

Efecto de la fermentación en las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de harinas de granos andinos para su uso en la industria panadera

Néstor Javier Sánchez Cabiativa

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e ingeniería ECBTI

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá, Colombia

2024

Efecto de la fermentación en las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de harinas de granos andinos para su uso en la industria panadera

Néstor Javier Sánchez Cabiativa

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero de Alimentos

Director (a):

Ruth Mary Benavides Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e ingeniería ECBTI

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá, Colombia

2024

Dedicatoria

Una dedicatoria especial a mis hijos Sarah y Axel a mi madre Clemencia, de quienes he recibido su gran fortaleza y apoyo incondicional en este proceso tan maravilloso, son el principal motor que me permitió avanzar incluso en los momentos más difíciles. Gracias desde el fondo de mi corazón.

Agradecimientos

Agradecimiento principal a Dios quien es el ser que me dio la vida y designo este propósito en mi camino a mi madre Clemencia por su continuo apoyo. Por sus consejos, sus valores y su constante motivación, esto me convierte en una buena persona, pero lo más importante es el amor por él, a mis hijos Sarah y Axel que son el principal motivo de seguir con este proyecto de vida. Agradezco especial a la ingeniera Ruth Mary Benavides Guevara por su concejo y aporte al momento de comenzar con este proyecto y el acompañamiento dado hasta el momento. Su motivación es crucial para escribir la monografía.

Quiero agradecer a los tutores que en toda mi estadía en la universidad estuvieron como guía para poder avanzar firmemente durante todo este tiempo de mi carrera por ser una fuente de motivación y aliento para presentar esta monografía como proyecto final, muchas gracias.

Agradezco a mis compañeros de universidad por ser un apoyo en trabajos grupales, laboratorios y en varias inquietudes que salían al trascurso de la carrera, a las empresas donde estuve vinculado al trascurso de mi estadía en la universidad ya que fue el principal factor para continuar con mis estudios.

Resumen

Actualmente, el consumo de productos sin gluten se ha incrementado tanto para personas celiacas como consumidores con dietas saludables. Es evidente que se debe revisar otras harinas como nuevas alternativas para ser aplicadas en la industria panadera, así como otras fuentes de orígenes vegetales naturales, diferentes a los cereales tradicionales. Los granos andinos como la quinua, amaranto y la cañihua pueden ser una opción favorable debido a su alta fuente de macronutrientes y micronutrientes, que se caracterizan por una proteína de alta calidad en comparación a otros cereales típicos que se pueden emplear en la industria panadera, sin embargo, es necesario revisar cómo pueden influir en las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales en el desarrollo de productos de panadería.

Dado lo anterior en la siguiente monografía se realizó una vigilancia tecnológica sobre el impacto o efecto de la fermentación en las características nutricionales y fisicoquímicas de harinas alternativas para aplicación en la industria panadera. Se encontró en la revisión que las harinas presentan propiedades tecnofuncionales apropiadas para la panificación, igual, se analizó la influencia de la fermentación en las masas de harinas alternativas, al lograr concluir que se puede obtener productos 100% libres de gluten, con características nutricionales y fisicoquímicas favorables para los consumidores, ya que permite un incremento en la proteína, aminoácidos esenciales, mejora en la digestibilidad, entre otros, concluyendo que se puede aplicar un bioproceso en la industria panadera para el desarrollo de productos innovadores.

Palabras clave: Bioproceso, pseudocereales, harinas alternativas

Abstract

Currently, the consumption of gluten-free products has increased for both celiac individuals and health-conscious consumers. It is evident that other flours should be examined as new alternatives to be applied in the bakery industry, as well as other sources of natural plant origin, different from traditional cereals. Andean grains such as quinoa, amaranth, and canihua may be a favorable option due to their high content of macro and micronutrients, characterized by high-quality protein compared to other typical cereals used in the bakery industry. However, it is necessary to review how they can influence the physicochemical, nutritional, and sensory properties in the development of bakery products.

Given the above, in the following monograph, technological surveillance was carried out on the impact or effect of fermentation on the nutritional and physicochemical characteristics of alternative flours for application in the bakery industry. It was found in the review that the flours have appropriate techno-functional properties for baking. Likewise, the influence of fermentation on the doughs of alternative flours was analyzed, leading to the conclusion that it is possible to obtain 100% gluten-free products, with favorable nutritional and physicochemical characteristics for consumers, as it allows an increase in protein, essential amino acids, improved digestibility, among other benefits. In conclusion, it is feasible to apply a bioprocess in the bakery industry for the development of innovative products

Keywords: Bioprocess, pseudocereals, alternative flours

Contenido

Introducción	11
Problema de Investigación y Justificación.....	13
Objetivos.....	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos.....	16
Marco Teórico	17
Generalidades de los Granos Andinos	17
La Quinoa (<i>Chenopodium quínoa</i> . Willd).....	18
Características Físicas y Químicas de la Quinoa.....	19
Propiedades Nutricionales de la Quinoa.....	20
Producción de la quinoa	21
La Cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i> aellen).....	23
Características fisiológicas de la Cañihua	24
Producción de la Cañihua	25
Propiedades nutricionales de la Cañihua	26
El amaranto o kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>)	26
Producción de amaranto	27
Características fisicoquímicas del amaranto.....	28
Propiedades nutricionales del amaranto	29

Cultivos de Cereales Iniciales para el Desarrollo del Pan.....	32
Harinas alternativas en la industria panadera	34
Propiedades tecnofuncionales harinas alternativas	34
Análisis de la inclusión de harinas alternativas en la industria panadera.....	37
Tecnologías en el proceso de producción del pan.....	40
Fermentación.....	43
Fermentación con bacterias lácticas (BAL)	44
La fermentación en estado sólido.....	45
Análisis de las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de harinas de granos andinos fermentados para la industria panadera	46
Estudios de fermentación de harinas de granos andinos para la industria panadera.....	46
Impacto de la fermentación en las propiedades nutricionales de harinas alternativas	49
Impacto en la proteína y aminoácidos	49
Impacto en ácidos grasos	50
Análisis de los beneficios de la fermentación en productos de panificación	50
Conclusiones	53
Referencias bibliográficas	55

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Crecimiento de producción quinua en Colombia</i>	24
Tabla 2 <i>Comparativo nutricional de pseudocereales en 100 g de muestra</i>	33
Tabla 3 <i>Propiedades tecnofuncionales de la harina de quinua, amaranto y cañihua</i>	38
Tabla 4 <i>Inclusión de harinas alternativas: productos de panificación</i>	41
Tabla 5 <i>Tecnologías empleadas en la producción del pan</i>	38
Tabla 6 <i>Comparación de estudios de fermentación de harinas de granos andinos en productos de panificación</i>	45

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Anatomía del grano de quinua</i>	22
Figura 2. <i>Descripción botánica de la Cañihua</i>	26
Figura 3. <i>Estructura del grano de amaranto</i>	31
Figura 4. <i>Beneficios de la fermentación en productos de panificación</i>	54

Introducción

Los cereales son la fuente de energía dietética más importante en todo el mundo como el trigo, el arroz y el maíz estas harinas actualmente proporcionan aproximadamente la mitad de la fuente de energía alimentaria de la humanidad, sin embargo, el aumento de pacientes celíacos en todo el mundo ha motivado el desarrollo de alimentos sin gluten al ser necesario utilizar e investigar diferentes tipos de harinas alternativas al trigo, como la harina de arroz, maíz, así como reconocer la importancia de explotar otros cereales y pseudocereales como: amaranto, quinua y cañihua para la elaboración de alimentos saludables y nutritivos e incentivar a los productores a desarrollar diferentes estrategias para su procesamiento (Ferrari et al. 2020).

Estos granos se diferencian de los cereales en que son fruto de espigas de hierbas. El nombre de pseudocereales se debe a que, aunque pertenecen a plantas de diferentes familias, su apariencia, uso culinario como harina o grano, y grandes propiedades nutricionales son similares a las de los cereales (Rojas, et al. 2014; Bravo, et al. 2010). Por otro lado, se reporta que dichos cultivos pueden ser un potencial nutricional, característica que diferencia de otros alimentos ya que podría ser una valiosa contribución para mejorar la calidad de los alimentos sin gluten existentes y brindar valor agregado a los productos elaborados (Repo-Carrasco, 2008). Se reporta en algunos estudios que la inclusión de estos granos en la industria panadera presenta una baja aceptación debido al poco conocimiento por parte de los consumidores, además el comportamiento de las masas generadas a base de granos andinos no tiene el mismo comportamiento al de las harinas usadas comúnmente generando una especie de rechazo en la parte visual (Palomino et al. 2022).

En otros estudios se resalta que emplear un bioproceso como la fermentación en las harinas de granos andinos favorece la digestibilidad, textura y características sensoriales del

producto (León et al. 2015). Por tanto, es de resaltar que este bioproceso es antiguo, sencillo y económico para producir, conservar, mejorar propiedades sensoriales, calidad nutricional y funcional de alimentos en general.

El propósito de esta monografía fue analizar las propiedades tecnofuncionales de harinas alternativas, específicamente con granos andinos. Además, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para evaluar cómo la fermentación ácido láctica afecta las masas para el desarrollo de productos de panificación, y así poder establecer los porcentajes óptimos de inclusión de estas harinas.

Finalmente, esta propuesta apoyó los objetivos planteados del proyecto Macro Cohorte 1 009 proyecto PS 012020 “Evaluación del potencial agroalimentario de las variedades de quinua (*Chenopodium quinoa*. Willd) cultivadas en Subachoque Cundinamarca para el desarrollo de productos de panificación”, buscando fortalecer la academia y el sector productivo de Cundinamarca.

Problema De Investigación y Justificación

Estudios recientes han demostrado una alta demanda en productos alimenticios libre de gluten a nivel mundial, pues se ha descubierto que la enfermedad celíaca (intolerancia al gluten) es uno de los trastornos más frecuentes en todo el mundo, afectando el 0.5-1% de la población (Bolívar et al. 2018). El gluten puede ser definido como la masa proteica gomosa que queda luego de lavar la masa de trigo para eliminar el almidón. Los principales componentes de la proteína de gluten- gliadina y glutamina - son proteínas de almacenamiento presentes en el trigo. El gluten está presente en el trigo, el centeno, la cebada y confiere a la masa las propiedades de horneado deseadas (Brizuela et al, 2020).

La enfermedad celiaca es una enfermedad digestiva que daña el intestino delgado y altera la absorción de las vitaminas, minerales y demás nutrientes que contienen los alimentos, la alteración de la absorción de los alimentos conlleva a una malnutrición, aunque se mantenga una ingesta adecuada (Frossi et al, 2019). El aumento anual de las enfermedades obtenidas por el consumo de gluten se convierte en una problemática mundial que despierta en los consumidores la necesidad de una dieta saludable libre de gluten evitando así enfermedades a largo plazo (Costa et al, 2019).

De ahí la necesidad de investigar nuevas alternativas de harina en la industria panadera que garantice mejores compuestos para tener una dieta más saludable. Los granos andinos son reconocidos por su alto valor nutricional y principalmente reconocidos por su contenido proteico, de carbohidratos, proteína, lípidos, fibra, así como ácidos grasos esenciales de alta calidad, destacando que son muy ricos también en aminoácidos esenciales y su contenido de carbohidratos, que producen bajo índice glicémico y en general una mejor calidad nutricional y funcional en la industria panadera (Bledsoe et al,2019). Los panes a base de granos andinos

ofrecen nutrientes en mayor cantidad por gramo, que el pan hecho a base de harina de trigo, por ello ayudan a la prevención de enfermedades y además contribuye otros beneficios alimenticios, debido a que el consumo de harinas derivadas de estos granos aumentaría la ingesta de micro y macronutrientes, además de fibra dietaria y compuestos bioactivos con beneficios nutricionales y funcionales (Caputo et al,2015).

Aunque la inclusión de dichas harinas en la panificación puede afectar las propiedades tecnofuncionales, como el índice de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento (Ding et al,2005), sin embargo, aún falta mayores estudios sobre la inclusión de estos granos andinos y el efecto en dichas propiedades tecnofuncionales.

Por otro lado, se reporta que la inclusión de harina de quinua podría contribuir a la elaboración de un pan más completo nutricionalmente. Sin embargo, una de las problemáticas es el contenido de saponinas al afectar sensorialmente el desarrollo de productos con una baja aceptación o pueden presentar la ausencia de las propiedades viscoelásticas que les confiere el gluten a los productos (Vásquez et al,2016).

En los últimos años, se reporta que la fermentación de las harinas de los granos andinos puede ser una alternativa viable debido a que favorece el desarrollo de productos de panificación, al obtener un producto acorde o muy similar en cuanto a las propiedades físicas y sensoriales de los productos obtenidos con harinas utilizadas normalmente, debido a que este proceso presenta ciertas ventajas como costos, variedad de sustrato, escasa producción de efluentes, calidad del producto, entre otros (Hernández & Durán, 2012) .

Pregunta De Investigación

Por lo anteriormente mencionado se realiza la siguiente pregunta de investigación para desarrollar en esta monografía.

¿Cómo afecta el proceso de la fermentación en harinas de granos andinos, en sus propiedades nutricionales y fisicoquímicas al elaborar un producto de panificación?

Objetivos

Objetivo General

Estudiar mediante una revisión bibliográfica el efecto de la fermentación en las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de harinas de granos andinos para uso en la industria panadera.

Objetivos Específicos

Analizar las propiedades tecnofuncionales de harinas alternativas y su efecto en las propiedades fisicoquímicas en los productos de panificación mediante una revisión bibliográfica.

Establecer las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de harinas de granos andinos fermentadas con bacterias ácido lácticas con el fin de reconocer los beneficios para los procesos en la industria panadera.

Marco Teórico

Generalidades de los Granos Andinos

En los últimos años ha surgido un mayor énfasis en la promoción de hábitos de consumo saludable, impulsando la búsqueda de alternativas naturales para reemplazar componentes esenciales en productos alimenticios, con el objetivo de combinar sabor, rentabilidad y posicionamiento en el mercado (Monteiro, Arroyo, & Pizzinatto, 2015).

Es de resaltar que a través de la historia los granos andinos han sido parte integral de la dieta andina durante generaciones, es evidente que la tendencia hacia productos con bajos niveles de grasas, azúcares y otros ingredientes ha crecido, en la búsqueda de una alimentación más saludable. Al mismo tiempo, ha surgido la necesidad de revitalizar y optimizar el sector agrícola, recuperando cultivos y prácticas tradicionales que influyen en la vida cotidiana (Martínez et al. 2020). De hecho, la quinua, la kiwicha y la cañihua han experimentado un crecimiento significativo en los mercados internacionales en las últimas décadas. Estos cultivos han ganado popularidad debido a su excepcional perfil nutricional, su versatilidad culinaria y su adaptabilidad a diversos climas. En los mercados internacionales, los granos andinos están siendo reconocidos como alimentos funcionales y saludables, ricos en proteínas, fibra y otros nutrientes esenciales. Su demanda ha aumentado no solo en los sectores de alimentos saludables y gourmet, sino también en la industria alimentaria convencional, donde se utilizan como ingredientes en una variedad de productos procesados (El-Serafy, et al., 2021).

En Colombia, un país bendecido con vastas extensiones de tierra agrícola, y especialmente en la región andina, la investigación ha resaltado la zona de Cundinamarca como clave para el cultivo de granos andinos. Localidades como Subachoque, Sibaté, Carmen de Carupa, Zipaquirá, Fusagasugá, Lenguaque, Guasca, Guachará y Chocontá, han surgido como

puntos de interés, beneficiándose de su clima y suelos propicios para el cultivo. En esta región, la quinua, la chía y el amaranto destaca como granos andinos de mayor relevancia en las investigaciones (Benavides & Rodríguez, 2007). Sin embargo, sigue siendo necesario realizar investigaciones exhaustivas para evidenciar los impactos concretos de la incorporación de estos granos andinos en diferentes contextos.

La Quinua (*Chenopodium quinoa*. Willd)

La quinua es un pseudocereal característico de los Andes, se cultiva en países como Bolivia, Perú, Ecuador, Chile, Argentina y algunas áreas de Colombia. Con más de 3000 variedades que se distinguen por sus propiedades nutricionales, este grano es considerado un grano milagroso que fue fundamental en la alimentación de toda una cultura. Su extraordinaria adaptabilidad a diversos entornos agroecológicos la hace destacar. Puede prosperar en humedades relativas que varían entre el 40% y el 88% y es capaz de sobrevivir a temperaturas desde -4°C hasta 38°C . Además, su eficiente uso del agua, tolerancia a la falta de humedad del suelo y resistencia a suelos salinos la convierten en una opción valiosa con producciones aceptables en condiciones de precipitación de 100 a 200 mm (Costa et al. 2019).

Este pseudocereal ha demostrado ser un alimento prometedor y una fuente primaria para productos industriales, con beneficios notables. Sin embargo, existen dificultades de comercialización de productos derivados de este pseudocereal, atribuidas a la limitada investigación sobre sus propiedades para ser un alimento alternativo saludable (Campos et al. 2022). Actualmente, el cultivo de quinua se ha extendido a más de 70 países en todo el mundo, reconocido por la FAO como un cultivo prometedor y económico en comparación con otros cereales (Chacaliza et al. 2016).

Características Físicas y Químicas de la Quinua

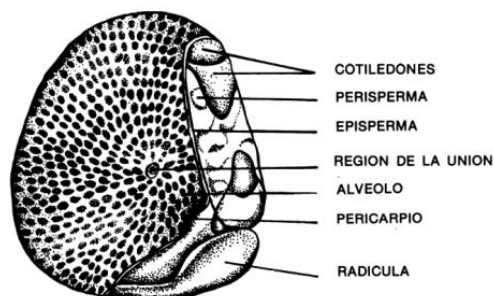
La semilla de quinua se destaca por su pequeño tamaño que puede oscilar entre 1.5 y 2.5 mm de diámetro, dependiendo de la variedad. Los colores de los granos están influenciados por el color del pericarpio y del epispermo, con variantes que van desde crema, plomo, amarillo y rosado, hasta rojo y morado. Sin embargo, una vez procesados, los granos pierden su coloración original (Chacaliaza et al. 2016).

El grano de quinua presenta tres componentes bien definidos: el epispermo, que se compone de cuatro capas distintas. La capa externa determina el color de la semilla y tiene una textura rugosa y quebradiza que se desprende fácilmente con el calor. La segunda capa varía en color y solo es visible cuando la primera capa es traslúcida. La tercera capa es una membrana delgada y opaca de color amarillo, mientras que la cuarta capa está formada por una hilera única de células que cubre el embrión. Las saponinas se encuentran en la primera membrana, y su contenido y adherencia en los granos varían considerablemente (León & Rossel, 2007).

Los principales componentes del embrión son la radícula y los cotiledones, representando aproximadamente el 30% del contenido proteico. En el grano perlado de la quinua, se obtienen las saponinas, que poseen propiedades excepcionales para la elaboración de detergentes debido a su capacidad para formar espuma estable en soluciones acuosas y su actividad hemolítica. Estas saponinas también tienen diversas aplicaciones, desde la industria farmacéutica y cosmética hasta la obtención de cerveza y productos de extinción de incendios (Ayala et al. 2004).

Figura 1

Anatomía del grano de quinua



Fuente: Ayala et al. (2004)

Propiedades Nutricionales de la Quinua

La quinua se distingue por su perfil nutricional excepcional, caracterizado por su contenido significativo de proteínas, carbohidratos y lípidos, así como su ausencia de gluten. Además, es rica en vitaminas y actúa como una excelente fuente de minerales esenciales, como calcio, magnesio, hierro y fósforo. Uno de sus atributos más destacados es la presencia de todos los aminoácidos esenciales en su composición, un rasgo que la diferencia de otros cereales como el arroz o el trigo. Estas investigaciones están intrínsecamente vinculadas a las preferencias de los consumidores modernos, quienes, al ser más conscientes de sus demandas de salud, muestran una inclinación hacia alimentos y productos con un valor agregado notable (Carcasi & Pereira, 2014).

Es viable emplear la quinua como suplemento o reemplazo completo de los granos tradicionales (como arroz, maíz y trigo) debido a su superior valor nutricional, al presentar un creciente interés entre los investigadores. Diversas investigaciones se han centrado en analizar su

contenido nutricional y a partir de estos estudios, se ha obtenido un promedio aproximado basado en una muestra de 100 gramos de material fresco: proteínas 15.33%, grasas 6.93%, cenizas 3.42%, carbohidratos 68.35% y fibra 4.78% (Vargas et al. 2019). Por ejemplo, Korziol, 1992, encontró que el contenido de proteína en el grano de quinua es aproximadamente 15.15%. Otro autor (Wright et al. 2002) reporta que el contenido de proteína tiene un valor de 15.25% tanto para las variedades dulces como amargas, ambas provenientes de Bolivia. Otro estudio reporta que cuatro genotipos de quinua presentan un contenido de proteína de alrededor del 14% (Bruin, 1964).

Se distingue por el equilibrio de aminoácidos necesarios para el cuerpo humano. Además, contiene unos 6 gramos de grasas, en su mayoría insaturadas, y unos 64 gramos de hidratos de carbono, en su mayoría almidón. Tiene unos 7 g de fibra y es rico en vitaminas del grupo B como el ácido fólico y la tiamina, vitamina E y diversos minerales como magnesio, fósforo, manganeso, hierro, zinc y calcio. Es una buena opción para quienes tienen intolerancia al gluten y su valor nutricional la hace popular entre vegetarianos y veganos porque contiene la cantidad perfecta de nutrientes esenciales (Campos-Rodriguez, J, 2022).

Producción de la quinua

Se reporta que la quinua fue el principal alimento en las antiguas culturas de los Andes y está distribuida en diversas zonas agroecológicas de América Latina. En la actualidad, este pseudocereal está tomando fuerza y se cultiva en países como Bolivia (46%), Perú (42%), Estados Unidos (6%), Ecuador (3%) y en algunas áreas de Colombia, Chile y Argentina (0,5%). Se trata de una planta anual con un período vegetativo que oscila entre 150 y 240 días,

mostrando una gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. Esto permite su cultivo desde el nivel del mar hasta altitudes de 4000 metros (Rojas et al. 2014).

Aunque el cultivo de quinua fue reconocido en Colombia en el pasado, fue reemplazado por otros cultivos (Ruales & Nair, 1994). A mediados de los años ochenta, las proyecciones para el cultivo de quinua en Colombia eran de alrededor de 6.000 hectáreas, distribuidas de la siguiente manera: 500 en áreas de comunidades indígenas, 1.200 en minifundios y más de 4.000 entre medianos agricultores en la región de Nariño. Sin embargo, en la actualidad, el cultivo no se reconoce ampliamente en el país y se encuentra principalmente arraigado en algunos departamentos (Ruales & Nair, 1994). De hecho, se concentra la producción en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Cauca y Nariño (Agronet. 2023).

No obstante, basado en investigaciones recientes realizadas en los municipios de Chía, Cajicá, Cota y Tocancipá, pertenecientes al departamento de Cundinamarca, se observa que el cultivo de quinua está experimentando un proceso de expansión debido a su enorme potencial para mejorar las condiciones de vida en los países andinos y en el mundo moderno. La Tabla 1 se presenta la producción de quinua en diferentes departamentos de Colombia desde el año 2018 hasta el 2021 (Rojas et al. 2014; Santos, 2019).

Tabla 1*Crecimiento de producción quinua en Colombia*

	2018	2019	2020	2021
Departamento	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)
Boyacá	102.1	341.8	412.4	367.1
Cauca	721.6	325.1	249.45	227.4
Cundinamarca	201.0	94.0	90.0	29.0
Nariño	376.0	738.3	638.4	284.4

Fuente: Santos (2019); Rojas et al. (2014)

La Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* aellen)

La cañihua tiene origen desde el año 1586 como parte de la dieta de los indígenas Urus que habitaban en la región sur del Lago Titicaca. Sin embargo, el cultivo y consumo en la actualidad no han sido ampliamente difundidos. También es conocida como cañahua, kañiwa o qañiwua, entre otros nombres, se trata de una planta anual con una rica diversidad genética, que se autopoliniza (Guzmán et al. 2013).

Este cultivo se resalta por su valor nutricional y capacidad para prosperar en altitudes elevadas, así como su resistencia a bajas temperaturas, lo que la convierte en un alimento fundamental en la dieta de las comunidades andinas. La composición química de este grano está siendo reevaluada debido a su actividad antioxidante, lo que la posiciona como un alimento funcional altamente beneficioso (Guzmán et al. 2013).

A lo largo de milenios, esta semilla ha sido consumida en muchas partes del mundo y aunque sus ventajas apenas comienzan a ser reconocidas, su importancia radica en su rica composición

nutricional en proporción a su pequeño tamaño. Es considerada un alimento sustituto debido a la abundancia de sus componentes (Encomenderos, 2019).

Por otra parte, la cañihua también posee propiedades fisiológicas y nutritivas esenciales, lo que contribuye a prevenir enfermedades como el cáncer, así como trastornos digestivos e inmunológicos que ayuda a la prevención del envejecimiento del organismo (Encomenderos, 2019).

Características fisiológicas de la Cañihua

La altura de crecimiento de las plantas de Cañihua varía en un rango de 25 a 60 cm. Sus hojas cuentan con pecíolos cortos y delicados. Las flores de esta planta son hermafroditas y su inflorescencia se presenta en cimas laterales y en axilas superiores. Las semillas, que poseen una forma subcilíndrica, cónica, sublenticular, subcónica y subelipsoidal, son producidas en gran cantidad por la Cañihua (Mayta, 2019).

Estas semillas son muy pequeñas, con un diámetro de entre 0.8 y 1.4 mm, y están cubiertas por el perigonio del cáliz persistente. La coloración del fruto es sumamente variable, abarcando tonalidades desde grisáceas hasta pardo oscuro, y ocasionalmente presentando pigmentos en tonos morado rosado y amarillo (Mayta, 2019).

La Cañihua es una planta terófito que crece de manera erecta o con una ramificación notable desde su base como se presenta en la Figura 2. Su altura oscila entre 0.2 y 0.7 m. Tanto los tallos en la parte superior como las hojas y las inflorescencias están cubiertos de vesículas de color blanco o rosado (Encomenderos, 2019).

Figura 2

Descripción botánica de la Cañihua



Fuente: Bartolo (2013)

Producción de la Cañihua

El cultivo de la Cañihua se destaca por su adaptabilidad a diversos tipos de suelos y climas, lo que genera eficiencia en la cosecha. Sin embargo, su difusión ha sido limitada fuera de las regiones altiplánicas de Cochabamba en Bolivia y de Cusco, Ayacucho, Huancavelica y Junín en Perú (FAO, 2000). En cuanto a la producción nacional de Cañihua en el año 2017, esta se concentró principalmente en las regiones de Cusco y Puno. En Cusco, la producción alcanzó las 246 toneladas, con una superficie de cosecha de 538 hectáreas; mientras que, en la región de Puno, la producción fue de 4785 toneladas, con una superficie de cosecha de 5704 hectáreas (Bledsoe et al. 2019).

En Colombia no se evidencia reportes de producción actual de este cultivo, se cree que es poco reconocido y no tiene una demanda establecida en el mercado local al afectar su siembra y producción en el país, de hecho, este pseudocereal es más sensible a condiciones climáticas específicas, como la altitud, la temperatura y la disponibilidad de agua, que podría no ser ideal en todas las regiones de Colombia.

Propiedades nutricionales de la Cañihua

Este pseudocereal presenta un alto contenido de proteínas (15 – 19%), con un perfil de aminoácidos excepcional, siendo especialmente rico en lisina (5-6%), isoleucina y triptófano. Se ha descubierto que el valor nutricional de las proteínas es comparable al de la leche (Bartolo, 2013).

Además de sus propiedades nutricionales y antioxidantes, la cañihua es una fuente abundante de minerales en comparación con otros pseudocereales andinos considerados "superalimentos", como la quinua y el amaranto. La Cañihua proporciona niveles destacados de hierro y también contiene buenas cantidades de calcio, ambos minerales altamente biodisponibles, lo que significa que son fácilmente absorbidos por el cuerpo. Esto hace que la cañihua sea beneficiosa para adultos mayores y personas con deficiencia de hierro (Repo-Carrasco & Encina, 2008).

Es considerada como uno de los superalimentos ya que posee el doble de proteínas que los cereales más comunes, también conocida como cañahua, kañiwa entre otros nombres, es originaria de los Andes, donde crece en las altas mesetas del Perú y Bolivia. Este cultivo posee la ventaja de no contener saponina, a diferencia de la quinua, lo que facilita el tratamiento de la materia prima contienen principalmente carbohidratos (65.5 - 68.0%), proteínas (14.7 - 15.5%) y lípidos (7.6 - 8.5%). Los ácidos grasos más representativos son el ácido linoleico “Omega 6” (45.8 –49.6%), ácido oleico “Omega 9” (25.8 – 27.9%), ácido palmítico (12.9 – 13.5%) y el ácido linolénico “Omega 3” (5.7 – 6.8%) (Huaman 2018).

El amaranto o kiwicha (*Amaranthus caudatus*)

El término "amaranto" proviene del griego "amaranton", que significa "la que no se marchita", al destacar que las flores permanecen intactas después que la planta haya muerto (Alemayehu et al.

2015). También puede ser reconocida como kiwicha y científicamente como *Amaranthus caudatus*, es de resaltar que este grano ofrece aprovechamiento tanto de sus hojas, tallos como brotes. Se considera uno de los pseudocereales andinos antiguos más completos, con características de alimento funcional. A pesar de ser susceptible al frío y al exceso de humedad, es altamente resistente a la sequía y al calor (Alemayehu et al. 2015). Su riqueza nutricional se atribuye a su contenido en macro y micronutrientes, incluyendo proteínas con un porcentaje notable del 13,4%, superior a otros pseudocereales como la quinua y cereales como el arroz y el maíz. La kiwicha contiene todos los aminoácidos esenciales, cada uno de los cuales es vital para el correcto funcionamiento del organismo (López et al. 2016).

Los hidratos de carbono son los nutrientes mayoritarios, representando un valor porcentual del 65.25%. En este grupo se encuentran los azúcares reductores y no reductores, así como la fibra soluble e insoluble que contribuye a la salud digestiva. Los lípidos también son significativos, destacándose las omegas 3 y 9 por su papel en la prevención de enfermedades cardiovasculares. A pesar de su completa matriz nutricional, la kiwicha es poco conocida y consumida, lo que limita su aceptación (Vilcacundo & Cano, 2022).

Producción de amaranto

La cosecha del amaranto y la kiwicha, se realiza entre el quinto y séptimo mes, dependiendo de la disponibilidad estacional. Las zonas de mayor cultivo son las regiones altas de Ecuador, Perú, Bolivia y el noreste de Argentina. La kiwicha puede cultivarse en altitudes que van desde los 1.500 hasta los 3.300 metros sobre el nivel del mar, siendo especialmente adecuada para el piso ecológico correspondiente. Aunque es susceptible al frío y al exceso de humedad, presenta ventajas como la tolerancia a la falta de agua y al calor (Pérez, 2010).

La kiwicha tiene requerimientos climáticos relativamente limitados, es resistente a la sequía (crece con tan solo 200 mm de lluvia), al calor (temperatura óptima: 21-28°C) y al frío (puede soportar hasta 4°C). Esta planta sigue el ciclo C4 de asimilación de carbono durante la fotosíntesis, lo que significa que, al igual que el maíz y el sorgo, crece bien incluso en condiciones de sequedad durante la temporada primavera-verano. Tiene un ciclo de crecimiento corto y se puede alternar en la misma temporada con cultivos como la arveja y el maní (Mejía et al. 2021).

Según Agronet (2024), en Colombia la producción de amaranto está centrada en la región de Nariño logrando 12.40 toneladas en el 2018, sin embargo, en Boyacá y Cundinamarca se está volviendo a retomar pequeñas producciones de este pseudocereal según los proyectos internos desarrollados por las docentes de la cadena de alimentos de la UNAD.

Características fisicoquímicas del amaranto

Los granos de amaranto son semillas pequeñas con un diámetro que varía de 1 a 2 milímetros. Estas semillas son uniformes en tamaño y tienen una densidad promedio de alrededor de 0.902 g/L, lo que facilita su digestión. Su color puede variar desde blanco hueso hasta tonos de beige, café, rojo, pardo o negro, dependiendo de la especie. Su morfología puede ser lenticular, lo que significa que tienen una forma más redondeada, considerando la cicatriz que marca la zona de inserción del fruto en el receptáculo de la flor (Pérez, 2010).

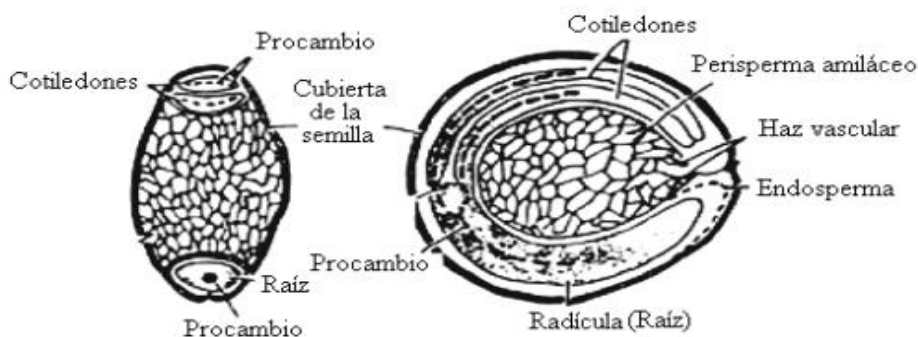
El amaranto pertenece al orden *Caryophyllales* y a la familia *Amaranthaceae*, dentro del género *Amaranthus*. Estas plantas son hierbas anuales o perennes, con hojas opuestas o alternas y carecen de estípulas. Los miembros del género *Amaranthus* se encuentran distribuidos en diversas regiones tropicales, subtropicales y templadas. Pueden tener un crecimiento erecto o rastrero, y tanto el tallo como las hojas presentan una gama de colores que van desde el rojo

hasta el verde, con una variedad de matices intermedios. El tallo puede ser ramificado o no ramificado (Carmona & Orsini, 2010).

La exomorfología del fruto del amaranto presenta una ornamentación verrugosa y es altamente eficiente en su adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas. Puede prosperar en ambientes considerados adversos debido a la presencia de períodos de sequía, altas temperaturas o suelos salinos (Capurro & Huerta, 2016). La estructura detallada del grano de amaranto se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Estructura del grano de amaranto



Fuente: Martínez et al (2016).

Propiedades nutricionales del amaranto

El valor nutricional del amaranto es similar al de la quinua ya que contiene un alto contenido de aminoácidos esenciales. Sin embargo, el amaranto tiene una ventaja sobre la quinua al no contener saponinas, lo que elimina la necesidad de un proceso de saponificación y la hace segura tanto para el consumo como para el medio ambiente (Massari et al. 2017). Se destaca este grano por su alto contenido de proteínas (13.8%), fibra cruda (2.5%) y flavonoides, que son

aprovechados por las comunidades campesinas de los Andes tanto como alimento como por sus propiedades terapéuticas (Arranz-Otaegui et al. 2018).

El valor nutricional y biológico del amaranto variedad, ha sido revalorizado debido a su elevado contenido de proteínas (15 al 18%) y su naturaleza libre de gluten, la fracción de lípidos en los granos varía entre 5.4% y 9.1%. La proteína se encuentra principalmente en el embrión del grano (65%) (Massari et al. 2017).

Al analizar la información presentada en la Tabla 2, se puede concluir que el porcentaje de proteína en el amaranto es superior al de la cañihua, pero menor que el de la quinua. En cuanto al contenido de fibra, se observa que es más alto en la kiwicha en comparación con los otros dos pseudocereales investigados. En cuanto a la ceniza, el porcentaje es más bajo que en la quinua y la cañihua. Si se considera el porcentaje de grasa del amaranto, este se encuentra en un rango medio en comparación con los otros dos granos investigados. Los carbohidratos del amaranto y la quinua muestran porcentajes muy similares, pero son más altos que los de la cañihua. En cuanto a la humedad presente en el grano, el amaranto es similar a la quinua, pero presenta un contenido más alto en comparación con la cañihua. Estos datos nutricionales de los granos andinos demuestran una vez más su capacidad para ser un reemplazo saludable en la dieta de las personas (Massari et al. 2017).

Tabla 2*Comparativo nutricional de pseudocereales en 100 g de muestra*

Componente	(Kiwicha o amaranto)^c	(Quinua)^a	(Cañihua)^b
Proteína (%)	12.9	15.33	13.1
Fibra (%)	6.7	4.78	3.8
Ceniza (%)	2.5	3.42	5.28
Grasa (%)	7.2	6.93	8.63
Carbohidratos (%)	65.1	68.35	59.5
Humedad (%)	12.3	13.3	9.6

Fuente: Solorzano (2019)^a, Bhargava y Ohri (2016)^b, Chamorro (2022)^c

En la Tabla 2, se presenta un comparativo nutricional de algunos pseudocereales, donde se puede evidenciar que la quinua presenta un mayor contenido de proteína en comparación con los otros granos, en cuanto a fibra presente el grano de amaranto tiene más porcentaje nutriente que ayuda a mantener el pan fresco durante más tiempo, retarda el tiempo de secado una vez es expuesto al aire, el grano con más porcentaje de grasa es la cañihua con un 8,7% desarrollando una textura, laminación, suavidad y sabor adecuado, en carbohidratos el grano andino con mayor porcentaje es la quinua con un 68,4% son la principal fuente de energía que necesitamos los seres humanos para mantener nuestra salud, debe provenir de los hidratos de carbono, por lo tanto son esenciales (American Soybean Association-International Marketing 2009).

Cultivos De Cereales Iniciales Para El Desarrollo Del Pan

Desde tiempos ancestrales, los sembradíos de cereales, en particular la cebada y el trigo, se destacaron como los primeros y más consumidos alimentos básicos. En el antiguo Egipto, la relevancia del pan y la panadería comenzó a emerger como un elemento fundamental en la vida cotidiana (Richter et al. 2017).

Las investigaciones arqueológicas han revelado hallazgos de materia orgánica en distintos yacimientos del antiguo Egipto, señalando la presencia de dos tipos de granos cultivados: la cebada común y una variedad de trigo conocida como Emmer (Mayans, 2022). A lo largo de la historia, se aprecia una evolución progresiva, que se remonta a la primera torta de Corcelles (2800 a.C.), elaborada a partir de cereales, hasta la sorprendente diversidad de productos de panadería disponibles en la actualidad en diferentes establecimientos. Este desarrollo encuentra sus raíces en los momentos en que los primeros habitantes del planeta descubrieron que las semillas de ciertas gramíneas eran más fáciles de digerir al ser pulverizadas y mezcladas con agua, obteniendo una masa que, al calentarse sobre piedras, se convertía en un valioso alimento (Mor, 2021).

A lo largo de la historia, el pan ha desempeñado un papel crucial en la alimentación de las civilizaciones, trascendiendo fronteras y épocas. La Federación Nacional de Molineros de Trigo (FEDEMOL) señala que, desde tiempos antiguos, el pan ha sido considerado un elemento esencial en la dieta humana, elaborado a partir de diversos granos sin necesidad de levadura (Bravo et al. 2010). Los egipcios, pioneros en el descubrimiento de la levadura, se ganaron el título de sociedad comedora de pan. Los panes más básicos surgían de la mezcla de harina de cereales con agua, una masa que podía fermentarse de manera natural. Estos panes iniciales eran

planos, compuestos únicamente de harina y agua, horneados en moldes cónicos de arcilla calentados directamente en fuego (Díaz, 2013).

La evolución del pan está intrínsecamente vinculada con la transición de una vida nómada a una sedentaria. Este cambio permitió a los recolectores empezar a cultivar sus propias tierras, dando paso a la agricultura de cereales como la cebada, el centeno y el trigo. El origen del pan se asocia al inicio de la agricultura y la domesticación de cereales en el Neolítico del suroeste de Asia, expandiéndose hasta el antiguo Egipto a través de rutas que atravesaban África hasta el río Nilo (Arranz-Otaegui et al. 2018).

Según procedimientos de la academia nacional de ciencias reveló muestras de pan con una antigüedad de 14,400 años, 4,000 años antes de la aparición de la vida agrícola neolítica. Esto sugiere la posibilidad de que el pan se originara incluso antes de la agricultura, con masas cocidas directamente al fuego en lugares como Jordania y zonas circundantes (Forssmann, 2018).

Harinas Alternativas En La Industria Panadera

Varios estudios han reportado que los granos andinos, especialmente la cañihua, quinua y amaranto, son una alternativa viable por sus propiedades nutricionales ya que aportan cantidades significativas de fibra dietética, proteínas con un perfil equilibrado de aminoácidos, lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, minerales y vitaminas (Huamanchumo, 2020). Además, estas semillas contienen betalaínas, compuestos fenólicos y fitoesteroles que tienen efectos beneficiosos para la salud (Huamanchumo, 2020), que pueden ser investigados para la sustitución parcial o total de cereales convencionales en la industria panadera (Zegarra et al. 2019).

Propiedades tecnofuncionales harinas alternativas

Las propiedades tecnofuncionales son importantes evaluarlas en el desarrollo de productos para que sean ingredientes versátiles y valiosos en la formulación de alimentos. Debido, a que su inclusión en el desarrollo de productos puede afectar las características texturales, estabilidad y la experiencia sensorial para los consumidores. Sin embargo, las propiedades tecnofuncionales de cada harina pueden variar y requerir ajustes en las formulaciones y procesos para optimizar su uso en productos específicos (Martín Herrero, A. (2022)). En este contexto, es importante comprender y evaluar las propiedades tecnofuncionales de las harinas de granos andinos, como su índice de absorción de agua para reconocer la capacidad que tiene la harina para retener o conservar agua, así como el índice de absorción de aceite para determinar la habilidad de unión de la materia prima con el aceite o grasas, teniendo en cuenta el tipo de proteínas y la participación de cadenas no polares entre otras propiedades (Villar et al. 2021).

Según Valencia et al. (2015), las propiedades tecnofuncionales de las harinas simples y compuestas determinan la aplicación de los alimentos y el uso final de dichos materiales en otras

aplicaciones. Estas propiedades son importantes para establecer los requisitos de envasado, el manejo de materias primas y la aplicación en el procesamiento húmedo en la industria alimentaria. La combinación de diferentes harinas es una de las propiedades más influyentes en la calidad y la apariencia de los alimentos ya que afecta la textura, la digestibilidad y el uso final de los productos alimenticios a base de harinas o almidones. Las harinas derivadas de granos y productos como el trigo y la quinua también se utilizan en la elaboración de tortas, pasteles, galletas y fideos orientales Dussán-Sarria et al (2019).

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 3, el índice de absorción de agua (IAA) para la quinua presenta un alto porcentaje en comparación a los otros granos andinos, valor apropiado para productos horneados debido a que brinda frescura y textura suave (Noguera Molina, 2023). Así como el índice de solubilidad en agua (ISA), se nota que el grano de cañihua tiene el mayor porcentaje, parámetro relacionado con la cantidad de sólidos que son disueltos por el agua, que a su vez se relaciona con el grado de secado de la harina, al ser considerado un factor crítico ya que un tiempo de secado largo rompe las cadenas del almidón y genera cadenas cortas que retienen mayor número de moléculas de agua, disminuye la cohesividad y la plasticidad de las masas (Dussán-Sarria, et al. 2019). En lo que respecta al poder de hinchamiento (PH), el pseudocereal que prevalece en términos de porcentaje es la cañihua, ya que favorece una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua (Dussán-Sarria, et al. 2019).

Tabla 3

Propiedades tecnofuncionales de la harina de quinua, amaranto y cañihua

Harina	IAA (%)	ISA (%)	PH (%)
Quinua	2.35	11.18	2.64
Amaranto	1.75	8.79	3.8
Cañihua	1.95	19.0	6.33

Fuente: (Dussán-Sarria, Hurtado, & Camacho, 2019) (Arcila & Mendoza, 2006) (Quilli & Guerra, 2017)

Nota: IAA (índice de absorción de agua); ISA (índice de solubilidad en agua); PH (poder de hinchamiento)

Se reporta que el índice de absorción de agua (IAA) permite evaluar la habilidad de la harina para mantener el agua bajo la fuerza de gravedad centrífuga y ciertas macromoléculas como carbohidratos y proteínas, al ofrecer cadenas laterales hidrófilas, aumentan esta retención (Pellegrini et al. 2018; Ghumman et al.2021).

Según Ahmed et al. (2019), exploraron cómo la IAA aumenta con la reducción del tamaño de partícula (debido al incremento en la relación superficie-volumen) y a medida que la temperatura aumenta de 25 a 70°C (debido a la gelatinización del almidón y la desnaturalización proteica). Es importante señalar que la amilopectina presente en el almidón de la quinua tiene cadenas cortas y proporciona mayor viscosidad, índice de retención de agua y propiedades de hinchamiento a este pseudocereal en comparación con otros cereales como el trigo, la cebada o el maíz (Valdez-Arana et al. 2020). Se reporta que la harina de quinua es un gran potencial para ser utilizada en la formulación de masas fermentadas y productos horneados, al favorecer en la viscosidad y ayudar a lograr una textura suave (Ogungbenle, 2023).

Por otro lado, otro parámetro importante en las harinas es el índice de absorción de grasa ya que proporciona información sobre la interacción entre los lípidos y las cadenas laterales no polares de los aminoácidos presentes en la harina, lo cual determina su capacidad para ligar el aceite y en última instancia, afecta la sensación en boca y la retención del sabor del producto y a su vez resulta beneficiosa al reducir la cantidad de grasa necesaria en productos como galletas y productos de panadería, sin comprometer la calidad y textura (Beniwal, Devi, & Sindhu, 2019).

Al analizar las propiedades tecnofuncionales de las harinas alternativas, se encontró que existen diferencias según la harina evaluada, resalando que el índice de absorción de agua fue alto para la harina de amaranto y cañihua, lo que significa que absorbe más agua, al afectar de manera directa la textura y consistencia de la masa. Mientras el índice de solubilidad en agua fue más alto para la harina de cañihua que la harina de amaranto, estos resultados pueden favorecer la textura, esponjosidad y volumen de los productos horneados. En conclusión, las propiedades tecnofuncionales son fundamentales para determinar la idoneidad en el porcentaje de inclusión de harinas en la elaboración de productos de panadería.

Análisis de la inclusión de harinas alternativas en la industria panadera

Algunos estudios reportan que la inclusión de harinas alternativas como los pseudocereales pueden ser una nueva oportunidad para la elaboración de panes sin gluten (Vásquez-Lara, et al. 2016). Sin embargo, los productos disponibles en el mercado, elaborados con recetas heterogéneas a base de cereales libres de gluten y otros componentes, suelen tener malas propiedades de textura, disminución en el volumen, bajo contenido nutricional y baja aceptación sensorial en comparación con los productos que contienen gluten (Naqash et al. 2017).

En el estudio de Montero-Quintero et al. (2015), utilizaron de 0% al 20% de harina de amaranto crudo, sin embargo, al desarrollar el pan se encontró que la mejor inclusión fue un 10% de amaranto ya que presentó mejoras en las características físicas y composición proximal, especialmente proteínas, lípidos y minerales, así como una alta digestibilidad. En la mayoría de estudios se encuentra que no se emplea altas inclusiones de pseudocereales debido a los cambios desfavorables en volumen, miga tensa y variaciones en el sabor (Békés et al. 2017; Montero-Quintero et al. 2015). A continuación, se presenta en la Tabla 4, estudios que incluyeron harinas de granos andinos.

Tabla 4

Inclusión de harinas alternativas: productos de panificación

Harina alternativa	Producto	Inclusiones	Resultados y conclusiones
Quinoa ^a	Galletas	15%-85%, 35%-65%, y 50%-50% de harina de quinua y de trigo	No se evidencia incremento de la proteína en el producto final, sin embargo, el contenido de minerales si incrementa con las inclusiones. En una evaluación sensorial a panel entrenado, se encontró mayor aceptación para la mezcla 15%-85% de harina de quinua- harina de trigo respecto a color, sabor, aroma y textura. Se concluye que no se puede realizar una mayor inclusión del 15% de harina de quinua porque afecta sus características sensoriales.
Amaranto ^b	Pan	0% al 20%	Se encontró que el contenido de materia seca, proteínas y lípidos fueron mayores para los panes que contenían amaranto. Los panes con 15 y 20% de amaranto presentaron mayor peso, pero no en altura para las inclusiones del 5 y 10% de amaranto. Concluyen que a mayor porcentaje de inclusión de harina de amaranto se obtuvo un menor tamaño

Harina alternativa	Producto	Inclusiones	Resultados y conclusiones
			del pan, así como afectación en la corteza al lograr un color más oscuro. Finalmente, el pan integral con inclusión del 10% de harina de amaranto presentó las mejores características.
Quinua, garbanzo ^c	Torta	Control: trigo y maíz (60% - 40%), formulación F2: garbanzo, quinua y maíz, (30% - 30% - 40%), formulación F3: trigo, garbanzo, quinua y maíz (20% - 20% - 20% - 40%), formulación F4: trigo, garbanzo, quinua y maíz (50% - 5% - 5% - 40%)	Encontró que la mezcla de harinas del tratamiento F2 presento mayor capacidad de absorción de agua y mayor capacidad de aceite. Se observaron diferencias para luminosidad y el parámetro b*, peso, altura para algunos tratamientos. En las pruebas sensoriales realizadas a consumidores se encontró que el tratamiento F3 y F4 fueron aceptados con inclusión de 5% a 20% de harina de quinua y harina de garbanzo.

Fuente: Mosquera Mosquera, H. F. (2009)^a; Montero-Quintero, (2015)^b; Noguera Molina, (2023)^c

En la Tabla 4, se logró revisar que la inclusión de harina de quinua no puede superar el 15% para la elaboración de galletas (Mosquera Mosquera, 2009), para la inclusión del amaranto en pan no puede superar el 10% (Montero-Quintero, 2015), mientras en la torta se concluye que se puede emplear entre 5% y 20% de harina de quina (Noguera Molina, 2023) para no afectar las características sensoriales o físicas del producto final.

De acuerdo a la revisión bibliográfica, se evidencia que el porcentaje de inclusión de harinas de granos andinos depende del pseudocereal y el producto de panificación a desarrollar. Se evidenció

que no es recomendable emplear porcentajes superiores al 20% ya que puede afectar las características físicas de los productos como el color al obtener panes más oscuros e incrementó del peso, igual ocurre con las propiedades sensoriales, atributos como el color, sabor, aroma y textura son poco aceptados por los consumidores. Se concluye que una alta sustitución de harinas en productos de panificación afecta diversas propiedades, sin embargo, se evidencia que a pesar de emplear bajas inclusiones de harinas alternativas puede favorecer el valor nutricional al aumentar el valor proteico y lipídico para algunos productos.

Tecnologías En El Proceso De Producción Del Pan

El proceso de producción consiste en la mezcla de materias primas básicas como harina de trigo y/o harinas sucedáneas, sal, levadura y agua. Esta mezcla tiene un proceso de fermentación, durante este periodo ocurren cambios químicos como: el cambio de la estructura lo que permite la elasticidad reteniendo el gas producido durante el periodo de fermentación, produciendo CO₂ por la fermentación y la acción de la amilasa, el almidón del grano de trigo, posterior, al tiempo de reposo para dicha fermentación la masa ya reposada esta lista para ser moldeada y puesta en el horno a temperatura de acuerdo al horno. Este proceso ofrece algunos tipos de tecnología diferentes, que se presentan a continuación.

Tabla 5

Tecnologías empleadas en la producción del pan

Operación unitaria	Manual	Semiautomática	Automática
Mezclado	Lo realiza un auxiliar de panadería con instrumentos manuales.	Lo realiza un auxiliar de panadería, con ayuda de una mezcladora manual.	Se ponen los ingredientes y la operación se realiza de forma automática en una mezcladora.
Reposado	La mezcla reposa (no necesita ninguna acción).	La mezcla reposa (no necesita ninguna acción).	La mezcla reposa (no necesita ninguna acción).
Amasado	El operario realiza el amasado hasta conseguir la contextura adecuada.	La masa es introducida en un equipo para lograr la contextura adecuada.	La masa es vertida a una máquina desde la línea de producción.
Fermentado	La mezcla fermenta en un contenedor (proceso de tiempo largo).	La mezcla fermenta en un contenedor programable (proceso de tiempo más reducido).	La mezcla fermenta en un contenedor programable (proceso de tiempo más reducido).

Operación unitaria	Manual	Semiautomática	Automática
Cortado	El auxiliar de panadería divide la masa en partes más pequeñas.	El auxiliar de panadería corta la masa necesaria en un equipo.	La masa continúa en la línea de producción y es cortada automáticamente.
Moldeado	Un auxiliar de panadería le da la forma a la masa para el producto final.	Un auxiliar de panadería le da forma a la masa para el producto final.	La máquina da la forma final del producto.
Reposado	El producto reposa (no necesita de ninguna acción).	El producto reposa (no necesita de ninguna acción).	El producto reposa (no necesita de ninguna acción).
Horneado	El auxiliar de panadería lleva el producto al horno y gradúa la temperatura y el tiempo de forma manual,	El auxiliar lleva el producto al horno, graduando la temperatura para la producción.	El producto llega a través de las bandejas y es horneado en el horno que ya tiene una programación.

Fuente: (Tovar et al. 2005; Plata et al. 2004)

Se considera que el uso de diferentes tecnologías en la producción del pan, ya sea manual, semiautomática o automática, puede influir significativamente en la elaboración de productos tanto en su calidad y consistencia, debido a que las tecnologías automáticas tienden a producir resultados más consistentes en términos de textura, sabor y apariencia del pan, ya que el amasado, la fermentación y horneado, son operaciones unitarias controladas de manera más precisa y uniforme.

Fermentación

Es uno de los métodos más antiguos, sencillo y económico para producir, conservar, mejorar propiedades sensoriales, calidad nutricional y funcional de alimentos en general. Los alimentos fermentados se definen como aquellos que han sido sometidos al efecto de microorganismos y sus enzimas, particularmente amilasas, proteasas y lipasas, que causan la transformación bioquímica de polisacáridos, proteínas y lípidos en productos deseables con sabores, aromas y texturas atractivos para el consumidor (Ferrari et al. 2020). La fermentación es un proceso natural por el cual moléculas complejas se degradan y transforman en otras más simples, liberando energía. En el caso del pan, la levadura se alimenta del azúcar naturalmente presente en la harina, lo que da lugar a dos fenómenos distintos. Se produce dióxido de carbono y etanol, lo que impulsa el levado del pan en el horno y crea su estructura alveolar. Por otro lado, se generan numerosas moléculas que contribuyen al sabor característico del pan (Santos, 2019).

Con el aumento de pacientes celíacos en todo el mundo, ha surgido la demanda de alimentos sin gluten, lo que ha llevado a un mayor interés en la utilización de pseudocereales ampliamente reconocidos en la industria, como el amaranto, la quinua y la cañihua. La importancia de aprovechar estos cereales y pseudocereales para la elaboración de alimentos saludables y nutritivos ha motivado a los productores de alimentos a desarrollar diversas estrategias apropiadas para su procesamiento (Naqash et al. 2017). Esta necesidad de explotar y transformar estos granos en alimentos saludables y nutritivos ínsita a replantear y desarrollar estrategias adecuadas para su procesamiento. La fermentación es uno de los métodos más antiguos de producción y conservación de alimentos (Ferrari et al. 2020).

La definición de bioprocesos se enmarca en el concepto de Biotecnología, que implica el uso de organismos vivos o partes de ellos para obtener productos o servicios útiles para los seres

humanos. Un bioproceso es aquel que involucra métodos de ingeniería química aplicados a procesos biotecnológicos. Estos bioprocesos pueden utilizarse para obtener productos utilizados en la salud humana y animal (antioxidantes, antiinflamatorios), la industria química (enzimas), la industria de fermentaciones (alcoholes), la agricultura y la alimentación (López et al. 2016).

Fermentación con bacterias lácticas (BAL)

El grupo de BAL, comprende bacterias Gram (+), no esporuladas, de morfología bacilar o cocoide, anaerobios (aerobios tolerantes), cuyo principal producto de fermentación es el ácido láctico y que además se caracterizan por desarrollar su metabolismo a pH bajo, hasta 4.7. Las BAL se emplean en la técnica panadera de masa ácida (sourdough), la cual consiste en la mezcla de harinas fermentadas con sabor agrio (Ferrari et al. 2020).

Las bacterias interactúan con las levaduras se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza y se han aislado de diferentes nichos, incluidos alimentos, plantas y en diferentes hábitats de animales, incluido el tracto digestivo. Los géneros básicos que comprenden las BAL son: *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Streptococcus*, aunque recientes revisiones taxonómicas han propuesto la inclusión de otros géneros, como *Aerococcus*, *Oenococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus* y *Weissella*, entre otros. Recientemente, se ha propuesto la reclasificación de las especies de *Lactobacillus* en al menos diez nuevos géneros homogéneos (Salveti et al., 2018).

La fermentación láctica de los cereales y pseudocereales pueden explotarse para diseñar alimentos o ingredientes de granos novedosos y más saludables. Se considera que se puede seguir investigando los métodos de fermentación que impliquen el uso de una masa con una menor proporción de agua en comparación con la masa típica de pan. El suministro de nuevos productos bio-enriquecidos obtenidos por fermentación de estos cultivos representaría un avance

significativo para asegurar una adecuada nutrición a la población en general y especialmente a una franja importante de individuos con necesidades diferentes (Ferrari et al. 2020).

La fermentación en estado sólido

Se define como el crecimiento de microorganismos en medios sólidos, o semisólidos, en ausencia de agua libre, las fermentaciones de estas características son aquellas en las cuales el sustrato no está ni disuelto ni en suspensión en un gran volumen de agua, el objetivo del proceso es el aumento parcial del contenido proteico de los alimentos, mejorando además las posibilidades de conservación, cambiando las características físicas y químicas, el color, el olor o el sabor de los mismos. es un método confiable que permite reducir los factores anti nutricionales presentes en estos compuestos (Valiño et al. 2004). Es un método de cultivo de microorganismos sobre y/o dentro de partículas sólidas". El líquido ligado a las partículas sólidas debe estar en una cantidad que asegure la actividad del agua adecuada para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos, pero sin exceder el máximo poder de retención de este líquido en la matriz sólida (Mudgett, 1986).

No obstante, existen factores externos que afectan de manera significativa el proceso de fermentación como lo son la temperatura, humedad, azúcar, sal, cantidad de aceite presente y Almidones o féculas, factores que deben ser conocidos para poder mejorarlo y obtener una mayor reducción de los factores (Lio & Wang, 2012).

La fermentación ácido láctica en estado sólido durante la elaboración del pan es un bioproceso recomendado ya que puede favorecer el sabor y la textura del producto de panificación tanto en las propiedades nutricionales y fisicoquímicas que se presentan a continuación.

Análisis De Las Propiedades Nutricionales y Físicoquímicas De Harinas De Granos Andinos Fermentados Para La Industria Panadera

La fermentación es un proceso biológico que implica la transformación de azúcares por microorganismos, como levaduras y bacterias. En el caso de las harinas de granos andinos, la fermentación puede tener un impacto positivo en sus propiedades nutricionales y físicoquímicas (Ceballos-González et al. 2018). Esta revisión proporciona una visión general sobre la fermentación de cereales y pseudocereales por Bacterias Ácido Lácticas – BAL, destacando la capacidad de estas bacterias para interactuar con los componentes de estos granos durante la elaboración de panificados (Rollan y Celestina 2020).

Estudios De Fermentación De Harinas De Granos Andinos Para La Industria Panadera

La fermentación es un proceso bioquímico que puede mejorar las propiedades físicoquímicas, texturales y bioactivas en la elaboración de panes con inclusión de granos andinos, en este proceso ocurre un hinchazón de la masa en un proceso de etapa etílica o fermentación alcohólica, la transformación es debida a la siguiente reacción: el azúcar reacciona con la levadura reduciendo anhídrido carbónico que será el responsable del hinchamiento de la masa y de la formación del alcohol que más tarde se volatizará durante la cocción pero que tendrá consecuencias posteriormente en el aroma y sabor del pan (Meale et al. 2012). En la Tabla 6, se presenta un resumen de diferentes estudios que emplearon fermentación de harina de granos andinos para el desarrollo de productos de panificación.

Tabla 6

Comparación de estudios de fermentación de harina de granos andinos en productos de panificación

Producto	Cepas	Resultados y conclusión
Masas fermentadas con diferentes inclusiones de quinua (20, 40 y 60%) Tunkahúan, Facianar Aurora y Blanca de Jericó ^a	Cultivos iniciadores: <i>Lactococcus lactis subsp. Lactis, Lactococcus lactis subsp. Cremorisy</i> <i>Streptococcus salivarius subsp. thermophilus</i>	La variedad Facianar Aurora con inclusión del 40% presentó la mejor aptitud tecnológica permitiendo obtener panes de buenas características nutricionales, y de volumen, color y textura.
Pan de una mezcla de harinas de quinua, amaranto, garbanzo y avena ^b	<i>Lactobacillus plantarum C48</i> y <i>Lactococcus lactis subsp. lactis PUI</i>	La fermentación fue de 24 horas a 30 °C, encontraron un impacto positivo en la concentración de aminoácidos esenciales del pan con masa madre de harina no convencional y pan de harina no convencional respecto al pan de harina de trigo. La concentración total de los fenoles aumento para pan con masa madre de harina no convencional. Respecto a la textura se evidencia que después del horneado no presentan diferencias en dureza, elasticidad, cohesividad para el pan con masa madre de harina no convencional y pan de harina de trigo.
Masa madre sin gluten a base de cantidades iguales de amaranto, trigo sarraceno y quinua ^c	Bacterias propias de los granos debido a una fermentación espontánea	Consideran que es necesario entre cinco y siete días de propagación de la masa madre para que alcance la madurez. El aumento de un 30-40% de masa madre permitió acortar el tiempo necesario, pasando de 16 a 6 h. Por otro lado, demuestran que la mezcla de proporciones iguales de amaranto, trigo sarraceno y

Producto	Cepas	Resultados y conclusión
Masas fermentadas de quinua para elaborar pan blando ^d	<i>Lactobacillus plantarum 1 (JC5)</i> y <i>Lactobacillus plantarum JCM1149 (C20)</i>	quinua es una formulación viable para masa madre sin gluten. Concluyen que el uso de estos ingredientes proporciona productos de panadería con una mayor diversidad de nutrientes debido a las harinas. Evaluaron el efecto de dos factores: cepa bacteriana (dos niveles) y tiempo de fermentación (cuatro niveles). La fermentación produjo masas con mayor contenido de proteína soluble y mejores propiedades texturales que la masa de quinua no fermentada después de 2 días de fermentación por cada cepa. Obtuvieron panes con una miga porosa homogénea, buena calidad sensorial y alto valor nutricional. Concluyen demostrar que es posible desarrollar panes sin gluten con 100% de quinua fermentada.

Fuente: Díaz, S., & Raquel, O. (2013)^a; Coda, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2010)^b; Carbó, R., Gordún, E., Fernández, A., & Ginovart, M. (2020)^c; Ceballos-González, Carlos; Bolívar-Monsalve, Johana; Ramírez-Toro, Cristina; Bolívar, Germán A. (2017)^d.

En la Tabla 6, se logra evidenciar que es viable fermentar harinas de granos andinos ya sea con cepas propias de las harinas (Carbó, R., Gordún, E., Fernández, A., & Ginovart, M. 2020) o con cepas específicas como: *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. Cremorisy*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophiles* (Díaz, S., & Raquel, O. (2013), *Lactobacillus plantarum C48* y *Lactococcus lactis subsp. lactis PUI* (Coda, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. 2010), *Lactobacillus plantarum 1 (JC5)* y *Lactobacillus plantarum JCM1149 (C20)* (Bolívar-Monsalve, Johana; Ramírez-Toro, Cristina; Bolívar, Germán A. 2017). Al

permitir analizar diversidad de métodos con un fin en común obtener productos libres de gluten con calidad nutricional y sensorial.

Impacto De La Fermentación En Las Propiedades Nutricionales De Harinas Alternativas

Impacto en la proteína y aminoácidos

La cantidad de proteína presente en la harina de quinua varía según la variedad, el método de procesamiento y las condiciones geográficas. Sin embargo, se reporta que la harina de quinua contiene entre 13 y 18% de proteína, al ser comparable al contenido de proteína de la carne, el pescado y los huevos (García et al. 2018). Por otro lado, la proteína de la harina los granos andinos son de buena calidad ya que contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas. Por ejemplo, la proteína de la quinua es rica en lisina, un aminoácido esencial que es importante para el crecimiento y el desarrollo. La fermentación puede aumentar el contenido de proteínas de las harinas alternativas ya que los microorganismos fermentadores producen enzimas que descomponen los carbohidratos en azúcares simples, que luego pueden ser utilizados para sintetizar proteínas (Mehta et al.2012).

En un estudio de pan se encontró que la fermentación ayuda a hidrolizar las proteínas de las harinas, lo que las hace más solubles y fáciles de absorber, igual, puede aumentar la proteína según la sustitución de la harina y el tiempo de fermentación (Vásquez et al. 2016; Maidana et al. 2020). De hecho, reportan que este bioproceso puede aumentar la digestibilidad de la proteína, así como el perfil de aminoácidos de las harinas alternativas, ya que los microorganismos fermentadores pueden producir aminoácidos esenciales que no se producen de manera natural en las personas. Reportan que la fermentación de harina de quinua aumentó el contenido de lisina, un aminoácido esencial, en un 20% (Bianchi, F., Gardini, F., & Spada, M. 2015).

Impacto en ácidos grasos

Respecto al contenido de ácidos grasos saludables puede aumentar en las harinas alternativas. Un estudio reportó que la fermentación de harina de almendra aumentó el contenido de ácido oleico en un 10% (Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C. J., & Wittmann, C. 2019). Otro estudio, reporta que el contenido de fibra insoluble de las harinas alternativas puede disminuir como el estudio de trigo sarraceno redujo su contenido de fibra insoluble (Al-Ghamdi, A., Al-Dabbagh, M., & Al-Othman, M. 2021).

Además de los efectos sobre las propiedades fisicoquímicas anteriormente mencionadas, la fermentación ácido láctica también puede mejorar el color, sabor, la textura y el aroma de los granos andinos en la elaboración del pan (Benavides, R. M., Rodríguez, I., & Inampué, M. (2023).

Análisis De Los Beneficios De La Fermentación En Productos De Panificación

La fermentación de harinas alternativas desempeña un papel clave en la mejora de la calidad de los alimentos al descomponer compuestos complejos y liberar nutrientes esenciales. Este proceso promueve la digestibilidad de los productos finales, lo cual es especialmente importante para quienes tienen problemas digestivos o sensibilidades a ciertos alimentos (Zarate, Sáez 2020).

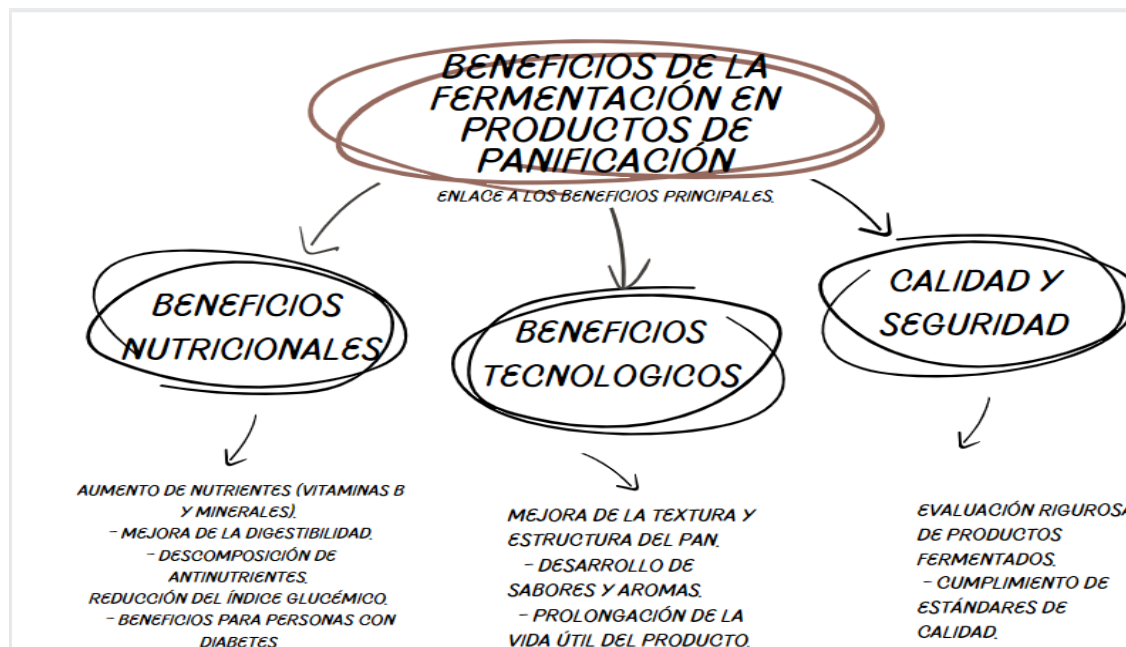
Además, la fermentación promueve la disponibilidad de nutrientes al reducir los antinutrientes como el ácido fítico que se encuentra en algunos alimentos. Para harinas alternativas sin gluten como la quinua o el arroz, la fermentación puede mejorar la tolerancia al gluten en personas celíacas o sensibles, aunque se enfatiza que esto no hace que las harinas que contienen gluten sean seguras para los celíacos. Otro aspecto importante es el efecto positivo de los probióticos en los alimentos fermentados sobre el sistema inmunológico (Méndez 2020).

Estos microorganismos beneficiosos pueden mejorar la salud intestinal y modular la respuesta inmune del cuerpo. Además, la fermentación puede reducir el índice glucémico de los alimentos, haciéndolos más adecuados para diabéticos o aquellos que quieran mantener estables los niveles de azúcar en sangre. A pesar de estas ventajas, es importante evaluar los productos finales en función de su valor nutricional y características específicas. Se enfatiza la importancia de consultar a un médico antes de realizar cambios dietéticos importantes, especialmente para personas con afecciones médicas específicas. Aunque la fermentación mejora significativamente la calidad de los alimentos, se requieren estudios y análisis específicos para garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos fermentados y para satisfacer los estándares de calidad y las expectativas de los consumidores (Valero, Colina, Herrera 2015).

A continuación, se presenta de forma sintetizada los beneficios de la fermentación en productos de panificación.

Figura 4

Beneficios de la fermentación en productos de panificación



Fuente: Elaboración propia (2024)

En cuanto a los beneficios de la fermentación en productos de panificación con base en la Figura 4, se evidencia que se puede incrementar micronutrientes esenciales para la salud de las personas, mejorar la digestibilidad, reducir antinutrientes, respecto a los beneficios tecnológicos, se encontró que puede mejorar la textura, sabores, aromas y por ende mejorar la vida útil del producto. En caso de trabajar con cultivos starter se puede cumplir con los estándares de calidad.

Conclusiones

En la revisión bibliográfica se evidenció que los granos andinos pueden ser un potencial nutricional para la industria de alimentos encontrando que las harinas más empleadas son la quinua, la cañihua, y el amaranto, por su alto valor proteico y contenido de grasa en comparación a otros cereales, por otro lado, estos cultivos son reconocidos por ser granos libres de gluten.

Se evidenció en esta monografía que existen harinas alternativas a nivel mundial más empleadas como la quinua y amaranto que se pueden incluir en formulaciones en productos de panificación, por ejemplo, algunos estudios usan 15% de harina de quinua, 15% al 20% harina de amaranto, respecto a la cañihua es poco empleada en la industria y reportada en estudios. Sin embargo, se concluye que la inclusión de dichas harinas de granos andinos son bajas comparado a otros cereales, debido a que afecta las características sensoriales, texturales, y físicas del producto final.

En esta revisión se encontró en las características tecnofuncionales son diferentes para las harinas alternativas evaluadas, evidenciando que la harina de quinua presenta un alto índice de absorción de agua en comparación a la harina de amaranto y cañihua, mientras el índice de solubilidad en agua puede ser más alto para la harina de cañihua que harina de amaranto, resultados que pueden favorecer en la textura y el sabor.

Se concluye que las harinas de granos andinos como quinua y amaranto se pueden fermentar con cepas propias de la harina o con cepas específicas: *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophiles*, *Lactobacillus plantarum* C48 y *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* PU1, *Lactobacillus plantarum* 1 (JC5) y *Lactobacillus plantarum* JCM1149 (C20). Sin embargo, los porcentajes empleados para

la inclusión de productos de panificación pueden ser del 40% al 100%, dependiendo de las cepas y variables controladas.

Respecto a las características nutricionales se evidencia que la fermentación puede incrementar algunos compuestos como fenoles y proteína, así como favorecer la textura como la dureza, elasticidad, cohesividad de productos de panificación.

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, J., Thomas, L., & Arfat, Y. A. (2019). Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 116, 302–311.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.039>
- Agronet. (2023). *Estadísticas agrícolas, área y producción de la Quinoa en Colombia*.
- Alemayehu, F. R., Bendevis, M. A., & Jacobsen, S-E. (2015). The potential for utilizing the seed crop amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(5), 321-329. <https://doi.org/10.1111/jac.12108>
- Arcila, N, & Mendoza, Y. (2006). Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(1), 114-124.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100010&lng=es&tlng=es.
- Arranz-Otaegui, A., González, M., Ramsey, D., & Rich, T. (2018). *La evidencia arqueobotánica revela los orígenes del pan hace 14.400 años en el noreste de Jordania*. PNAS, 115(31), 33-55.
- Bartolo, D. (2013). Propiedades nutricionales y antioxidantes de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista de Investigación Universitaria*. 2(1), 47-53.
<https://doi.org/10.17162/riu.v2i1>

- Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (2014). “*Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 724 páginas
- Begazo, F. y Bravo, G. (2020). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de una panificadora de panes nutricionales a base de granos andinos en la ciudad de Arequipa [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Ruiz de Montoya]*. Repositorio Institucional UARM. <http://hdl.handle.net/20.500.12833/2145>
- Békés, F., Schoenlechner, R., & Tömösközi, S. (2017). Chapter 14 - Ancient Wheats and Pseudocereals for Possible use in Cereal-Grain Dietary Intolerances. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00014-0>
- Benavides, R.M., Rodríguez, I., & Inampué, M. (2023). Functional, nutritional, and technological potential of quinoa through lactic acid fermentation: a review. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3).
- Beniwal, S., Devi, A., & Sindhu, R. (2019). Effect of grain processing on nutritional and physicochemical, functional and pasting properties of amaranth and quinoa flours. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18(3):500-507.
- Bledsoe, A. C., King, K. S., Larson, J. J., Snyder, M., Absah, I., Choung, R. S., & Murray, J. A. (2019). Micronutrient Deficiencies Are Common in Contemporary Celiac Disease Despite Lack of Overt Malabsorption Symptoms. *Mayo Clinic proceedings*, 94(7), 1253–1260. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.11.036>

Bolivar, G., Ramirez, C., Bolivar, E., Ceballos, C., & Betancourt, D. (2018). *Efecto de la formación de exopolisacáridos por bacterias ácido lácticas sobre las propiedades reológicas de masas de harina de quinua*. Informe final proyecto de investigación código 7969. Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/11116>

Bolívar, G, Ramírez, C, Bolívar Monsalve, E, Ceballos González, C y Betancourt Gordillo, D. (2018). *Efecto de la formación de exopolisacáridos por bacterias ácido lácticas sobre las propiedades reológicas de masas de harina de quinua*. <http://hdl.handle.net/10893/11116>

Bravo, R., Andrade, K., Valdivia, R., & Soto, J. L. (2010). Investigaciones sobre especies olvidadas y subutilizadas: granos andinos (quinua, cañahua/cañihua y amaranto/kiwicha): Resúmenes de trabajos de grado y tesis de maestría realizadas en Bolivia y Perú (2001-2010). <https://hdl.handle.net/10568/104703>

Bruin, A. (1964). Investigation of the Food Value of Quinoa and Cañihua Seed. *Journal of Food Science.*, 29: 872-876. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)

Campos-Rodriguez, Jordy, Acosta-Coral, Katherine, & Paucar-Menacho, Luz María. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209-220. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>

Capurro Lévano, J. M., & Huerta Lauya, D. G. (2016). *Elaboración de galletas fortificadas con sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha (*amaranthus caudatus*), quinua (*cheropodium quinoa*) y maíz (*zea mays*)*. Trabajo de grado para optar como

ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional del Santa.

<https://hdl.handle.net/20.500.14278/2629>

- Caputo, L., Visconti, A., & De Angelis, M. (2015). Selection and use of a *Saccharomyces cerevisiae* strain to reduce phytate content of wholemeal flour during bread-making or under simulated gastrointestinal conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 400-417.
- Campos-Rodriguez, Jordy, Acosta-Coral, Katherine, & Paucar-Menacho, Luz María. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209-220. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Carcasi, A., & Pereira, D. (2014). Determinación de características físicas en semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante procesamiento digital de imágenes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 5 (2), 148-165.
- Carciochi, R., Manrique, G., & Dimitrov, K. (2014). Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Food Research Journal*, 21(2), 767-773.
- Carmona Pinto, Wilmer, & Orsini Velázquez, Giovannina. (2010). Sinopsis del subgénero *amaranthus* (*amaranthus*, *amaranthaceae*) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 33(2), 329-355. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062010000200009&lng=es&tlng=es.

- Carvajal, S. (2022). *Evaluación de factibilidad estratégica, técnica y económica para la producción de alforfón destinado a la elaboración de productos para el consumo humano*. Tesis para optar magíster en gestión y dirección de empresas. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188747>
- Carbó, R., Gordún, E., Fernández, A., & Ginovart, M. (2020). Elaboration of a spontaneous gluten-free sourdough with a mixture of amaranth, buckwheat, and quinoa flours analyzing microbial load, acidity, and pH. *Food science and technology international Ciencia y tecnología de los alimentos internacional*, 26(4), 344–352. <https://doi.org/10.1177/1082013219895357>
- Ceballos-González, C., J. Bolívar-Monsalve, C. Ramírez-Toro, y G. A. Bolívar. (2018). Effect of lactic acid fermentation on quinoa dough to prepare gluten-free breads with high nutritional and sensory quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), e13551. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13551>
- Chacaliaza Rodríguez, L., Espinoza Begazo, G., Ramos Escudero, F. y Servan, K. (2016). Proximate chemical composition and content of biologically active components in leaves of two quinoa cultivars (Salcedo and Altiplano) produced in Peru. *Research Journal of Medicinal Plant*, 10 (8), 450-456.
- Chandra, S., & Samsher, S. (2013). Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38), 4849-4852. https://www.researchgate.net/publication/277740742_Assessment_of_functional_properties_of_different_flours

- Costa, A. F., Sugai, E., Temprano, M. P., Niveloni, S. I., Vázquez, H., Moreno, M. L., Domínguez-Flores, M. R., Muñoz-Suano, A., Smecuol, E., Stefanolo, J. P., González, A. F., Cebolla-Ramirez, A., Mauriño, E., Verdú, E. F., & Bai, J. C. (2019). Gluten immunogenic peptide excretion detects dietary transgressions in treated celiac disease patients. *World journal of gastroenterology*, 25(11), 1409–1420.
<https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i11.1409>
- Coda, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of gamma-aminobutyric acid (GABA). *International journal of food microbiology*, 137(2-3), 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.010>
- Cheng, J.; Lei, S.; Gao, L.; Zhang, Y.; Cheng, W.; Wang, Z.; Tang, X. Effects of Jet Milling on the Physicochemical Properties of Buckwheat Flour and the Quality Characteristics of Extruded Whole Buckwheat Noodles. *Foods* <https://doi.org/10.3390/foods11182722>
- Chura, Ernesto, Mujica, Ángel, Haussmann, Bettina, Smith, Karl, Flores, Silvia, & Flores, Ada Luz. (2019). Agronomic characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) progeny from close and distant self-fertilized s5 simple crosses. *Ciencia e investigación agraria*, 46(2), 154-165. <https://dx.doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2142>
- Delgado P., Adriana I., Palacios C., Jaime H., & Betancourt G., Carlos. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 159-167.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652009000200004&lng=en&tlng=es

- Di Cairano, M., Condelli, N., Caruso, M., Marti, A., Cela, N., & Galgano, F. (2020). Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109860>
- Diaz, R. (2013). *Evaluación de la fermentación acidoláctica de la masa para productos depanificación con inclusión de quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. Tesis maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos maestría. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20060>
- Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H. (2005) The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice-Based Expanded Snacks. *Journal of Food Engineering*, 66, 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Dussán-Sarria, Saúl, Hurtado-Hurtado, Deisy L., & Camacho-Tamayo, Jesús H.. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Encomenderos, S. (2019). *Efecto de la sustitución de harina de trigo (Triticum aestivum) por harina de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas dulces*. Trabajo de grado para optar como ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4814>

- El-Serafy RS, El-Sheshtawy A-NA, Abd El-Razek UA, Abd El-Hakim AF, Hasham MMA, Sami R, Khojah E, Al-Mushhin AAM. Growth, Yield, Quality, and Phytochemical Behavior of Three Cultivars of Quinoa in Response to Moringa and Azolla Extracts under Organic Farming Conditions. *Agronomy*. 2021; 11(11):2186.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11112186>
- Ferrari, A., Vinderola, A., & Weil, R. (2020). *Alimentos fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.: Instituto Danone del Cono Sur.
- Forssmann, A. (20 de marzo de 2018). *El pan más antiguo del mundo, de 14.400 años de antigüedad, es anterior a la agricultura*. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/pan-mas-antiguo-mundo-14400-anos-antigüedad-es-anterior-a-agricultura_12978
- Frossi, B., De Carli, M., & Calabrò, A. (2019). Coeliac Disease and Mast Cells. *International journal of molecular sciences*, 20(14), 3400. <https://doi.org/10.3390/ijms20143400>
- García-Mazcorro, E., Rodríguez-Ramírez, M. D., García-Camacho, J. M., & López-Herrera, J. M. (2018). Evaluación del contenido de proteína y aminoácidos de la harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) en función de la variedad y el método de procesamiento. *Revista de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria*, 24(6), 363-370.
- García, A., Torres, D., Flores, T., Aguilar, S., Rodríguez, K., & Chávez, R. (2022). Masas Libres de Gluten: Efecto de la Fermentación en sus Propiedades. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 14(28), 44-56.
- García Pacheco, Y., Cabrera Mercado, D., Ballestas Santos, J. A., & Campo Arrieta, M. J. (2019). *Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tecfuncionales*

de la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus L.*) y la determinación de su potencial uso agroalimentario. INGE CUC, 15(2), 132-142.

<https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.13>

Ghumman, A., Mudgal, S., Singh, N., Ranjan, B., Kaur, A., & Rana, J. C. (2021).

Physicochemical, functional and structural characteristics of grains, flour and protein isolates of Indian quinoa lines. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 140, 109982.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109982>

Guzmán, Bianca, L. Cruz, Dora, Alvarado, Juan A, & Mollinedo, Patricia. (2013).

Cuantificación de saponinas en muestras de Cañihua *Chenopodium pallidicaule* Aellen.

Revista Boliviana de Química, 30(2),

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602013000200004&lng=es&tlng=es.

Hernández Ordoñez M, Duran Osorio D. Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.10(2):61-74. <https://core.ac.uk/download/pdf/230757329.pdf>

Huamanchumo, W. (2020). *Pseudocereales andinos: valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten*. Trabajo de grado para optar como máster universitario en gestión de la seguridad y calidad alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia.

<http://hdl.handle.net/10251/151184>

Huaman Viera, H. K., & Shuan Huanca, S. G. (2018). *Obtención de saponina de la corteza de quinua (Chenopodium quinoa) mediante extracción hidroalcohólica*. Tesis para optar el

título profesional de ingeniero químico. Universidad nacional del callao.

<https://hdl.handle.net/20.500.12952/3603>

Infante R., H., Albesiano, S., Arrieta V., L., & Gómez V., N. (2018). Caracterización morfológica de variedades de *Chenopodium quinoa* cultivadas en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 329–339. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.977>

Jeréz Garcés, D. E. (2017). *Industrialización de granos andinos elaboración de pan integral de quinoa. Ecuador: Ecuador*. Trabajo de grado para optar como ingeniero Agroindustrial Universidad Técnica de Cotopaxi.

<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4193/1/UTC-PC-000108.pdf>

Koziol, M. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(1), 35-68.

Laurentin, A., & Edwards, C. (2005). Resistant starch and oligosaccharides. *Guide Nutr. Suppl*, 84, 246-253.

León, A., & Rossel, C. (2007). *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de Iberoamérica*, ISEKI-Food.

León-Revelo, G., Ramos-Sánchez, L., Pineda-Insuasti, J., Soto-Arroyave, C., & Santiago-Vispo, N. (2015). Cribado de microorganismos y materias primas para intensificar la producción de enzimas celulasas en fermentación en estado sólido. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 49(2), 50-57.

- Lio, J., & Wang, T. (2012). Solid-state fermentation of soybean and corn processing coproducts for potential feed improvement. *J Agric Food Chem*, 60(31): 7702-7709.
- López-Sánchez, J., Ponce-Alquicira, E., Pedroza-Islas, R., de la Peña-Díaz, A., & Soriano-Santos, J. (2016). Effects of heat and pH treatments and in vitro digestion on the biological activity of protein hydrolysates of *Amaranthus hypochondriacus* L. grain. *Journal of food science and technology*, 53(12), 4298–4307.
<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2428-0>
- Maidana, Stefania; Finch, Susan; Garro, Marisa Selva; Savoy, Graciela; Gänzle, Michael; et al.; Development of gluten-free breads started with chia and flaxseed sourdoughs fermented by selected lactic acid bacteria; Elsevier Science. *LWT - Food Science and Technology*. 125; 5-2020
- Martín Herrero, A. (2022). *Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de amaranto*. Trabajo Fin de Máster Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
<http://hdl.handle.net/10251/185390>
- Martínez, J. J., Carballo Herrera, A. R., & Rocha Román, L. (2016). Harina de maíz fortificada con polvo de Moringa oleífera: alternativa para la lucha contra el hambre en la población vulnerable. *Revista De Ciencias*, 20(2), 10. <https://doi.org/10.25100/rc.v20i2.4675>
- Martínez, Y., Gómez, A., Ferro, E., A, C., & Hidalgo, I. (2020). Respuestas adaptativas de comunidades campesinas ante los efectos del cambio climático, Parque Nacional Viñales. *Avances*, 22(3),373-387.

- Massari, S., Plencovich, A., & Zarza, D. (2017). *Harina de amaranto y semillas de lino en la elaboración de Scones: aportando aminoácidos y ácidos grasos esenciales*. UNC. Trabajo de investigación para la licenciatura en nutrición.
- Mayans, C. (14 de Julio de 2022). *Reproducen cómo horneaban el pan los antiguos egipcios*. Obtenido de National Geographic: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/reproducen-como-horneaban-pan-antiguos-egipcios_16362
- Mayta, N. (2019). *Prospectiva económica de la producción y comercialización de la cañihua (Chenopodium pallidicaule aellen) en la región puno*. Tesis para optar el grado de magister scientiae en agronegocios. Universidad nacional agraria la molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4065>
- Meale, S. J., Chaves, A. V., Baah, J., & McAllister, T. A. (2012). Methane Production of Different Forages in In vitro Ruminant Fermentation. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 25(1), 86–91. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11249>
- Mehta, B. M., Kamal-Eldin, A., & Iwanski, R. Z. (Eds.). (2012). *Fermentation: effects on food properties*. CRC Press.
- Mejía-Valvas, Rhodes Leopoldo, Gómez-Pando, Luz, & Pinedo-Taco, Rember. (2021). Caracterización de las unidades productivas del cultivo de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en las provincias de Yungay, Huaylas y Carhuaz, en el departamento de Áncash, Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1440. 2021. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1440

Miranda, R., Dominguez, N., Giménez, M., Lobo, M., & Sammán, N. (2022) *Tecnofuncionalidad de harinas*. IN 24, 3.

Monteiro, G., Arroyo, L., & Pizzinatto, S. (2015). Mezcla del marketing verde: una perspectiva teórica. *Cuadernos del CIMBAGE*, 17, 103- 126.

Mor, P. (2021). *Evaluación del impacto del proceso de fermentación en estado sólido con Pleurotus ostreatus en las propiedades de la quinoa*. Trabajo final de grado en biotecnología. Universidad Politécnica de València.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/173636>

Montero-Quintero, K. C., Moreno-Rojas, R., Molina, E. A., Colina, M. S., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regimenes dietéticos. *Interciencia*, 40(7), 473-478.

Mudgett, R. (1986). *Solid State Fermentation*. En: *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. New York: Demain. Mo Graw Hill.

Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. (2017). *Gluten-free baking: Combating the challenges-A review*. *Trends in Food Science & Technology*., 66, 98-107.

Noguera Molina, L. C (2023). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas en mantecadas artesanales enriquecidas con harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y garbanzo (Cicer arietinum L.) producto típico de Cundinamarca*. Trabajo de grado para optar como ingeniero de alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55159>

- Ogunbenle H. N. (2003). Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa) flour. *International journal of food sciences and nutrition*, 54(2), 153–158. <https://doi.org/10.1080/0963748031000084106>
- Pakars, I. (2020). *Evaluación de pan fortificado a base de lactosuero con tres diferentes niveles de harina de granos andinos (Chenopodium quinoa - Chenopodium pallidicaule) como sustitución parcial de harina de trigo (Triticum aestivum) en el municipio de Viacha*. Tesis de grado para optar como ingeniería en producción y comercialización agropecuaria. Universidad mayor de San Andrés. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25337>
- Palomino, K., Llerena, D., & Repo, V. (2022). Effect of the inclusion of whole wheat quinoa and amaranth flour in squid nuggets. *Rev. investig. Altoandin.*, 24(2), 94-100.
- Pellegrini, M., Gonzales, R., Fontecha, J., Fernández, J., & Pérez, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, technofunctional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (Chenopodium quinoa Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, 11, 38-46.
- Pérez, A. (2010). *Cultivo de kiwicha en la sierra central*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA.
- Parra Huertas, Ricardo Adolfo (2010). Review bacteria acido lacticas papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 93-105. + http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612010000100012&lng=en&tlng=es.

PlataPérez, F. X., RicaldeVelasco, R., MelgozaContreras, L. M., MendozaMartínez, G. D., & FrancoGuerra, F. J. (2004). Efecto de la dosis de a amilasa (*Bacillus licheniformis*), temperatura de solución molido del grano de sorgo en la aglutinación del almidón y digestibilidad ruminal in vitro. *Interciencia*, 29(12), 686-691.

Quilli, E., & Guerra, C. (2017). *Evaluación del comportamiento de almidones y harinas de dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) procesada para la preparación de harinas precocidas*. Universidad Nacional del Altiplano.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6147>

Rahmani, F., Gandomi, H., Noori, N., Faraki, A., & Farzaneh, M. (2021). Microbial, physiochemical and functional properties of probiotic yogurt containing *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* enriched by green tea aqueous extract. *Food science & nutrition*, 9(10), 5536–5545. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2512>

Rodríguez-González, Ibeth, Benavides-Guevara, Ruth Mary, Jurado, Brenda K, Marulanda, Melissa, & Zuluaga-Domínguez, Carlos M. (2023). Propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales en galletas elaboradas con trigo, avena y quinua. *Ingeniería y competitividad*, 25(2), e12242.. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i2.11242>

Repo de Carrasco, Ritva, & Encina Zelada, Christian Rene. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 85-99. +
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200002&lng=es&tlng=es.

- Richter, T., Arranz-Otaegui, A., & y Yeomans, L. (2017). Fechas AMS de alta resolución de Shubayqa 1, noreste de Jordania revelan orígenes complejos del natufiense epipaleolítico tardío en el Levante. *Nature Science Reports*, 7(1), 33-56.
- Rodríguez-González, Ibeth, Benavides-Guevara, Ruth Mary, Jurado, Brenda K, Marulanda, Melissa, & Zuluaga-Domínguez, Carlos M. (2023). Propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales en galletas elaboradas con trigo, avena y quinoa. *Ingeniería y competitividad*, 25(2), e12242.. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.11242>
- Roldán Acero, David, Omote-Sibina, Juan Rodolfo, Molleda Ordoñez, Andrés, & Olivares Ponce, Fabiola. (2022). Desarrollo de barras nutritivas utilizando cereales, granos andinos y concentrado proteico de pota. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 17-26. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.383>
- Ruales, J. and Nair, B.M. (1994) Properties of Starch and Dietary Fibre in Raw and Processed Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) Seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45, 223-246. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01094092>
- Salcedo, A. (2013). *Evaluación de la fermentación acidoláctica de la masa para productos de panificación con inclusión de quinoa (Chenopodium quinoa Willd)*. Tesis para optar como magíster en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20060>
- Sánchez, S., Norge, H., Otero, S., & Antonio, J. (2020). Enfermedad Celíaca en el adulto. Un reto en el nuevo milenio. *MultiMed. Revista Médica. Granma*. 949-968.

Santos, A. (2019). *Mercado potencial para la Quinoa colombiana*. Universitaria Agustiniiana. Programa de negocios Internacionales.

<http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1214>

Shi, D., Fidelis, M., Ren, Y., Stone, A., & Nickerson, M. (2019). The functional attributes of Peruvian (Kankolla and Blanca juli blend) and Northern quinoa (NQ94PT) flours and protein isolates, and their protein quality. *Food Research International*. 128, 108799.

Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C.J. et al. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Appl Microbiol Biotechnol* 103, 9263–9275 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>

Tovar, Juscelino, Fernández-Piedra, Mireya, & Blanco-Metzler, Adriana. (2005). Digestibilidad in vitro del almidón en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*phaseolus vulgaris* l.. *Interciencia*, 30(12), http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001200011&lng=es&tlng=es.

Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A. R., Barat, J. M., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustentación harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reologicas de la masa y textuales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 307-317.

Valdez-Arana, J. D., Steffolani, M. E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Pérez, G. T., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International journal of*

biological macromolecules, 147, 997–1007.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.067>

Valencia, G., Moraes, D., & Pérez, S. (2015). Physicochemical, Morphological, and Functional Properties of Flour and Starch from Peach Palm (*Bactris gasipaes* K.) Fruit. *Starch-Stärke*, 67(1- 2), 163-173. <https://doi.org/10.1002/star.201400097>

Valiño, E. C., Elías, A., Torres, V., Carrasco, T., & Albelo, N. (2004). Mejoramiento de la composición del bagazo de caña de azúcar por la cepa *Trichoderma viride* M5-2 en un biorreactor de fermentación en estado sólido. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(2), 145-153.

Vargas Zambrano, Plinio, Arteaga Solorzano, Rudyard, & Cruz Viera, Luis. (2019) Analisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Centro Azúcar*, 46(4), 89-100. Epub 01 de diciembre de 2019.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000400089&lng=es&tlng=es.

Vasquez-Lara, F.; Verdú Amat, S.; Islas, AR.; Barat Baviera, JM.; Grau Meló, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*. 17(2):307-317. <http://hdl.handle.net/10251/113263>

Vidaurre-Ruiz, Julio Mauricio, Salas-Valerio, Walter Francisco, & Repo-Carrasco-Valencia, Ritva. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en

un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(1), 5-

14. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.44>

Vilcacundo, A., & Cano, D. (2022). *Valor nutricional y biológico del amaranto variedad Amaranthus Caudatus L. (kiwicha)*. Trabajo de grado para optar ingeniería en alimentos. Universidad Técnica de Ambato.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34924/1/AL%20815.pdf>

Villar Lozano, N. (2021). *Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinoa*. Trabajo fin de máster universitario en ciencia e ingeniería de los alimentos. Universidad Politécnica de València.

<http://hdl.handle.net/10251/175400>

Wright, K., Huber, K., Fairbanks, D., & Huber, C. (2002). Isolation and characterization of *Atriplex hortensis* and sweet *Chenopodium quinua* starches. *Cereal Chemistry*, 79, 715-719.

Zegarra, Saby, Muñoz, Ana María, & Ramos-Escudero, Fernando. (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. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>