerosos, lo que dio lugar a una estructura más abierta y heterogénea. El tratamiento 3, con una proporción intermedia de harina fermentada y cocida, mostró valores intermedios del número de alveolos (91,67/cm²) y el tamaño promedio (98,555 μ m). Esta combinación podría dar como resultado una estructura más uniforme, lo que repercute en las características sensoriales. Esto se alinea con la literatura que sugiere que la fermentación mejora la retención de gas, mientras que la harina cocida aporta estabilidad a la red de almidón (Céspedes, 2021). El tratamiento 2 también presentó resultados intermedios, con un número

considerable de alveolos (61,52/cm²) y un tamaño promedio más grande que el T1 (64,659 μ m). Sin embargo, el equilibrio no fue tan favorable como en T3, lo que podría reflejarse en una textura menos homogénea y aireada. En general, los resultados sugieren que la interacción entre el número y tamaño de alveolos es crítica para determinar la calidad sensorial del pan sin gluten. Aunque T4 presentó la mayor cantidad de alveolos, su gran tamaño podría ser percibido como menos atractivo por los consumidores, debido a una textura más densa. Estos hallazgos refuerzan la importancia de optimizar la proporción de harina fermentada y cocida en formulaciones sin gluten para obtener características comparables a las del pan convencional, como una estructura uniforme y una textura ligera y aireada (Rodríguez, 2021).

Figura 8. *Tamaño promedio de alveolos en pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida*



Ponderación

Con el fin de identificar cuál es el tratamiento que ha obtenido las mejores características se procedió a realizar una ponderación (Tabla 34). El mejor tratamiento de la ponderación se sometió a una evaluación sensorial. Se ordenó dependiendo de la importancia del parámetro de acorde a las características que queremos dar a nuestro pan. Siendo así la cohesividad la de menor importancia con un valor de 1 punto, masticabilidad 2 puntos, tamaño de los alveolos 3 puntos, número de alveolos 4 puntos, de área ocupada por alveolos 5 puntos, elasticidad 6 puntos, dureza 7 puntos y volumen específico 8 puntos. Justificando la calificación decimos que la cohesividad, que mide la capacidad de la masa para mantenerse unida tras ser comprimida, tiene menor relevancia en este caso porque no influye de manera significativa en las características deseadas en el pan final, como el volumen o la estructura interna. Aunque es importante para la percepción de textura, su influencia es secundaria comparada con otros parámetros; En la masticabilidad en este parámetro, que refleja la cantidad de trabajo necesario para romper el

alimento antes de tragarlo, tiene un peso moderado porque una masticabilidad adecuada contribuye a la aceptación sensorial del pan. Sin embargo, no es prioritario en comparación con atributos como el volumen específico o la elasticidad, que determinan la percepción inicial del producto. El tamaño de los alveolos afecta la textura y la percepción visual del pan, pero su relevancia es intermedia, ya que lo más importante es el equilibrio con el número de alveolos para lograr una estructura interna uniforme y aireada; El número de alveolos, este parámetro tiene mayor importancia porque un mayor número de alveolos, bien distribuidos, está asociado con una textura ligera y homogénea, características deseadas en un pan sin gluten que busca asemejarse al pan tradicional; el porcentaje de área ocupada por alveolos este indicador mide qué tanto espacio interno del pan está ocupado por los alveolos y está directamente relacionado con la percepción de ligereza y aireación. Un pan con un porcentaje adecuado de área alveolar es más atractivo sensorialmente; La elasticidad es crucial en panes sin gluten porque está relacionada con la capacidad de la miga

para recuperarse tras la compresión, lo que mejora la percepción de frescura. Su importancia es superior a la de parámetros como la cohesividad o el tamaño de los alveolos, ya que influye directamente en la textura y aceptación; La dureza mide la resistencia inicial al ser comprimido y es fundamental para determinar la sensación en boca. Un pan demasiado duro o blando puede ser menos aceptado, por lo que este parámetro es decisivo para lograr un

balance adecuado entre firmeza y suavidad; En el volumen específico este es el parámetro más importante, ya que un buen volumen específico es un indicador clave de la calidad del pan, especialmente en productos sin gluten, donde es más difícil lograr una expansión adecuada. El volumen específico influye tanto en la apariencia como en la textura del pan, aspectos críticos para la aceptación del consumidor.

Tabla 3. Valores de ponderación de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida

Parámetro	Valor de ponderación
Volumen específico	8
Dureza	7
Elasticidad	6
Área ocupada por alveolos	5
Número alveolos	4
Tamaño alveolos	3
Masticabilidad	2
Cohesividad	1

La ponderación es una medida integral que evalúa el rendimiento global de un tratamiento en función de varios parámetros sensoriales y físicos del pan, como el volumen, la textura, la cohesividad, entre otros. En este estudio, el tratamiento cuatro, compuesto por una mezcla de 50 % de harina fermentada y 25 % de harina cocida, resultó ser el mejor en términos de ponderación (Tabla 45) dado que

obtuvo el mejor resultado con una calificación de 33 puntos sobre los 36 totales que sería la puntuación máxima, seguido de los tratamientos 3, 2 y 1, con menores calificaciones.

Tabla 4. Ponderación de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida

TRATAMIENTOS	V	D	E	%	#	T	M	C	TOTAL
1	0	0	0	0	0	3	2	0	5
2	8	0	0	0	0	3	0	0	11
3	0	7	6	5	4	0	0	1	23
4	8	7	6	5	4	0	2	1	33

V= volumen específico, D= dureza, E= elasticidad, %= porcentaje de área, #= n° de alveolos, T= tamaño, M=masticabilidad, C= cohesividad

Evaluación sensorial

El tratamiento 4, compuesto por 50 % de harina fermentada y 25 % de harina cocida, obtuvo calificaciones en el rango del gusto por el pan en todos los atributos evaluados. Los resultados (Tabla 56) muestran que la calificación en textura fue de 8 equivalente a “me

gusta mucho”, la de aroma, color y sabor tuvieron una calificación de 7 correspondiente a “me gusta moderadamente”. Los resultados sugieren que la combinación del tratamiento 4 de harina fermentada y cocida optimiza la calidad sensorial del pan sin gluten, logrando que tenga más preferencia por los consumidores.

Tabla 5. Análisis sensorial de pan a base de harina de quinoa fermentada y cocida. Número de panelistas que califican una característica organoléptica

	SABOR	COLOR	AROMA	TEXTURA
Me gusta muchísimo	0	3	1	2
Me gusta mucho	2	2	4	5
Me gusta moderadamente	5	5	4	2
Me gusta un poco	4	1	3	3
Ni me gusta ni me disgusta	1	1	0	0
Me disgusta un poco	0	0	0	0
Me disgusta moderadamente	0	0	0	0
Me disgusta mucho	0	0	0	0
Me disgusta muchísimo	0	0	0	0

El análisis de las características sensoriales del pan sin gluten a base de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) permitió identificar el impacto significativo de las proporciones de harina fermentada y cocida en los

atributos organolépticos del producto. Los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos demuestran que las modificaciones en la composición de las harinas influyen de manera directa en la calidad percibida del pan. Estas

observaciones son consistentes con estudios previos que destacan la importancia de las técnicas de fermentación y cocción en la mejora de la textura, sabor y aceptabilidad de productos libres de gluten (Zegarra et al., 2019).

El Tratamiento 4 mostró la mejor calidad en términos de aireación y uniformidad de la miga, destacándose por su mayor cantidad de alveolos, lo que mejora significativamente las características sensoriales y la aceptación del producto final. Este hallazgo coincide con investigaciones que han demostrado la preferencia del consumidor por productos libres de gluten que simulen las propiedades sensoriales de los panes tradicionales (Zegarra et al., 2019).

4. Conclusiones

El estudio sobre las características sensoriales y físicos del pan sin gluten elaborado a base de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) permitió identificar al tratamiento 4 (50 % de harina fermentada y 25 % de harina cocida) como el mejor. Este tratamiento destacó por combinar de manera efectiva las proporciones de harina fermentada y cocida, logrando

características superiores en los análisis físicos realizados.

El análisis de volumen específico mostró que el tratamiento 4 presentó el mayor valor, atributo clave para la aceptación visual.

En cuanto a la textura instrumental, el tratamiento cuatro se caracterizó por una dureza moderada, acompañada de niveles superiores de cohesividad y elasticidad. Estas propiedades permitieron que el pan tuviera una textura uniforme y agradable tanto al tacto como al consumo, siendo menos quebradizo y más resiliente frente a la compresión. La cohesividad y masticabilidad destacaron especialmente, garantizando una sensación uniforme en boca y una experiencia sensorial cercana a la de los panes tradicionales.

El análisis de estructura de la miga mediante imágenes digitales confirmó que el tratamiento 4 tuvo un mayor número y distribución de alveolos, con una mayor proporción de área cubierta por estos. Esto contribuyó a una miga suave y estructurada, mejorando su apariencia y funcionalidad.

Finalmente, los resultados del análisis sensorial mostraron que el tratamiento

cuatro obtuvo las calificaciones moderadamente altas en todos los atributos evaluados. Las puntuaciones en color, textura, sabor, aroma y apariencia general indicaron una alta aceptación, siendo estos factores determinantes para considerarlo como una alternativa entre consumidores con necesidades dietéticas específicas.

Bibliografía

Arendt, E. K., Ryan, L. A., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24(2), 165-174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002006001614>

Cáceres, R. (2023). Elaboración de pan para celiacos con harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y maíz (*Zea mays*), y evaluación comparativa de algunas de sus propiedades fisicoquímicas con las del pan de harina de trigo (*Triticum durum* L.). <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8692>

Capriles, D., & Areas, G. (2016). Approaches to reduce the glycemic response of gluten-free products: In vivo and in vitro studies. *Food & Function*, 7(3), 1266-1272. <https://pubs.rsc.org/en/content/>

[articlelanding/2016/fo/c5fo01264c/unauth](https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/fo/c5fo01264c/unauth)

Cerda, L., Cerda, V., Rosales, P., Miranda, M., & Martínez, P. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 6(3), 201-216.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6413712>

Céspedes, C. (2021). Evaluación de las características nutricionales, físicas y sensoriales del pan molde con sustitución parcial de harina de basul (*Erythrina edulis*) germinado.

<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/985>

Choque, L., & Neira, M. (2017). Efecto de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) en la formulación de pan sin gluten con transglutaminasa e hidroxipropilmetilcelulosa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/a72ddeca-a1d9-435e-83cf-de949f695883>

Dorado, G., Olivas, L., Sánchez, P., Hidalgo, P., Moreno, R., & Madrigales-Reátiga, L. (2024). Elaboración de harina de amaranto extrudido como ingrediente para la elaboración

- de pan libre de gluten: Pan sin gluten fortificado con amaranto. Revista Bio Ciencias. <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/1695>
- Luz, P. R. A., Carolina, T. R., Elverling, T. B., Enrique, B. R. G., & Ronald, M. F. (2022). Propiedades reológicas de un producto de galletería a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*). Revista@Limentech: Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN Impreso, 1692-7125. <https://acortar.link/wUlcU0>
- Falconí, P., Parra, M., Núñez, Z., & Guevara, V. (2024). Chocho, quinua, haba y maíz como materias primas para la elaboración de harinas. Polo del Conocimiento, 9(2), 147-174. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6515>
- García G., Alarcón T., Ramírez B., Moreno, E., Arroyo, P., & Figueroa, S. (2024). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan libre de gluten a base de pseudocereales y subproducto de la agroindustria. European Public & Social Innovation Review, 9, 1-16. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1172>
- Gebremedihin, B., & Abera, G. (2024). Quality assessment of gluten-free sorghum bread prepared with sourdough and the addition of sweet lupin flour. CyTA-Journal of Food, 22(1), 2397022. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2397022>
- Hernández, E. (2005). Evaluación sensorial. Bogotá, DC. Centro Nacional de Medios para el Aprendizaje. <https://acortar.link/G1no2r>
- INEC (2022). Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos. Encuesta empresarial-2022. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-estructural-empresarial-2022/>
- INEN (1979). Pan común. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Katina, K., Heiniö, R. L., Autio, K., & Poutanen, K. (2006). Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. LWT-Food Science and Technology, 39(10), 1189-1202. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.001>
- Martínez, J. N., & Jalilie, S. P. (2020). Elaboración y caracterización de pan de molde a base de harina de chía (*salvia hispánica* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* wild). Revista Gipama, 2(1), 44-53.

- <https://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/3236>
- Moroni, V., Dal Bello, F., & Arendt, K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue?. *Food microbiology*, 26(7), 676-684.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.001>
- Murgueytio, E., & Santacruz, S. (2020). Volume, firmness and crumb characteristics of gluten-free bread based on extruded quinoa flour and lactic acid. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019220.
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.22019>
- NIH. (2020). National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Celiac disease. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-digestivas/enfermedad-celiaca>
- Orlandini, M. (2022). Efecto de la adición de harina de arroz modificada mediante altas presiones hidrostáticas en la calidad del pan sin gluten. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/55687>
- Villar, N. (2021). Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinoa.
<http://hdl.handle.net/10251/175400>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. & Jacobsen, S. -E. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19, 179-189.
<https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Rodríguez, E. (2021). Evaluación del grado de sustitución de la harina de trigo (*Triticum durum* L.) por harina de loche (*Cucurbita moschata* Duch.) en la elaboración de pan de molde. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8220>
- Rodríguez, H. (2024). Efecto de la sustitución parcial de la harina de arroz (*Oriza sativa*) por harina de plátano verde (*Musa paradisiaca*) variedad Hartón y harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general en galletas dulces sin gluten.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/17872>
- Ronda, F., Perez-Quirce, S., Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2015). Effect of barley and oat β -glucan concentrates on gluten-free rice-

- based doughs and bread characteristics. Food hydrocolloids, 48, 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.031>
- Sabanis, D. and Tzia, C. (2011). Effect of Hydrocolloids on Selected Properties of Gluten-Free Dough and Bread. Food Science and Technology, 17(4), 279-291. <https://doi.org/10.1177/1082013210382350>
- Schoenlechner, R., Bender, D., D'Amico, S., Kinner, M., Tömösközi, S., & Yamsaengsung, R. (2023). Dry Fractionation and Gluten-Free Sourdough Bread Baking from Quinoa and Sorghum. Foods, 12(16). <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/16/3125>
- Sciarini, L. S. (2011). Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten. (Tesis). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Suárez, E. (2024). Efecto del tiempo de fermentación de la masa madre sobre las características organolépticas del pan tipo tapado (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos). <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/16/3125>
- Tsatsaragkou, K., Methven, L. & Rodriguez-Garcia, J. (2021). The Functionality of Inulin as a Sugar Replacer in Cakes and Biscuits; Highlighting the Influence of Differences in Degree of Polymerisation on the Properties of Cake Batter and Product. Foods, 10(5), 951. <https://doi.org/10.3390/foods10050951>
- Vasquez, F., Verdú, S., Islas, R., Barat, M., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. Revista iberoamericana de tecnología postcosecha, 17(2), 307-317. <https://riunet.upv.es/handle/10251/113263>
- Verdú, S., Islas, A., & Cordero, D. (n.d.). Utilización de fibra de avena con diferente tamaño de partícula en panificación: efecto reológico y textural. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1954>
- Villar, N. (2021). Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinoa. <http://hdl.handle.net/10251/175400>

Zegarra, S., Muñoz, A., & Ramos, F.
(2019). Elaboración de un pan
libre de gluten a base de harina
de cañihua (*Chenopodium
pallidicaule* Aellen) y evaluación
de la aceptabilidad sensorial.
Revista chilena de nutrición,
46(5), 561-570.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>