RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Paula Andrea Batista Bayona
FACULTAD	Ciencias Agrarias y del Ambiente
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Producción Animal
DIRECTOR	Dr Miguel Ángel García Parra
CO-DIRECTOR	Dra (c) Jelsy Millena Jácome Suárez
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis del potencial Nutricional de tres cultivares de quinua para animales No Rumiantes: Un enfoque composicional y de digestibilidad *in vitro*"
TITULO EN INGLES	Analysis of the Nutritional Potential of Three Quinoa Cultivars for Non-Ruminant Animals: A Compositional and In Vitro Digestibility Approach"

RESUMEN
(70 palabras)

Este análisis se enfoca en evaluar el valor nutricional de tres diferentes cultivares de quinua, con el objetivo de determinar su potencial como alimento para animales no rumiantes. El estudio aborda la composición química de los cultivares, su digestibilidad in vitro, lo que permite prever su efectividad, eficiencia en la alimentación animal. Se espera identificar diferencias significativas entre los cultivares en términos de macronutrientes clave, como proteínas, carbohidratos y lípidos.

RESUMEN EN INGLES

This analysis focuses on evaluating the nutritional value of three different quinoa cultivars, with the objective of determining their potential as food for non-ruminant animals. The study addresses the chemical composition of the cultivars, their in vitro digestibility, which allows predicting their effectiveness and efficiency in animal feeding. It is expected to identify significant differences between the cultivars in terms of key macronutrients, such as proteins, carbohydrates and lipids.

PALABRAS CLAVES	Nutrición, Alimentación, Suelo, Rumiantes, Fertilización.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Nutrition, Food, Soil, Ruminants, Fertilization.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 114	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:

Análisis del potencial Nutricional de tres cultivares de quinua para animales No Rumiantes: Un enfoque composicional y de digestibilidad *in vitro*"

Paula Andrea Batista Bayona

Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Maestría en Producción Animal

Dr Miguel Ángel García Parra

Dra (c) Jelsy Millena Jácome Suárez

Agosto 21 de 2024

Agradecimientos

Agradezco a Dios por sus bendiciones, por ser mi guía y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Gracias a mi madre por ser la principal precursora de mis sueños, quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A mi familia, por su apoyo y sus palabras de aliento, motivación y superación, las cuales han sido cruciales para mantenerme motivada y enfocada en la culminación de esta tesis; Su presencia y respaldo han sido un pilar fundamental en este viaje académico. Con estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mis directores de tesis, cuyo asesoramiento y guía han sido esenciales para el desarrollo y éxito de este trabajo.

Así mismo, hago un agradecimiento especial al profesor Alirio Eduardo Gómez Lázaro por su valioso apoyo durante todo el proceso como profesional, por sus enseñanzas, por su voto de confianza siempre hacia mis capacidades, por su gran y valiosa amistad; igualmente expreso mis agradecimientos a la profesora Miryam Meza Quintero por todos los conocimientos impartidos durante mi formación profesional, su apoyo y colaboración en mi proceso académico como magister y por su valiosa amistad.

Finalmente, mi agradecimiento se extiende a todos aquellos compañeros que me bridaron su apoyo, palabras de aliento y de una manera u otra, contribuyeron con la realización de esta tesis. Sin el apoyo y la colaboración de cada uno, este logro no habría sido posible.

Índice

Capítulo 1. Análisis del potencial alimenticio de tres cultivares de quinua para animales no ruminantes en Ocaña - Norte de Santander: Un enfoque composicional y de digestibilidad *in vitro*" 11

1.1 Planteamiento del problema 11

1.2 Formulación del problema 13

1.3 Objetivos 14

1.3.1 Objetivo general 14

1.3.2 Objetivos específicos 14

1.4 Justificación 14

1.5 Delimitaciones 17

1.5.1 Operativa 17

1.5.2 Geográfica 18

1.5.3 Conceptual 19

1.5.4 Temporal 19

Capítulo 2. Marco referencial 20

2.1 Antecedentes del tema 20

2.1.1 Antecedentes internacionales 20

2.1.2 Antecedentes nacionales 21

2.1.3 Antecedentes locales 22

2.2 Marco teórico 23

2.2.1 La quinua y sus características generales 23

2.2.2 Relación entre agronómica y nutricional de la quinua 25

2.2.3 Diversidad genética y variedades de cultivares de quinua 27

2.3 Marco conceptual 30

2.4 Marco legal 33

Capítulo 3. Diseño metodológico 36

3.1 Ubicación 36

3.2 Tipo de Investigación y enfoque 37

3.3 Población y muestra 37

3.4 Diseño experimental 38

3.5 Identificar las características fisicoquímicas de los granos de quinua a través de sus atributos proximales. 38

3.5.1 Análisis proximal 39

3.5.1.1 Determinación de materia seca 39

3.5.1.2 Determinación de cenizas 39

3.5.1.3 Determinación de extracto etéreo o grasa bruta. 40

3.5.1.4 Determinación de proteína bruta. 40

3.5.1.5 Determinación de fibra bruta. 42

3.6 . Establecer las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales 43

3.7 . Analizar la digestibilidad in *vitro* de las semillas de quinua en animales monogástricos, teniendo en cuenta los cultivares evaluados. 46

Capítulo 4. Resultados y Discusiones 48

4.1 Identificar las características fisicoquímicas de los granos de quinua a través de sus atributos proximales. 48

4.1.1 Proteína 48

4.1.2 Fibra Bruta 54

4.1.3. Extracto Etéreo 57

4.1.4. Cenizas 60

4.1.5 Materia Seca 61

4.2. Determinación de las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales. 63

4.2.1 Espectroscopia FTIR 63

4.2.2 Deconvolución de proteinas 66

4.2.3 Estructura secundaria del almidón. 68

4.2.4 Cromatografía liquida de Ultra alta resolución (UHPLC) 70

4.3 Determinar el potencial proteico del grano de quinua para animales No Rumiantes, teniendo en cuenta los cultivares a evaluar. 73

Capítulo 5. Conclusiones 77

Capítulo 6. Recomendaciones 79

Referencias 81

Apéndice 108

Lista de tablas

Tabla 1 *Perfil de aminoácidos esenciales según la FAO, comparado con la Chenopodium quinoa Willd* 25

Tabla 2 *Grupos de quinua* 28

Tabla 3 *Categorías de los atributos proximales en granos de tres cultivares de quinua* 38

Tabla 4 *Digestibilidad in vitro en monogástricos* 46

Tabla 5 *Resultados de análisis proximales de Proteína bruta en tres cultivares de quinua* 49

Tabla 6 *Resultados de análisis proximales de Fibra bruta en tres cultivares de quinua* 54

Tabla 7 *Resultados de análisis proximales de Extracto Etéreo en tres cultivares de quinua* 57

Tabla 8 *Resultados de análisis proximales de Cenizas en tres cultivares de quinua* 60

Tabla 9 *Resultados de análisis proximales de Materia Seca bruta en tres cultivares de quinua* 61

Tabla 10 *Picos de transmitancia en granos de tres cultivares de quinua mediante espectroscopia FTIR en el rango entre los 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1}* 64

Tabla 11 *Estructura secundaria de la proteína de harinas de granos de tres cultivares de quinua* 67

Tabla 12 *Análisis de deconvolución de almidones de tres cultivares de quinua* 69

Tabla 13 *Compuestos fenólicos identificados en granos de tres cultivares de quinua* 71

Tabla 14 *Resultados de análisis de digestibilidad In Vitro aplicado a tres cultivares de quinua* 73

Lista de figuras

Figura 1 *Picos de transmitancia en granos de tres cultivares de quinua mediante espectroscopia FTIR en el rango entre los 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1}* 64

Figura 2 *Estructura secundaria de la proteína de harinas de granos de tres cultivares de quinua* 67

Figura 3 *Análisis de deconvolución de almidones de tres cultivares de quinua* 69

Resumen

Este análisis se enfoca en evaluar el valor nutricional de tres diferentes cultivares de quinua, con el objetivo de determinar su potencial como alimento para animales no rumiantes. El estudio aborda tanto la composición química de los cultivares, como su digestibilidad in vitro, lo que permite prever su efectividad y eficiencia en la alimentación animal.

Se espera identificar diferencias significativas entre los cultivares en términos de macronutrientes clave, como proteínas, carbohidratos y lípidos, así como la presencia de antinutrientes que pueden afectar la absorción de nutrientes. Además, la digestibilidad in vitro proporciona una estimación de cómo los animales podrían aprovechar estos nutrientes, lo que es crucial para formular dietas equilibradas. Los resultados de este análisis podrán orientar la selección de cultivares de quinua con mayor potencial nutritivo, contribuyendo al desarrollo de formulaciones alimentarias más efectivas y económicas para anima.

Introducción

La quinua ha ganado relevancia a nivel mundial no solo como un alimento para consumo humano, sino también por su potencial en la alimentación animal. Con un perfil nutricional destacado, que incluye un alto contenido de proteínas de calidad, carbohidratos complejos, y una variedad de minerales y vitaminas esenciales, la quinua se presenta como una opción prometedora para la nutrición de animales no rumiantes, como aves, cerdos y peces.

En el contexto de la búsqueda de alternativas sostenibles y nutritivas para la alimentación animal, es crucial evaluar diferentes cultivares de quinua para identificar aquellos que ofrezcan el mejor equilibrio entre composición nutricional y digestibilidad. Esto permite maximizar el aprovechamiento de los nutrientes por parte de los animales y optimizar las dietas en términos de costo y eficiencia.

El presente análisis se centra en la evaluación composicional y de digestibilidad in vitro de tres cultivares específicos de quinua, con el objetivo de determinar su idoneidad y potencial en la formulación de dietas para animales no rumiantes. A través de este estudio, se pretende aportar datos que puedan guiar la selección de cultivares y contribuir al desarrollo de sistemas alimentarios más sostenibles.

Capítulo 1. Análisis del potencial alimenticio de tres cultivares de quinua para animales no ruminantes en Ocaña - Norte de Santander: Un enfoque composicional y de digestibilidad *in vitro*"

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la implementación de suplementos alimenticios para la producción en sistemas pecuarios es ampliamente utilizada y varían en función del tipo de animal (bovinos, caprinos, aves de corral, porcinos) y del objetivo de producción (carne, leche, huevos, entre otros), lo cual incide directamente en los costos de producción, que en muchos casos, hacienden hasta en un 40%, pudiendo ser mayor según el tipo de producción, el estado fisiológico de los animales y el entorno donde se establece el sistema pecuario (Gómez & Aguilar , 2016).

En consecuencia, la limitada riqueza alimenticia de algunas especies forrajeras que son significativamente utilizadas en los sistemas de producción pecuaria, limita la máxima expresión del potencial genético de las especies de interés zootécnico, lo que implica aumentos significativos en la inversión de suplementos alimenticios que reducen la rentabilidad económica del sistema productivo (Condori-Quispe et al., 2019). Dicho contexto, logra evidenciar que, en la actualidad se han implementado nuevas materias de suplemento comercial que aumenta los gastos de alimentación, poniendo en riesgo la gestión productiva al comprender que este rubro representa entre el 60% y 70% de los gastos totales de producción (Nuñez-Torres, 2017) y la nueva ola de alimentos basados en granos y oleaginosos que elevan considerablemente los

precios al momento de fortalecer el desempeño productivo de las especies en ciertas etapas fisiológicas (Bauza, 2007).

Así bien, diferentes instituciones han contemplado el uso de especies vegetales que entraron en Programas de Mejora Genética (PMG) para obtener alimentos con diversidad composicional (Depablos et al., 2011), sin embargo, su capacidad de adaptabilidad a las diversas condiciones edafoclimáticas adversas se reduce, como consecuencia de la manipulación genética de la especie y, por tanto, estas especies no logran manifestar su alto potencial productivo bajo condiciones propias de campo, lo que impide la producción y disponibilidad de alimentos con cualidades nutricionales dentro de los sistemas de producción animal (Depablos et al., 2011).

Lo anterior, se suma al desconocimiento de especies vegetales que poseen una alta capacidad adaptativa para las diferentes regiones agroecológicas de Colombia, lo que limita la exploración de matrices alimentarias con características proteicas de alto potencial nutricional (García et al., 2020). Además de lo anterior, se suma la pobreza de los suelos de la provincia de Ocaña, lo que limita aún más el establecimiento de especies de interés alimentario para la producción animal (Castellanos et al., 2020).

Bajo este contexto, especies como *Chenopodium quinoa* Willd, se han establecido en algunas regiones del país, principalmente como grano de autoconsumo y con escaso reconocimiento como suplemento para la alimentación en sistemas de producción animal (Asher et al., 2020), perdiéndose la oportunidad de utilizar su potencialidad composicional y nutricional

por falta de investigación relacionada con la quinua y contemplando que cerca del 60% del grano producido, se pierde por falta de procesos de comercialización y consumo (García et al., 2021).

En consecuencia, la falta de exploración de la quinua y sus aportes en el sector pecuario, evidencia que, a pesar de poseer un alto potencial nutricional según los referentes, no se han logrado consolidar investigaciones para el Departamento de Norte de Santander en comparación con lo desarrollado en Cauca, Boyacá, Nariño y Cundinamarca principalmente (Mejía, 2021), evidenciando la falta de aportes académicos que detallen las características composicionales y nutricionales de esta especie como se logró resaltar en el encuentro de investigaciones sobre quinua realizado por el CIAT (Jäger, 2015).

Finalmente, es importante resaltar que el uso de los granos de esta especie no ha tenido un impacto reconocible para su uso como suplemento alternativo en la producción de animales no rumiantes, pues las investigaciones adelantadas en Colombia, no han logrado establecer índices de digestibilidad (Guamanga y Rosero, 2007; Cristancho y Velásquez, 2020), ni características composicionales y estructurales de los granos según el entorno productivo. Por lo tanto, esta propuesta de investigación plantea la siguiente pregunta de investigación:

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el potencial, fisicoquímico, estructural y de digestibilidad *in vitro* de la proteína de granos de diferentes cultivares de quinua procedentes del departamento de Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el potencial alimenticio de granos de diferentes cultivares de quinua a través de sus características fisicoquímicas, estructurales y Nutricionales de la proteína para animales no rumiantes.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las características fisicoquímicas de los granos de quinua a través de sus atributos proximales.

Establecer las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales.

Determinar el potencial proteico del grano de quinua para animales No Rumiantes, teniendo en cuenta los cultivares a evaluar.

1.4 Justificación

La quinua es una especie vegetal de gran importancia en diferentes regiones del mundo, dado principalmente a que se ha propuesto como una alternativa efectiva para hacer frente a la

crisis alimentaria en regiones donde las consecuencias climáticas son fuertes (Bazile et al., 2014). Dicha situación, cobra importancia dado a que la implementación de prácticas durante su producción es fundamental para determinar la riqueza composicional de sus granos (Campos et al., 2022). Por esta razón, ante el inminente panorama de variabilidad climática, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) propuso al 2013 como el Año internacional de la quinua, dado al potencial adaptativo que presenta esta especie y por tanto busca "*propiciar la creación de propuestas de investigación que aborden las prácticas ancestrales en el cultivo de quinua, centrándose en aspectos como la producción, postcosecha e integración en sistemas agroalimentarios sostenibles*" (García-Parra & Plazas-Leguizamón, 2018).

Para el caso de Colombia, el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, reconoce la importancia de identificar y abordar líneas estratégicas que fomenten la investigación de la quinua para su implementación de los sistemas de producción agropecuaria, considerando el desarrollo de proyectos que integren la producción primaria y secundaria como estrategia para hacer frente al cambio climático en las diferentes regiones del país (Jäger, 2015).

Dicho encuentro reunió a los actores más importantes de la cadena productiva de esta especie y que vinculó, además, a diferentes Instituciones de Educación Superior, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, productores locales y agremiaciones como "*agrónomos y veterinarios sin fronteras*" con la finalidad de encontrar oportunidades en las cuales la quinua se establezca como una estrategia para alimentación humana y animal.

Así bien, la quinua y sus semillas (granos) han sido un tema estudiado de manera considerable en Colombia y en las diferentes partes del mundo (Bazile et al., 2014) Sin embargo, múltiples investigaciones han detallado el efecto que tiene las condiciones de producción (tipo de semilla, clima y suelo) sobre su comportamiento vegetal, las características composicionales de sus granos y, por ende, la estructura fisicoquímica de sus macromoléculas que inciden de manera directa sobre el potencial alimenticio que tendría en sistemas de producción pecuaria (Murphy y Matanguihan, 2015; Basantes-Morales et al., 2019; Asher et al., 2020).

Bajo este contexto, esta investigación pretende aportar al estudio de la quinua de manera integral, considerando que los alimentos de origen vegetal, son el resultado del contexto de producción (suelo, planta, clima) y que su capacidad de absorción y asimilación, depende de su organización micro y macroestructural (Bai et al., 2015). De acuerdo con García-Parra et al. (2022) elementos climáticos como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar inciden en la conformación estructuras de tipo proteico, almidonoso y lipídico. Además, algunas investigaciones han resaltado que factores como la temperatura ambiental, determinan la organización en los complejos proteína – almidón, proteína – fibra, fibra – almidón, y por ende la digestibilidad de alimentos en animales (Moyo y Nsahlai, 2021).

Por otro lado, esta investigación considera utilizar técnicas de análisis quimiométrico modernas, que permitan minimizar el impacto ambiental que ocasionan las técnicas de análisis proximal convencional (López, 2018) y que además proporcionan resultados inmediatos de la estructura composicional de los granos para la toma de decisiones (Sánchez Gavilanes, 2016). Así bien, desarrollar estos análisis permitirá tener en cuenta que además del contenido porcentual

de macroestructuras como proteínas, fibras, carbohidratos y lípidos presentes en los granos de quinua, técnicas como la espectroscopía de infrarrojo de rango medio y de cromatografía líquida de alta resolución permite analizar la importancia que tiene la organización microestructural para su suministro como alimento (Stanschewski et al., 2021).

Por otro lado, es importante considerar que la quinua como especie de ciclo corto y con una alta capacidad de adaptabilidad a condiciones agroclimáticas adversas que va desde los 0 hasta los 4000 msnm (Sosa-Zuniga et al., 2017), podría considerarse un alimento suplementario de gran interés para la alimentación animal (Flórez-Martínez et al., 2024), por lo que promover el estudio de digestibilidad en animales monogástricos, como una de las cadenas pecuarias más importantes y de mayor demanda de suplementos alimenticios, fomentaría su producción y uso en la región.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Operativa

La investigación se desarrolló contemplando el análisis fisicoquímico, estructural y de digestibilidad *in vitro* de granos de tres cultivares de quinua procedentes de cultivos establecidos en el municipio de Ocaña – Norte de Santander.

La primera fase completó la cuantificación de estructuras de proteína, fibras, lípidos y cenizas principalmente mediante análisis proximal a fin de poder identificar aspectos distintivos en cada uno de los cultivares evaluados.

La segunda fase se enfocó en utilizar técnicas de espectroscopia de infrarrojo MIR y espectroscopia UHPLC para identificar las características estructurales de los granos de quinua, así como su composición fenólica como herramientas importantes para la identificación de la estructura de macromoléculas de interés en la alimentación de animales no rumiantes.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de la digestibilidad *in vitro* de la fracción proteica de los granos de los diferentes cultivares de quinua analizados, con la finalidad de establecer parámetros que permiten identificar su potencial en la alimentación de animales no rumiantes.

1.5.2 Geográfica

Los granos de los tres cultivares de quinua a analizar, proceden del desarrollo del proyecto titulado “Estudio fisiológico, agronómico y tecnofuncional de la quinua bajo diferentes condiciones de adaptabilidad”. En este sentido, los análisis proximales se llevarán a cabo en el laboratorio de nutrición de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña. Para los análisis de espectroscopia FT-IR y UHPLC se realizarán en el laboratorio de reología de alimentos de la Universidad del Cauca, mientras que los análisis de digestibilidad in vitro se llevarán a cabo en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

1.5.3 Conceptual

Dentro del contexto conceptual establecido en esta propuesta, se hace importante resaltar los rasgos diferenciales que existen entre la diversidad de cultivares de quinua, sus características proximales, los estudios que han desarrollado en torno al uso de técnicas de espectroscopia y su aplicación para la identificación de alimentos y suplementos. Además, investigaciones que evalúen el potencial alimenticio de los granos de quinua mediante digestibilidad in visto, especialmente de la fracción proteica para animales no rumiantes.

1.5.4 Temporal

La temporalidad de la ejecución del trabajo de grado fue de 7 meses desde la aprobación del anteproyecto y firma de los jurados evaluadores.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Antecedentes del tema

2.1.1 Antecedentes internacionales

La región de los Andes es considerada el centro de origen de la quinua *Chenopodium quinoa* Willd, la cual hace parte de las plantas de las familias Amaranthaceae. Durante cientos de años, este cultivo ha enriquecido la historia de Sur América, siendo el alimento principal de las antiguas culturas andinas (Padrón et al., 2015).

La quinua ha tenido un papel importante en los países de esta región, lo que le ha permitido tener reconocimiento mundial en los últimos años debido a sus beneficios nutricionales, lo que ha favorecido su uso e implementación para la construcción de dietas como un alimento saludable y sostenible. Además, es un alimento que durante años ha sido objeto de varias investigaciones que resaltan sus cualidades, potencialidades y acciones a mejorar para su adaptabilidad en diferentes zonas y su potencialidad para la alimentación.

Bajo este contexto, el Centro Internacional de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo en Francia CIRAD, es uno de los epicentros de mayor investigación realizada con esta especie y que lo encabeza en Dr Didier Bazile, quien es el autor principal del Estado del Arte de la Quinua 2014 a raíz del anuncio de la FAO, de declarar al 2014 como el año internacional de la quinua.

A raíz de esta acción, las investigaciones en quinua aumentaron de manera exponencial a través de los años, favoreciendo la promoción, producción y consumo de este grano en las diferentes partes del mundo. Dicho contexto, permitió que el CIRAD conformara se consolidó la red mundial de investigadores en quinua, en la cual participan 5 investigadores colombianos, quienes son los referentes de investigación actual en relación con esta especie como se detalla en el siguiente en enlace: https://gcn-quinoa.org/?CartoMembresEN

2.1.2 Antecedentes nacionales

De acuerdo a lo expuesto, la quinua en Colombia se encuentra cultivada en los departamentos de Nariño, Cauca, Boyacá, Huila y Cundinamarca principalmente. En la actualidad se producción ha venido aumentando dado a la promoción que ha tenido esta especie, por su adaptabilidad a las condiciones cambiantes del clima y el suelo, lo que deja en la actualidad una producción cercana a las 2600 hectáreas, con rendimientos promedios de 1,2 toneladas por hectárea (MinAgricultura, 2018).

Bajo este contexto, el Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, la Corporación de Investigación Agropecuaria de Colombia – AGROSAVIA, la Universidad de Nariño y la Universidad del Cauca y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, son las instituciones colombianas que mayor trayectoria tienen en la investigación relacionada con esta especie, en donde se han abordado temas relacionados con su adaptabilidad ecofisiológica, sus atributos fitogenéticos, su potencial en la industria alimentaria y el fortalecimiento de sus cadenas de comercialización.

En el último encuentro realizado por el CIAT en el 2018, se establecieron las líneas estratégicas a desarrollar en articulación entre las instituciones de educación superior, los centros de investigación, las empresas y las agremiaciones productoras, a fin de potencializar su producción y consumo, así como establecer nuevas alternativas de uso que favorezcan la economía de los campesinos e indígenas que basan su sustento en la quinua. Por tal motivo, diferentes departamentos tales como Cauca y Boyacá, han incorporado este grano dentro de los programas de alimentación escolar, a fin de fortalecer la cadena de producción y favorecer a su campesinado quinuero (Gobernación de Boyacá, 2018).

2.1.3 Antecedentes locales

Luego de una exhaustiva búsqueda de información sobre el uso de las semillas/granos de quinua o para la alimentación de animales en Norte de Santander, se logró identificar que no se encuentran estudios adelantados para esta región y que el proyecto titulado “Estudio fisiológico, agronómico y tecnofuncional de la quinua bajo diferentes condiciones de adaptabilidad” radicado en la División de Investigación y Extensión DIE y financiado por el SGR con código 779 de 2017 y radicado en la División de Investigación y Extensión de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, se convierte en pionero para desarrollar investigaciones que permitan la evaluación, adaptación y validación del potencial de esta especie bajo las condiciones agroclimáticas del departamento de Norte de Santander.

2.2 Marco teórico

2.2.1 La quinua y sus características generales

La quinua es una planta herbácea de desarrollo anual autóctona de los países andinos, según investigadores es originaria del Lago Titicaca y perteneciente a la familia de las amarantáceas. Su fisiología, morfología y metabolismo son caracteres distintivos que han contribuido al fortalecimiento de la quinua como una opción para la seguridad alimentaria de personas y animales, debido a la presencia de moléculas nutricionales de alta calidad en este pseudocereal (FAO, 2014).

Una de sus características fisiológicas preponderante es la capacidad de adaptación a condiciones adversas de climáticas y altitudes, lo que la convierte en un cultivo versátil, como lo resalta Muñoz (2013), al mencionar que la quinua por sus cualidades nutricionales y adaptabilidad en los diferentes pisos ecológicos, es un alimento con gran potencial en la lucha contra el hambre y la desnutrición de regiones con condiciones agroclimáticas difíciles, logrando producirse en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 4.000 m y con capacidad para tolerar temperaturas extremas, sequías y suelos pobres en nutrientes (Peña & Albarracín , 2022).

En este sentido, como estrategia de adaptabilidad, esta especie tiene la capacidad de acumular sustancias osmoprotectoras, que le permiten lograr el equilibrio hídrico, a pesar de considerarse una especie con metabolismo C3. Sin embargo, para desarrolla una mayor capacidad de adaptabilidad, la quinua lleva a cabo estrategias que le permiten activas rutas

bioquímicas para desarrollar procesos de plasticidad metabólica intermitente, lo que modifica las rutas de transporte y translocación de asimilados, desde los órganos fuente, hasta los órganos vertedero (García-Parra et al., 2020).

Igualmente, produce compuestos esenciales para su metabolismo primario, tales como azúcares simples, polímeros, nucleótidos, grasas y sintetiza metabolitos secundarios, que son sustancias de interés alimentario para las personas. Estos compuestos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la planta, así como en su valor nutricional. (Deaquíz, 2014).

Bajo este contexto, los granos de quinua presentan una amplia diversidad de características metabólicas que son el reflejo de las condiciones del entorno de producción y de sus rasgos genéticos, lo que incide de manera directa en su valor nutricional. Algunas de las características composicionales más importantes de estos granos son su contenido proteico, el contenido de lípidos, carbohidratos, fibra, minerales y su alta diversidad en compuestos bioactivos (García-Parra et al., 2022).

Según González et al. (2007), las proteínas presentes en estos granos pueden ser clasificadas con base en su estructura, función, solubilidad y forma, estableciéndose en un alto porcentaje (cerca del 70%) proteínas de tipo globulares y fibrosas. Las proteínas globulares tienen una forma esférica y su estructura incluye α hélice y β sheet, además de regiones no repetitivas como asas y giros, las cuales les confieren funciones específicas (Guevara Peña y Quintero Velásquez, 2021).

La estructura general consiste en el carbono alfa unido a un grupo amino, un grupo carboxilo, un átomo de hidrógeno y un grupo R variable. Los aminoácidos se pueden encontrar como una variedad de esenciales (lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina, veucina, isoleucina, histidina, leucina) y otra de no esenciales (alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glicina, prolina, serina, tirosina) que componen en total 20 aminoácidos estándar existentes en las proteínas.

Tabla 1

Perfil de aminoácidos esenciales según la FAO, comparado con la Chenopodium quinoa Willd

Aminoácidos	FAO	Quinua
Lisina	4.8	6.0
Metionina	2.3	5.3
Fenilalanina	4.1	6.9
Treonina	2.5	3.7
Triptofano	0.7	0.9
Valina	4.0	4.5
Isoleucina	3.0	4.9
Leucina	6.1	6.6

Nota. La tabla muestra los valores de puntuación de aminoácidos recomendados por la FAO para niños, adolescentes y adultos, con relación a los existentes en la quinua (Angeli et al., 2022).

2.2.2 Relación entre agronómica y nutricional de la quinua

Además de su valor nutricional y adaptabilidad, posee una característica destacada y es su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que reduce la dependencia de fertilizantes nitrogenados y contribuye a la salud del suelo. El nitrógeno atmosférico (N_2), que es la forma

más abundante en la atmósfera, no puede ser aprovechado directamente por la mayoría de las plantas; no obstante, ciertas bacterias y microorganismos tienen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas, a través de la fijación de nitrógeno. Dicho elemento, es fundamental estructuralmente dado a que conforma la estructura básica de las proteínas, guardando una estrecha relación entre la disponibilidad de nitrógeno para la absorción en las plantas, con la presencia de este elemento en las semillas, frutos o fibras (Taiz & Zeiger, 2006).

La composición de la quinua y sus particularidades nutricionales la convierten en una elección interesante para su implementación en la dieta de animales. Entre los criterios que valorizan la quinua como suplemento alimenticio para animales de sistemas en sistemas de producción agropecuaria, se destacan: 1) la alta calidad proteica; 2) su contenido rico en minerales esenciales; 3) vitaminas del complejo B, vitamina E y vitamina C; 4) presenta bajos niveles de anti nutrientes como fitatos y taninos.

Es importante también mencionar que la Chenopodium quinoa Willd tiene un contenido significativo de fibra dietética, que es esencial para el funcionamiento adecuado del sistema digestivo de los animales. “El contenido de fibra de la quinua es similar al centeno en fibra dietética y soluble, y más alto en fibra insoluble que el trigo. La extrusión y eliminación de saponinas reducen la cantidad de fibra”. (Tanwar, 2015, pp. 1036-1040)

Estudios han sugerido que la inclusión de quinua en la dieta de los animales puede mejorar la digestibilidad, el crecimiento y la eficiencia alimentaria. Además, se ha observado que

la quinua puede tener propiedades antioxidantes y antinflamatorias, lo que puede ayudar a fortalecer el sistema inmunológico de los animales y reducir el riesgo de enfermedades (Albarraban,2024).

Otra característica destacada de la quinua es su contenido de ácidos grasos esenciales, como la omega 3 y omega 6. Estos ácidos grasos desempeñan un papel crucial en la salud cardiovascular y el sistema inmunológico de los animales. Además, es baja en grasas saturadas, lo que la convierte en una opción favorable para evitar el exceso de grasa en la alimentación animal.

2.2.3 Diversidad genética y variedades de cultivares de quinua

La quinua tiene como principales centros de origen y diversidad de los cultivos, diferentes países que conforman la región Andina. En esta región, se encuentra una amplia variedad genética de la quinua, tanto en su forma silvestre como cultivada, que aún se preserva en condiciones naturales y en los campos de los agricultores colombianos, bolivianos, peruanos e incluso argentinos y chilenos.

Entre los cultivos de América del Sur, la quinua recibió la mayor dedicación y apoyo de los investigadores del sector alimenticio, por lo cual, en la actualidad existen una excelente variabilidad genética disponible del pseudocereal, permitiendo agrupar a las quinuas en 5 grupos mayores según sus características de adaptación y algunas morfológicas de alta heredabilidad, fácilmente detectables y capaces de mantenerse en toda el área de difusión (FAO, 2011).

Tabla 2

Grupos de quinua de acuerdo a Lescano (1989) y Tapia (1990)

Tipo de quinua	Descripción
Quinuas de nivel del mar	Se han encontrado en las zonas de Linares y Concepción (Chile) a 36°L Sur. Estas plantas son de tamaño moderado, con alturas que oscilan entre 1m y 1,4m, con un crecimiento ramificado y granos de color crema transparente, similar al tipo Chullpi. Estas variedades de quinua muestran una notable similitud con la *Chenopodium nuttalliae* (Huauzontle).
Quinuas de valles interandinos	Se adaptan entre los 2500 a 3500 msnm, caracterizadas por su alto desarrollo entre 2,5 m o más de altura y con muchas ramificaciones, inflorescencia laxa y resistencia al mildiu (*Peronospora farinosa*).
Quinuas de salares	Se desarrollan en las zonas de los salares al sur del altiplano boliviano, (la zona más seca con 300 mm de precipitación). Son cultivos únicos de distancias entre 1 m x 1 m y en hoyos para aprovechar mejor la escasa humedad. Son las quinuas que tiene mayor tamaño de grano (> a 2,2 mm de diámetro), llamada "Quinua Real" con semillas que se caracterizan por presentar un pericarpio grueso y alto contenido de saponina.
Quinuas de altiplano	Crecen en áreas mayores como cultivos puros o únicos entre los 3600 a 3800 msnm, en la zona del altiplano peruano-boliviano. Esta región alberga una amplia diversidad de características y produce granos altamente especializados en su uso. Las plantas alcanzan alturas de 0,5 a 1,5 metros, con un tallo que culmina en una panoja principal compacta. En este grupo se encuentran numerosas variedades mejoradas, aunque también son más susceptibles al mildiu cuando se cultivan en zonas más húmedas.
Quinuas de los yungas	Es un grupo reducido de quinuas que se han adaptado a las condiciones de los Yungas de Bolivia a alturas entre los 1.500 y 2.000 msnm, y se caracterizan por ser de desarrollo algo ramificado. Alcanzan alturas de hasta 2,20 m, son plantas verdes, y cuando están en floración toda la planta íntegra, toman la coloración anaranjada.

Nota. Como se observa en la tabla, las quinuas tienen una gran diversidad genética, mostrando variabilidad en la coloración de la planta, en el contenido de proteína y saponina. (FAO, 2011)

De acuerdo con la tabla anterior, la amplia gama de diversidad genética también permite obtener una marcada diferenciación en el contenido y estructuramiento de las macromoléculas que componen los granos, por lo que su síntesis y organización se dan en relación a las necesidades fisiológicas de las plantas. En el caso de la quinua se le reconocen los componentes nutricionales como proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, una amplia gama de minerales como hierro, calcio y magnesio, vitaminas y antioxidantes (FAO, 2023).

Respecto al parámetro de digestibilidad se refiere a la capacidad del organismo para descomponer y absorber los nutrientes, en el caso de la quinua, cuanto mayor sea la digestibilidad, más fácil será para los animales aprovechar los nutrientes presentes en las semillas del pseudocereal. Por ello, la digestibilidad se considera como aquel factor que indica el valor potencial que tiene un ingrediente al ser digerido, absorbido y posteriormente aprovechado por el organismo de un animal ya sea para saciar requerimientos nutricionales o energéticos (BRF Ingredients, 2021).

De otro modo, los aminoácidos son los bloques de construcción de las proteínas y desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de los animales, es decir, son compuestos orgánicos que sirven para la construcción de las proteínas. Estos aminoácidos se conectan a través de vínculos peptídicos entre los grupos carboxilo y el grupo a-amino, provocando la eliminación de una molécula de agua en el proceso (Martínez & Martínez de Victoria Muñoz, 2016, pp. 25-47).

Por ello, al ser la quinua rica en aminoácidos esenciales como la fenilalanina, la histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, entre otros; se convierte en una valiosa fuente alimenticia para la suplementación de los animales. En contraste, la fibra es otro componente relevante e influyente en la salud digestiva y en la regulación del tránsito intestinal. La quinua contiene una cantidad significativa de fibra dietética, proporcionando un sustrato fermentable en el tracto digestivo, favoreciendo el equilibrio del microbiota y la eficiencia de la digestión, contribuyendo a la prevención de trastornos digestivos (Flores, 2018).

Con respecto a la suplementación alimenticia animal (SAA), ésta se utiliza en diversos sectores de la producción animal, como la ganadería, la avicultura, la acuicultura y la cría de animales de compañía. Los suplementos se administran de acuerdo con las necesidades nutricionales específicas de cada especie animal y pueden ser proporcionados en forma de alimentos concentrados, mezclas de nutrientes o aditivos agregados a la dieta regular.

2.3 Marco conceptual

Espectroscopia FTIR (Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier): La espectroscopia FTIR es una técnica analítica que se basa en la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de una muestra. Al irradiar una muestra con luz infrarroja, las moléculas presentes en la muestra absorben energía en rangos específicos de longitud de onda, lo que produce un espectro que contiene información sobre las vibraciones moleculares de los enlaces químicos presentes en la muestra; la transformación de estos datos en el dominio de la frecuencia a través de la transformada de Fourier permite obtener un espectro infrarrojo que

puede ser interpretado para identificar componentes químicos específicos, determinar la estructura molecular y cuantificar la composición de la muestra (Moncada,2023).

En el contexto de la quinua, la espectroscopia FTIR se ha utilizado ampliamente para caracterizar su composición química y estudiar la presencia y distribución de componentes clave, como carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra dietética y compuestos bioactivos. Además de identificar los componentes principales, la espectroscopia FTIR puede utilizarse para evaluar la calidad y autenticidad de las muestras de quinua, detectando la presencia de contaminantes, adulterantes o variaciones en la composición nutricional. Esta técnica ofrece una forma rápida, no destructiva y precisa de analizar la quinua y ha contribuido significativamente al avance en la comprensión de este pseudocereal y su potencial en la industria alimentaria y la investigación científica (Pereda,2016).

La quinua es un pseudocereal que ha ganado reconocimiento mundial debido a su excelente perfil nutricional y su versatilidad en la cocina. La aplicación de técnicas espectroscópicas, como la espectroscopia FTIR, en la investigación de la quinua proporciona una herramienta poderosa para estudiar su composición química y sus propiedades funcionales. Además de la FTIR, otras técnicas espectroscópicas, como la espectroscopia de absorción UV-visible, la espectroscopia Raman y la espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN), se utilizan en combinación para obtener información detallada sobre la estructura y las características fisicoquímicas de la quinua (Sanchez,2019).

El análisis espectroscópico de la quinua permite la identificación y cuantificación de compuestos específicos, como aminoácidos, lípidos, vitaminas, minerales y antioxidantes, así como la detección de contaminantes y adulterantes. Esto es fundamental para garantizar la calidad y la seguridad alimentaria de la quinua y para el desarrollo de métodos de procesamiento, conservación y valorización del pseudocereal. Además, la espectroscopia FTIR puede emplearse en estudios de autenticidad y trazabilidad, ayudando a verificar el origen y la autenticidad de las muestras de quinua y detectar posibles fraudes alimentarios (Sanchez,2019).

Digestibilidad *in vitro* en monogástricos: La digestibilidad in vitro es una técnica utilizada para evaluar la disponibilidad de nutrientes de los alimentos en el tracto gastrointestinal de los animales monogástricos, como cerdos y aves de corral. A través de ensayos de digestión simulada en condiciones controladas de pH, temperatura y tiempo, se puede medir la liberación y la absorción de nutrientes, como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales, a lo largo del proceso digestivo (Garnica,2010).

Digestibilidad in vitro de proteína: La digestibilidad de la proteína es un factor crucial en la evaluación de la calidad nutricional de los alimentos, especialmente en términos de su capacidad para proporcionar aminoácidos esenciales y apoyar el crecimiento y la salud de los animales. La digestibilidad in vitro de proteínas se refiere a la medida en que las proteínas alimentarias son digeridas y asimiladas en el tracto gastrointestinal, lo que afecta directamente su valor nutricional y su capacidad para satisfacer las necesidades proteicas del organismo (Chaparro et al., 2010).

2.4 Marco legal

La Constitución Política de Colombia establece los principios y derechos que rigen al país, entre los cuales desde 1991 ha otorgado especial importancia a la agricultura, reconociendo su papel crucial en la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y la protección ambiental. Por ello, existen varios artículos que reconocen la importancia estratégica de la agricultura y establecen medidas para proteger, promover y fortalecer este sector vital. Ejemplo de ello es lo expresado en el artículo 64 al indicar que: "es deber del Estado promover el acceso progresivo a la propiedad de la tierra de los trabajadores agrarios, […] y a los servicios de educación, salud, vivienda, seguridad social, recreación, crédito […]" (Constitución Política de Colombia de 1991)

Asimismo, queda claro que el Estado debe promover la igualdad de oportunidades y el desarrollo integral de los campesinos, con la responsabilidad de impulsar y facilitar el acceso a una serie de servicios como la comercialización de los productos, asistencia técnica, comunicacional y empresarial, entre otros, apoyando el bienestar y la calidad de vida de los colombianos rurales, buscando reducir las brechas socioeconómicas y aportando al fortalecimiento del sector agrícola. Por tal razón, para la protección y priorización de la producción de alimentos en la misma Carta Política se estable que el desarrollo integral del agro ha sido y será un eje fundamental entre los gobernantes de la Nación, expresado textualmente así:

La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras,

forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras. Además, promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos […]. (Constitución Política de Colombia de 1991, artículo 65)

De otra manera, en el marco legal colombiano se han establecido disposiciones que fomentan el desarrollo de los cultivares en el marco de la implementación de prácticas sostenibles como el Decreto 1071 de 2015 que se considera como un código que regula al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), reglamenta las funciones del ICA, registra y controla los plaguicidas químicos de uso agrícola, y trata el tema de las semillas agrícolas mencionando que "las semillas para la siembra existentes en Colombia o que se encuentren en proceso de introducción al territorio nacional son uno de los objetos a regular bajo la protección de variedades vegetales" (Presidencia de la República de Colombia, 2015. Artículo 2.13.7.1.1. y ss).

Con respecto al manejo de las semillas en el país, el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA en el (2015) reglamentó y controló la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. Es decir, el objeto y ámbito de aplicación de la Resolución 3168 de 2015 son las semillas "obtenidas a través de métodos de mejoramiento genéticos convencional y no convencional" (Instituto Colombiano Agropecuario, 2015).

Es así que en el artículo 4 se menciona que la producción de semilla goza de diferentes categorías de acuerdo al mejoramiento genético de las especies, por ejemplo, son en la actualidad semillas certificadas especies como arroz, maíz, algodón, papa, sorgo, arveja, quinua, avena, cebada, trigo, soya, ajonjolí, maní, yuca y frijol. (Instituto Colombiano Agropecuario, 2015)

De otro modo, mediante la Resolución 66/221 de 2011, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró 2013 Año Internacional de la Quinua en reconocimiento de los pueblos andinos, afirmando:

Es crucial centrar la atención global en el papel fundamental que desempeña la biodiversidad de la quinua debido a su valor nutricional destacado. Esto es esencial para alcanzar la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y erradicar la pobreza, en línea con los objetivos de desarrollo a nivel internacional, incluyendo los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ONU, 2011, p. 1).

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Ubicación

Para el desarrollo de esta investigación de trabajo de maestría, se utilizaron semillas de quinua de tres cultivares de quinua que son procedentes de cultivos establecidos en el municipio de Ocaña en el marco del desarrollo de macroproyecto “Estudio fisiológico, agronómico y tecnofuncional de la quinua bajo diferentes condiciones de adaptabilidad” radicado en la División de Investigación y Extensión DIE y financiado por el SGR con código 779 de 2017.

Los campos experimentales de donde proceden las semillas de estos tres cultivares fueron establecidos en parcelas de $8m^2$, sembrados en chorrillo y una carga de $8kg.ha^{-1}$. La fertilización se realizó con aplicación total de 120kg N, 60kg P, 40kg K y con dos aplicaciones de cobre para el control de *Peronospora farinosa*. La cosecha de las semillas se realizó manualmente y aventadas con molino de flujo de aire para la eliminación de impurezas.

Contemplando que esta investigación se hizo uso de tres cultivares de quinua con fines de alimentación animal, los granos se sometieron a diferentes tipos de análisis que permitirán comprender sus atributos fisicoquímicos, estructurales y de digestibilidad.

3.2 Tipo de Investigación y enfoque

Esta propuesta de maestría, se sustentó en utilizar una investigación de tipo descriptivo con la finalidad puntualizar las características del objeto a estudiar. Bajo este contexto Alban (2020) expone que este tipo de investigación se enfoca en describir características de un sujeto y objeto mediante el uso de criterios sistémicos que permitirán establecer la estructura o los caracteres distintivos del objeto.

Además, en esta investigación se utilizó el método de observación cuantitativa con la finalidad de recolectar datos y cifras que permiten consolidar un contexto abierto de los atributos que poseen los granos de los tres cultivares de quinua. Así mismo, este método permite llevar a cabo relaciones entre las categorías de los datos colectados sin establecer relaciones de causa y efecto.

3.3 Población y muestra

Para el desarrollo de esta propuesta de maestría, se requerirán 500 gr de tres cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), denominados Cv. Blanca Soracá, Cv Titicaca y Cv Pasankalla.

3.4 Diseño experimental

Para el desarrollo de esta investigación, no se realizó un diseño experimental, dado a que la propuesta ser establecerá bajo una investigación descriptiva como se menciona en el apartado anterior.

3.5 Identificar las características fisicoquímicas de los granos de quinua a través de sus atributos proximales.

Para el desarrollo de esta sección de la propuesta, se identificaron los atributos proximales de granos de los tres cultivares de quinua seleccionados utilizando técnicas asociadas a la cuantificación de proteína bruta, fibra bruta y extracto etéreo principalmente siguiendo la metodología propuesta a continuación.

Tabla 3

Categorías de los atributos proximales en granos de tres cultivares de quinua

Categoría	**Autor**
Proteína bruta	(López, 2015)
Extracto etéreo	
Fibra bruta	

Nota. Fuente autor

En este sentido, se desarrolló el siguiente procedimiento con la finalidad de obtener las fracciones mencionadas en la tabla anterior en cada uno de los cultivares de quinua seleccionados:

3.5.1 Análisis proximal

3.5.1.1 Determinación de materia seca. La evaluación de materia seca constituye el método prevalente en laboratorios especializados en nutrición, esta preferencia se justifica debido a la considerable variabilidad en el contenido de agua presente en forrajes, tejidos animales y otras muestras relevantes. La base de esta técnica radica en la eliminación del contenido de agua mediante la aplicación de calor en los alimentos.

Análisis

% material procesado = $\frac{T+ms\ 65ªc-t}{MF}$ x 100

% Ms definitiva = $\frac{(T+MS\ 105ªC)-T}{peso\ M\ preseca}$ x 100

% Ms forraje= $\frac{\%\ Ms\ definitiva\ x\ \%Mpreseca}{100}$

% Humedad= 100-%MS

3.5.1.2 Determinación de cenizas. La ceniza, también conocida como material mineral, constituye la porción residual después de eliminar completamente la humedad y la materia orgánica mediante la incineración en una mufla a 550°C durante un período de 6 horas. Este

proceso se fundamenta en la eliminación, a través de la combustión, de la materia orgánica presente en los alimentos.

Análisis

$$\%CEN = \frac{(T+CEN)-T}{mat\ seca} \times 100$$

$$\%MO = \%Ms - \%\ CEN$$

3.5.1.3 Determinación de extracto etéreo o grasa bruta. El extracto etéreo, también denominado grasa bruta, engloba compuestos que son insolubles en agua, pero presentan mayor solubilidad en éter, cloroformo, benceno u otros solventes. En el análisis proximal de alimentos, se hace hincapié en el extracto etéreo debido a que abarca no solo los lípidos genuinos, como fosfolípidos y glucolípidos, entre otros. Este enfoque se basa en la extracción de la grasa de los alimentos utilizando éter de petróleo.

Análisis

$$\%\ E.E = \frac{(T+GRASA)-T}{MSG} \times 100$$

3.5.1.4 Determinación de proteína bruta. La determinación de Proteína Bruta o Materias Nitrogenadas Totales (MNT) se realiza mediante el método Kjeldahl, que se remonta a 1883. Debido a la composición de aminoácidos individuales en su estructura, el contenido de nitrógeno en las proteínas varía dentro de estrechos límites (generalmente entre 15% y 18%, con un promedio de alrededor del 16%). Para analizar el contenido de proteína total o "proteína

bruta", se determina primero el contenido de nitrógeno después de eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico, calculando luego el contenido de proteína mediante un factor (generalmente 6,25).

El método consta de tres etapas fundamentales: digestión, destilación y titulación. En estas etapas, se determina el contenido de nitrógeno en la materia orgánica, abarcando tanto el nitrógeno proteico como los compuestos no nitrogenados. La base de este método radica en la descomposición de la proteína y otros compuestos nitrogenados mediante ácido sulfúrico y calentamiento, generando sulfato de amonio. Este sulfato, en presencia de una solución concentrada de hidróxido de sodio, libera amoníaco (NH_3), que se captura en una solución de ácido bórico. El amoníaco en la solución de ácido bórico se titula con ácido sulfúrico o clorhídrico de concentración conocida para determinar el contenido de nitrógeno total.

Análisis

Proteína Bruta (%) = $\frac{V*Fc*0.00028*6.25}{pa}$ x 100

En donde:

V= volumen de H_2SO_4 gastado en la titulacion.

Fc= factor de corrección de H_2SO_4

PA= peso de muestra seca en gramos

6.25 = factor de conversión de nitrógeno en proteína

0.00028= equivalente de H_4SO_4 correspondiente al nitrógeno

3.5.1.5 Determinación de fibra bruta. La fibra bruta representa la fracción de carbohidratos totales que resisten el tratamiento con ácido y base, principalmente compuesta por celulosa. Esta celulosa, de baja digestibilidad para la mayoría de los animales, se convierte en una fuente de energía esencial para rumiantes, fomentando el adecuado funcionamiento intestinal y estimulando los movimientos peristálticos.

Desde el punto de vista nutricional, la fibra desempeña un papel crucial al constituir la parte orgánica más resistente a la digestión en el tracto gastrointestinal. Cumple una función significativa en el control del consumo voluntario y, por ende, en la ingesta de nutrientes. Además, promueve un entorno ruminal propicio para el desarrollo de microorganismos responsables de la digestión de carbohidratos fibrosos.

La metodología subyacente en esta técnica implica la determinación del residuo que persiste después de dos hidrólisis sucesivas, una ácida y otra alcalina. Este enfoque busca simular los procesos de digestión gástrica e intestinal que ocurren in vivo. Se destaca que esta fracción se encuentra exclusivamente en muestras de origen vegetal, ya que las de origen animal deberían contener cantidades inferiores al 2%.

% Análisis Fibra Bruta: 100X(W1-W2) W0

3.6 Establecer las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales.

Para el desarrollo de esta fase de la investigación, se procedió a establecer características asociadas a diferentes bandas reflejadas en el espectro de cada uno de los cultivares de quinua evaluados, teniendo especial atención en los grupos funcionales del estiramiento del grupo C-H en la región 2992 cm^{-1}, estiramiento del grupo C-H y doblamiento de los grupos C-O-C y C-O en la región 1016 cm^{-1} y estiramiento del grupo C=O en la región 1633cm^{-1} según la metodología propuesta por Roa-Acosta et al. (2014).

Para tal fin, se llevará a cabo la siguiente metodología:

B) Espectroscopía de Infrarrojo de rango medio MIR, FT-IR. Los espectros FTIR se obtuvieron mediante el espectrómetro SHIMADZU modelo IRAFFINITY-1S (Japón), utilizando como diluyente bromuro de potasio (KBr) con una pureza superior al 99,9%. Para realizar las mediciones de transmitancia se realizaron los siguientes pasos previos:

Preparación de la muestra: las muestras se sometieron previamente a un molino analítico de cuchillas A11 BASIC S1 de 25000 rpm (Brasilia, Brasil), para lograr un menor tamaño de partícula. Posteriormente fueron tamizadas para obtener tamaños homogéneos de partícula en todas las muestras, para lo cual se utilizó una batería de tamices ASTM N° 100 (150 µm) y N° 120 (125 µm), de los cuales se tomó como muestra que atraviese el tamiz N° 100 y lo retenido en el tamiz N° 120.

Secado del KBr: el diluyente se secó para eliminar el agua absorbida durante el almacenamiento del reactivo, para lo cual se puso a 70°C por 90 minutos, depositándolo finalmente en un desecador para su posterior uso.

Elaboración de las pastillas: se pesaron 94 mg de KBr y 6 mg de muestra, las cuales fueron mezcladas en un mortero de ágata durante 3 minutos, con el fin de obtener una mezcla homogénea. La mezcla se depositó y se moldeo en una pinza de prensado manual por dos minutos; después de lo cual se obtuvieron 4 pastillas por cada mezcla.

C) Medida de transmitancia. El espectro de la fuente de luz se medió mediante el FTIR sin poner ninguna muestra en la ruta óptica con el fin de almacenarlo como fondo para la referencia. Posteriormente se posicionaron las pastillas para su medición, adquiriendo espectros en modo reflexión entre 600 y 4000 cm^{-1} con un promedio de 32 barridos en resolución de 4 cm^{-1}. El análisis espectral se realizó utilizando el software OriginPro versión 8.0 (Origina Lab Corporation, Northamton, Estados Unidos).

Análisis por cromatografía líquida de ultra alta resolución UHPLC

Con la finalidad de poder establecer con mayor profundidad, las características de los granos de quinua a analizar, se propone el uso de la técnica de cromatografía líquida de ultra alta resolución UHPLC, en la cual se establecieron los principales compuestos fenólicos presentes en los granos, siguiendo la metodología que se detalla a continuación.

Las semillas se molieron durante cuatro minutos con un molinillo de cuchillas (Krups; Solingen, Alemania). Posteriormente se agregaron 100 mL de etanol al 80% a 60 °C a 5,0 g de harina de quinua. El extracto resultante se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min. La muestra sobrante se recuperó y almaceno a 4 °C para su uso posterior.

El extracto se analizó en un cromatógrafo líquido de alta eficiencia (UHPLC) Dionex Ultimate 3000 (Thermo Scientific, Sunnyvale, CA, EE.UU., EE.UU.). Este equipo consta de una bomba de gradiente binario (HP G3400RS) y un inyector automático de muestras (WPS 300TRS) y una unidad termostática para una columna TCC 3000. La interfaz de LC-MS fue la ionización por electropulverización (ESI). El espectrómetro Orbitrap tiene una alta resolución de masa con un sistema de detección de corriente iónica. La separación cromatográfica se realizará mediante una columna Hypersil GOLD Aq 100 × 2,1 mm, 1,9 µm (Thermo Scientific, Sunnyvale, CA, EE. UU., EE.UU.) a 30 °C.

La fase móvil A consistió en una solución acuosa al 0,2% de formiato de amonio. Fase móvil B: 0,2% sobre formiato de acetonitrilo amoniaco. La condición de gradiente inicial fue del 100%. A se movió linealmente hacia el 100% de B en 8 min. Este fenómeno se mantuvo durante 4 minutos y luego volvió a las condiciones iniciales en un minuto. El tiempo total de carrera duró 13 minutos, más 3 minutos adicionales después de la carrera.

El espectrómetro de masas Orbitrap (Exactive Plus, Thermo Scientific, Sunnyvale, CA, EE.UU., EE.UU.) conectado a través de la interfaz de electrospray (HESI) se manejó bajo un voltaje capilar positivo de 4,5 kV. Se utilizó gas nitrógeno como elemento seco. El rango del

espectro de masas será m / z 60–900. El detector de masas Orbitrap se calibro con soluciones de referencia certificadas: Ultramark TM 1621 Mass Spec. (AB172435, ABCR GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Alemania), dodecilsulfato de sodio (SDS) (L4509, Sigma-Aldrich) y taurocolato de sodio hidrato (T4009, Sigma-Aldrich).

Toda la identificación de compuestos se logró utilizando el modo de escaneo completo y extracción de iones (EIC) correspondiente al [M+H] + de los compuestos objetivo. Se realizó una evaluación de masa con una precisión de Δ ppm <0,001 y utilizando una solución de mezcla estándar de compuestos fenólicos. Para cuantificar las muestras se aplicó la calibración del estándar externo utilizando el factor de resultados (Rf) establecido por el análisis de soluciones estándar bajo diferentes concentraciones.

3.7 Analizar la digestibilidad in *vitro* de las semillas de quinua en animales monogástricos, teniendo en cuenta los cultivares evaluados.

Tabla 4

Digestibilidad in vitro en monogástricos

Variable	Numero de submuestra por unidad experimental	Autor
Digestibilidad in vitro en monogástricos	3	(Pezua, 2007)

Nota. Fuente autor

La evaluación de la digestibilidad in vitro se realizó siguiendo la metodología propuesta por Pezua (2017) en su trabajo de Investigación titulado “digestibilidad in vitro de la proteína y

la composición nutricional de tres variedades de quinua (chenopodium quinoa willd.) germinada y cocida" en el cual menciona los procedimientos realizados para el valor de calidad del material en cuanto a valores de proteína contenidos y aprovechados.

Análisis estadístico

Para llevar a cabo la organización de la información, se procedió a registrar los valores obtenidos para cada una de las fases de la investigación, teniendo en cuenta los tres cultivares de quinua evaluados.

Capítulo 4. Resultados y Discusiones

4.1 Identificar las características fisicoquímicas de los granos de quinua a través de sus atributos proximales.

El análisis de los atributos proximales de los granos de quinua, tales como materia seca, cenizas, proteínas y extracto etéreo, es esencial para comprender sus características fisicoquímicas. Estos atributos proporcionan información valiosa sobre el valor nutricional y funcional de la quinua, permitiendo una evaluación precisa de su calidad y potencial uso en la industria alimentaria. A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en el Laboratorio de Nutrición de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (Apéndice A).

4.1.1 Proteína

La quinua es un grano andino altamente valorado por su contenido proteico. Las proteínas de la quinua están compuestas principalmente por albúminas y globulinas, que representan aproximadamente entre el 44% y el 77% del total de sus proteínas (Vega et al., 2010). En contraste con otros cereales, las prolaminas y gluteninas están presentes en cantidades mucho menores. Las proteínas se distribuyen principalmente en el embrión del grano. Según James (2009), el embrión es la principal reserva proteica, destacándose por sus propiedades funcionales, como la capacidad de formación de espuma y emulsificación, lo que la hace especialmente útil en la industria alimentaria para la elaboración de productos diversos. Esta

combinación de propiedades nutricionales y funcionales posiciona a la quinua como un ingrediente valioso en la alimentación.

Tabla 5

Resultados de análisis proximales de Proteína bruta en tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	Cultivar Blanca Soraca	Cultivar Pasankalla
Proteína Bruta	11,85%	11,26%	13,02%

Nota. Fuente autor

En el marco de los estudios realizados sobre el contenido proteico de los granos de quinua, diversas investigaciones han reportado resultados que coinciden con el hallazgo de un 12% de proteína. Así bien Valcárcel & Lannes (2012), encontraron que algunas variedades de quinua presentan un contenido de proteína que varía entre el 10% y el 14%, dependiendo de las condiciones de cultivo y de su procesamiento. Estos resultados son similares al encontrado proteico presente en la variedad "Titicaca" en el presente estudio.

Adicionalmente, Repo & Serna (2011), reportaron que en la variedad Titicaca, suele tener variaciones en el contenido proteico y que se encuentran en promedio en un 12%. Este hallazgo resalta la variabilidad del contenido nutricional de la quinua, dado a que depende de factores ambientales y genéticos. En este mismo sentido, Stikic et al. (2012) encontraron contenidos de proteína que varían entre el 11.5% y el 13.5% lo que respalda que el contenido proteico en la quinua, mantiene un patrón estándar conforme a la influencia establecida por el entorno.

En el ámbito de la investigación sobre el contenido proteico de la quinua, Murphy et al. (2018), encontraron que ciertas variedades de quinua, incluida la quinua blanca, presentaban un contenido de proteína que varía entre el 11% y el 12%, dependiendo de las prácticas de establecimiento y manejo. Como es de resaltar el cultivar Blanca Soracá, hace parte de la quinua con bajos contenidos de saponina, lo que favorece los procesos agroindustriales para la elaboración de alimentos (Melo, 2017), lo que concuerda con los resultados obtenidos para esta investigación, donde el 11.26% corresponde a la proteína encontrado en los granos del cultivar Blanca Soraca.

Por otro lado, García et al. (2022), identificación en granos del cultivar Soracá, que su contenido de proteína es significativamente cambiante cuando se hacen variaciones en las condiciones agroclimáticas (14,5% y 12,3%), por lo que, se atribuye a que la estructura asociada el embrión del grano, puede modificarse, cambiando la conformación de las membranas celulares de esta estructura y, por ende, la cantidad de proteínas estructurales, de transporte y de anclaje que conforman la estructura membranal, varía al momento de su cuantificación. Estos datos coinciden con lo reportado por Repo & Serna (2011), quienes informaron que algunas variedades de quinua blanca, cultivadas presentaron contenidos de proteína entre el 11% y el 12% y que coincide con los datos obtenidos en esta investigación.

Por otro lado, el cultivar Pasankalla ha tomado gran relevancia en el área agroindustrial, dado a que sus características fenotípicas, presumen una mayor diversidad de compuestos con actividad fitoquímica (García et al., 2021). Así bien, Miranda et al. (2013), reportaron que ciertas variedades de quinua, incluyendo la Pasankalla, mostraban un contenido de proteína entre el

12% y el 14%. Estos datos apoyan la variabilidad del contenido proteico en la quinua y están en línea con el 13.02% determinado en nuestra investigación.

Otro estudio relevante es el de Campos et al. (2022), en el cual encontraron que las variedades de quinua evaluadas contenían un porcentaje de proteína que oscilaba entre el 12.5% y el 13.5%, lo cual apoya la alta variabilidad y el valor nutricional de la quinua, alineándose con los resultados obtenidos en esta investigación sobre el cultivar Pasankalla.

Teniendo en cuenta lo anterior, el contenido proteico es significativamente variante entre la gran diversidad de cultivares de quinua presentes en las diferentes regiones del mundo y de las condiciones de suelo, de clima y de manejo en las que se encuentran establecidos. Dicho esto, es importante resaltar que las proteínas predominantes en los granos de quinua son albúminas y globulinas, compuestas principalmente por aminoácidos esenciales (James, 2009). En comparación, en especies vegetales como la soya, que tiene una alta demanda en la elaboración de alimentos y suplementos para la industria pecuaria, predominan las proteínas del tipo glicinina y conglicinina (L'hocine et al., 2006).

Dicho esto, es importante resaltar que las proteínas de tipo albúmina tienen un mayor interés en la alimentación de animales no rumiantes debido a su mayor capacidad de digestibilidad. Sin embargo, en especies vegetales como el sorgo y la soya, las proteínas que predominan son absorbidas en un menor porcentaje, lo que sostiene el potencial que podría tener un alimento rico en albúminas y globulinas (Kumar,2018).

La necesidad proteica en las dietas de los animales monogástricos es un tema crítico en la nutrición animal. Los monogástricos, como cerdos y aves, requieren proteínas de alta calidad para su crecimiento y desarrollo, en diversas investigaciones sobre el uso de quinua en su alimentación se puede apreciar el impacto positivo que puede presentar la inclusión de quinua en la dieta de dichos animales. Los monogástricos necesitan aminoácidos esenciales que no pueden sintetizar en cantidades adecuadas. Por lo tanto, la calidad de la proteína en su dieta es fundamental esta proteína de alta calidad debe tener un perfil de aminoácidos balanceado y ser altamente digestible, entre los aminoácidos esenciales se incluyen la lisina, metionina, treonina, e histidina, entre otros (Ravidran, 2010).

Fernández (2015) En su estudio sobre el uso de la quinua en la alimentación de pollos de engorde, encontraron que la inclusión de harina de quinua en la dieta mejoraba el rendimiento del crecimiento y la conversión alimenticia. La quinua aportaba una buena cantidad de aminoácidos esenciales, especialmente lisina y metionina. Así mismo, Cardozo (1959) Compararon la digestibilidad de las proteínas de la quinua con otras fuentes vegetales en cerdos. Encontraron que la proteína de quinua era altamente digestible y comparable a la soja, una de las fuentes de proteínas más comunes en la alimentación animal.

La soja es una de las fuentes proteicas más comunes en la alimentación de animales monogástricos debido a su alto contenido proteico y su perfil de aminoácidos. La soja contiene aproximadamente 40-50% de proteínas, con un alto contenido de lisina, un aminoácido esencial para el crecimiento de los animales monogástricos (Gonzales et al., 2014). Sin embargo, un aspecto negativo de la soja es la presencia de factores antinutricionales, como los inhibidores de

tripsina, que pueden afectar la digestibilidad y la absorción de nutrientes (Larrea & Martínez, 2023).

Así mismo, la alfalfa es una buena fuente de proteínas y fibra, con un contenido proteico del 15-20%. No obstante, su perfil de aminoácidos es inferior al de la soja y la quinua, ya que es baja en ciertos aminoácidos esenciales (Gonzales, 2016). Además, la digestibilidad de la proteína de alfalfa es menor en comparación con la soja y la quinua, lo que limita su efectividad como fuente proteica principal en dietas de monogástricos (Zhang et al., 2017).

Así mismo, el trigo es principalmente una fuente de energía en la alimentación animal, con un contenido proteico del 12-15%. Aunque el trigo es una excelente fuente de carbohidratos, su perfil de aminoácidos es deficiente en lisina, lo que lo hace menos adecuado como única fuente de proteína para los monogástricos (Pérez et al., 2008). Por esta razón, a menudo se combina con otras fuentes proteicas para proporcionar una dieta equilibrada (Quintero & Granada, 2022).

Por otro lado, la quinua contiene un contenido proteico del 14-18% y es conocida por su perfil de aminoácidos completo, que incluye todos los aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas. Esta característica es particularmente ventajosa, ya que pocas fuentes vegetales pueden proporcionar un perfil de aminoácidos tan balanceado. Además, la quinua es altamente digestible y no contiene factores antinutricionales significativos, lo que la hace una opción superior para la alimentación de monogástricos (Rubio & Moneva, 2022).

La quinua destaca por contener todos los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas, lo que la convierte en una proteína completa. Esto es una ventaja significativa frente al trigo y la alfalfa, que carecen de algunos aminoácidos esenciales. A diferencia de la soja, la quinua no contiene inhibidores de tripsina ni otros factores antinutricionales significativos, lo que mejora la salud digestiva y la eficiencia alimentaria en monogástricos. Esto permite una mejor utilización de los nutrientes presentes en la quinua (Quintero & Guevara, 2021).

4.1.2 Fibra Bruta

La fibra dietética en la quinua está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina. Lamothe et al. (2015) establece que la fibra dietética en la quinua está principalmente localizada en la capa externa del grano, conocida como pericarpio, y en las capas de aleurona. Campos et al. (2022) encontraron que las mayores concentraciones de fibra se encuentran en estas capas externas, que actúan como una barrera protectora y contribuyen al contenido total de fibra del grano. Bajo este contexto, la investigación logró establecer que el contenido de fibra oscila entre el 6,1% y 6,7% (Tabla x).

Tabla 6

Resultados de análisis proximales de Fibra bruta en tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	**Cultivar Blanca Soraca**	**Cultivar Pasankalla**
Fibra Bruta	6,7%	6,1%	6,3%

Nota. Fuente autor

De acuerdo con lo anterior, múltiples investigaciones han informado el contenido de fibra presente en los granos de quinua los puede oscilar entre 3.2% y 7.4% como valores extremos (Ligarda et al., 2012). Por ejemplo, Abugoch James, (2009**)**, informa que el contenido de fibra varía entre el 6.5% y el 7.0% en diferentes cultivares de quinua, lo que coincide con los resultados obtenidos para esta investigación. Así mismo, Bhargava et al. (2006), reportaron contenidos de fibra cercanos al 6.8% en múltiples variedades de quinua, lo que guarda el mismo índice de contenido.

Sin embargo, se ha desarrollado investigaciones en las que se establece el contenido específico para variedades o cultivares. En este sentido, Lamothe et al. (2015), encontraron uno de los valores más bajos de fibra, que fue cercano al 6.1%, lo que coincide con los reportado para el cultivar Blanca Soraca. Además, Filho et al. (2017), encontraron que ciertas variedades de quinua presentaban un contenido promedio de fibra que variaba entre el 6.0% y el 6.3%.

Dichas variaciones, se han atribuido al efecto que puede tener la variación genética y las condiciones de producción, dado a que factores como el estatus hídrico, la disponibilidad de nutrientes y afectaciones externas como el ataque por plagas y/o enfermedades, inducen la producción de estructuras asociadas a fibras, que favorecen la resistencia de los tejidos, especialmente en hojas, tallos y semillas (Marschner, 2012).

Bajo este contexto, las investigaciones han avanzado en el estudio de la quinua y su interés para la alimentación humana y animal (Navruz-Varli y Sanlier, 2016). Así bien, la fibra es un componente esencial en las dietas de los animales monogástricos, aunque sus necesidades

y efectos varían entre especies. La fibra dietética mejora la salud intestinal, regula el tránsito gastrointestinal y puede influir en la absorción de nutrientes. Además, la fibra puede tener efectos beneficiosos sobre el comportamiento alimentario y la saciedad en los animales (Aguilera 2009).

La quinua no solo es valorada por su contenido proteico, sino también por su contenido de fibra dietética, varios estudios han explorado la composición de la fibra en la quinua y su impacto en la salud de los animales monogástricos. La quinua contiene ambos tipos de fibra: soluble e insoluble, la primera se encuentra en forma más abundante y es la encargada de ayudar a la motilidad intestinal y previene el estreñimiento. La fibra soluble, aunque menos presente, es fermentada por la microbiota intestinal, produciendo beneficios adicionales para la salud digestiva (Repo-Carrasco et al., 2010).

Al comparar la fibra de la quinua con otras fuentes de alimentación en dietas para Monogástricos como la soja, alfalfa y trigo se observó que la quinua puede destacar dentro de estas porque posee un contenido de fibra total de alrededor del 7-9%, con una buena proporción de fibra insoluble. A diferencia de la soja, la quinua no contiene inhibidores de tripsina ni otros factores anti nutricionales significativos, lo que permite una mejor digestibilidad y utilización de la fibra (Chito et al., 2017).

El porcentaje de fibra que debe consumir un animal monogástrico en su dieta varía según la especie, la edad, y el propósito de la dieta (mantenimiento, crecimiento, producción, etc.). La fibra en la dieta de los cerdos generalmente se mantiene en un rango del 3-5% de fibra cruda, así

mismo, en aves de corral la fibra cruda se mantiene generalmente en valores cercanos al 5%, valores cercanos a los encontrados en los granos de quinua utilizados en la presente investigación (Pond et al., 2004).

4.1.3 Extracto Etéreo

La quinua es rica en ácidos grasos insaturados, principalmente ácido linoleico, ácido oleico y ácido alfa-linolénico. estos ácidos grasos insaturados constituyen una parte significativa del extracto etéreo de la quinua, contribuyendo a sus propiedades antioxidantes (Tang et al., 2015). El mayor contenido de lípidos en la quinua se encuentra en el germen del grano, que es la parte del grano responsable del crecimiento y desarrollo de la planta, los lípidos en el germen proporcionan energía y nutrientes esenciales para la germinación y el desarrollo inicial de la planta, la alta concentración de lípidos en el germen es crucial para la viabilidad y el vigor de las semillas durante el almacenamiento y la germinación (Tamami & Vargas, 2024).

Tabla 7

Resultados de análisis proximales de Extracto Etéreo en tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	**Cultivar Blanca Soraca**	**Cultivar Pasankalla**
Extracto Etéreo	6,0%	5,166%	4,66%

Nota. Fuente autor

En el ámbito de la investigación sobre el contenido de extracto etéreo en la quinua, diversos estudios han reportado resultados comparables al 6.0% encontrado en los granos de quinua Titicaca. Repo-Carrasco et al. (2010), encontraron que varias variedades de quinua presentaban un contenido de extracto etéreo que variaba entre el 5.5% y el 6.5%. Estos resultados son consistentes con el 6.0% de extracto etéreo encontrado en la variedad Titicaca en la presente investigación. Asimismo, Miranda, M., et al. (2011), en su investigación, reportaron valores de contenido de extracto etéreo entre el 5.8% y el 6.2% para el cultivar Titicaca.

Por otro lado, Murphy (2015), en su estudio reportó que ciertas variedades de quinua, incluyendo variedades blancas, mostraban un contenido de extracto etéreo entre el 5% y el 5.5%. Estos datos apoyan la variabilidad del contenido de Extracto Etéreo en la quinua y están en línea con el 5.166% determinado en la presente investigación. Asimismo, Repo-Carrasco et al. (2010), en su estudio, encontraron que el cultivar de quinua blanca presentaba un contenido de extracto etéreo que variaba entre el 4.9% y el 5.3%.

Finalmente, Miranda et al. (2012), encontraron que el cultivar de quinua Pasankalla presentaba un contenido de extracto etéreo que variaba entre el 4.5% y el 5.0%. Resultado similar al obtenido en la presente investigación. Además, Gómez-Caravaca et al. (2011), encontraron que dicha variedad de quinua presentaba un contenido de extracto etéreo cercano al 4.7%, lo cual es coherente con el contenido de lípidos del 4.66% hallado en la variedad Pasankalla.

Para los cerdos, las dietas de engorde suelen contener entre un 3% y un 6% de grasa cruda, en el caso de las cerdas en gestación y lactancia, el contenido de grasa puede ser ligeramente mayor, alrededor del 5% al 8%, para satisfacer las demandas energéticas adicionales (Reese, 1996). Por otro lado, en aves de corral, los pollos de engorde generalmente requieren dietas con un contenido de grasa cruda del 3% al 5% para proporcionar una fuente de energía concentrada que favorezca el rápido crecimiento y para las gallinas ponedoras, el contenido de grasa en la dieta suele estar en el rango del 4% al 6%, lo cual ayuda en la producción de huevos y el mantenimiento de una buena condición corporal (Leeson, 2001). Según lo anterior se puede evidenciar que los granos de quinua estudiados en la presente investigación poseen valores similares a los requerimientos de Grasa en las dietas de animales de interés zootécnico, por lo cual puede ser visto como una alternativa en la alimentación de los mismos ya que ayudaría a suplir sus requerimientos nutricionales, de mantenimiento y producción.

Por otro lado, la quinua tiene un mayor contenido de grasa cruda en comparación con el trigo y el sorgo. Mientras que el trigo y el sorgo tienen un contenido de grasa cruda que típicamente varía entre el 1.5% y el 3%, la quinua puede contener entre el 5% y el 7% de grasa cruda (Jacobsen, 2003). Esto significa que la quinua proporciona una fuente más concentrada de energía, lo cual es beneficioso en dietas donde se busca maximizar la densidad energética.

4.1.4 Cenizas

Tabla 8

Resultados de análisis proximales de Cenizas en tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	Cultivar Blanca Soraca	Cultivar Pasankalla
Cenizas	2,88%	3,99%	5,77%

Nota. Fuente autor

Murphy (2015), reportó el cultivar de quinua Titicaca, mostraba un contenido de cenizas entre el 2.8% y el 3.1%. Así mismo**,** Repo-Carrasco et al. (2010), en el estudio, informaron que dicho cultivar presentaba un contenido de cenizas cercano al 2.9%, lo cual es coherente con el contenido de cenizas del 2.88% hallado en la variedad Titicaca en la presente investigación.

En el ámbito de la investigación sobre el contenido de cenizas en la quinua, diversos estudios han reportado resultados comparables al 3.99% encontrado en los granos de quinua Blanca Soraca. Murphy (2015), reportó que el cultivar Blanca Soraca, mostraba un contenido de cenizas entre el 3.9% y el 4.1%. Estos datos apoyan la variabilidad del contenido mineral en la quinua y están en línea con el 3.99% determinado en el presente estudio. Así mismo, Gómez et al. (2011), informaron que dicho cultivar, mostraba un contenido de cenizas cercano al 4.0%, lo cual es coherente con el contenido de cenizas del 3.99% hallado en la variedad Soraca.

En el ámbito de la investigación sobre el contenido de cenizas en la quinua, diversos estudios han reportado resultados similares al 5.77% encontrado en los granos de quinua Pasankalla. Murphy & Matanguihan (2015), en su libro "Quinoa: Improvement and Sustainable Production", reportó que ciertas variedades de quinua, incluyendo la Pasankalla, mostraban un contenido de cenizas que variaba entre el 5.5% y el 6.0%. Estos datos apoyan la variabilidad del contenido mineral en la quinua y están en línea con el 5.77% determinado en la presente investigación.

4.1.5 Materia Seca

Tabla 9

Resultados de análisis proximales de Materia Seca bruta en tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	Cultivar Blanca Soraca	Cultivar Pasankalla
Materia Seca	92,22%	92,09%	92,02%

Nota. Fuente autor

Asimismo, Gómez-Caravaca et al. (2011), informaron que el cultivar Titicaca mostraba un contenido de materia seca cercano al 92.2%, lo cual es coherente con el contenido de materia seca del 92.22% hallado en la variedad Titicaca en la presente investigación. Además, Miranda et al. (2012), encontraron que dicho cultivar de quinua presentaba un contenido de materia seca que variaba entre el 92.0% y el 92.4%. Estos datos apoyan la variabilidad del contenido de

materia seca en la quinua y están en línea con el 92.22% determinado en la presente investigación.

En el ámbito de la investigación sobre el contenido de materia seca en la quinua, diversos estudios han reportado resultados comparables al 92.09% encontrado en los granos de quinua Soraca. Gómez-Caravaca et al. (2011), en su estudio, encontraron que la variedad Pasankalla, presentaba un contenido de materia seca que variaba entre el 91.5% y el 92.5%.

Estos resultados son consistentes con el 92.09% de materia seca encontrado en la variedad Soraca en el presente estudio. Asimismo, Miranda, M., et al. (2012), en su estudio informaron que dicho cultivar tenía un contenido de materia seca cercano al 92.0%, lo cual es coherente con el contenido de materia seca del 92.09% hallado en la variedad Soraca.

Otro estudio relevante es el de Stikic et al. (2012), en esta investigación, se encontró que las variedades de quinua Blanca Soraca contenían un porcentaje de materia seca que oscilaba entre el 91.7% y el 92.2%, lo cual apoya la alta variabilidad y el valor nutricional de la quinua, alineándose con los resultados obtenidos en la presente investigación de la variedad Soraca.

Finalmente, Miranda, M., et al. (2012**)**, en su estudio, encontraron que el cultivar de quinua Pasankalla, presentaba un contenido de materia seca que variaba entre el 91.8% y el 92.4%. Estos resultados son consistentes con el 92.02% de materia seca encontrado en la variedad Pasankalla. Asimismo, Repo-Carrasco et al. (2010), informaron que dicho cultivar, mostraba un contenido de materia seca cercano al 92.0%.

Establecer las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales.

4.2 Determinación de las características estructurales de los granos de quinua a través de sus atributos macroestructurales.

4.2.1 Espectroscopia FTIR

De acuerdo con los datos obtenidos se identificaron bandas en los espectros de infrarrojo asociados a macromoléculas presentes harinas de los granos de quinua de los diferentes cultivares evaluados (Figura 1).

Como se referenció en la metodología, la zona espectral evaluada fue de entre 400 cm^{-1} y 4000 cm^{-1}, en la cual se abordaron bandas asociadas a proteínas, lípidos y almidones teniendo en cuenta lo definido por Roa et al. (2014).

De acuerdo con lo anterior, la banda de los 1633 cm^{-1} mostró que el cultivar Pasankalla presenta el pico más pronunciado en comparación a los otros dos cultivares evaluados. Por otro lado, se logró identificar que Soracá presenta el pico más pronunciado en para la banda de los 1016 cm^{-1}; comportamiento que fue similar para la banda de 2922 cm^{-1} asociada al contenido de lípidos (Tabla 10).

Tabla 10

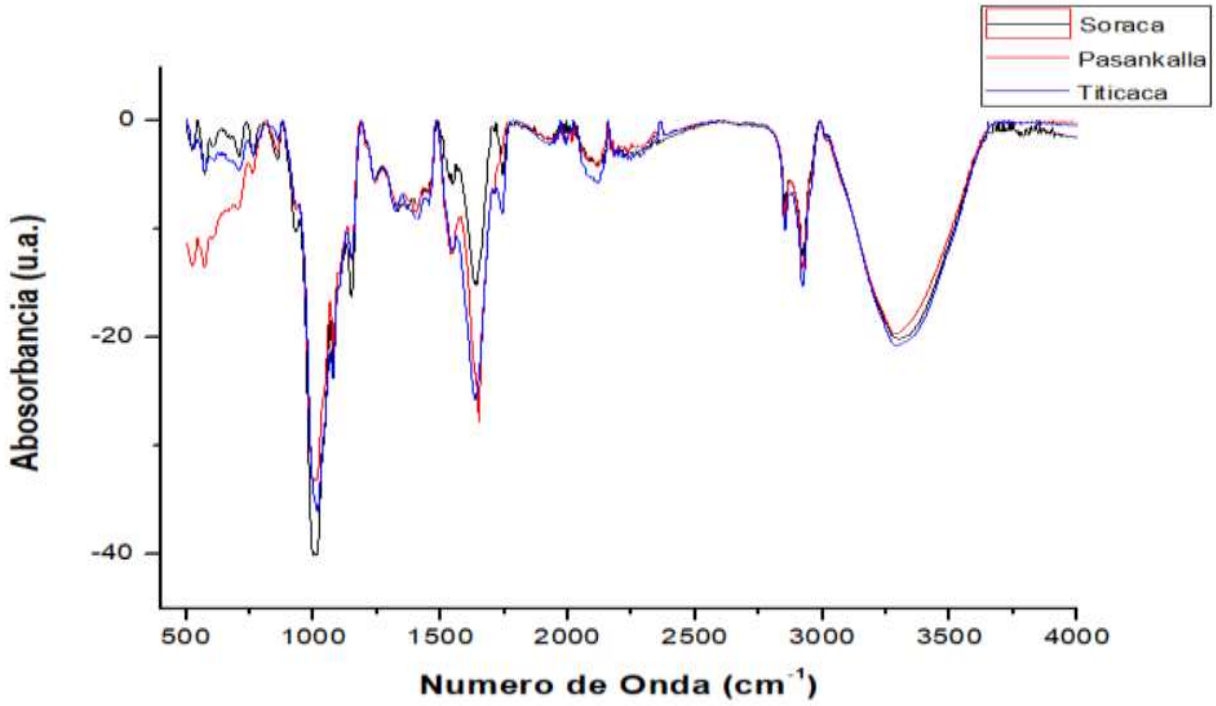
Picos de transmitancia en granos de tres cultivares de quinua mediante espectroscopia FTIR en el rango entre los 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1}

Cultivar	1633 cm^{1} C=0 stretching	1016cm^{-1} C-H stretching; C-O-C; C-O	2922 cm^{-1} C – H stretching C-H stretching
Soracá	0,623	0,0011	0,611
Pasankalla	0,319	0,006	0,762
Titicaca	0,472	0,0013	0,661

Nota. Fuente autor

Figura 1

Picos de absorbancia en granos de tres cultivares de quinua mediante espectroscopia FTIR en el rango entre los 400 cm-1 – 4000 cm-1



Nota. Fuente autor

La técnica de espectroscopia de rango medio ha sido altamente utilizada para determinar características fisicoquímicas de diferentes granos, entre ellos los cereales. Investigaciones como las reportadas por Rodríguez et al. (2019), determinaron la importancia de esta técnica en diferentes cultivares de quinua, dado a que la acelerada expansión de esta especie y el incremento del consumo de nuevas fuentes de macromoléculas ricas químicamente para la alimentación, han generado adulteración en los productos que se comercializan en nombre de la quinua.

Además, otras investigaciones han logrado evidenciar leves variaciones entre las bandas asociadas a proteínas, almidones y lípidos cuando establecen bajo condiciones agroecológicas diferentes. En este sentido Czekus et al., (2019) encontraron una relación directa entre el tamaño de la estructura de los cotiledones del grano con la cantidad de proteína, asimismo entre el perisperma y el contenido de almidón determinado a través de espectroscopia FTIR. Dicho análisis permite evidenciar que estructuras como las proteínas, los almidones y los lípidos, son macromoléculas presentes en los tejidos embrionarios, que dan origen principalmente a las membranas celulares que enriquece la estructura integral del grano para ser utilizada como base para la alimentación (Taiz y Zeiger, 2006).

De acuerdo con lo anterior, los cultivares de quinua Soracá y Pasankalla presentan una alta variación en la vibración de los picos espectrales en comparación con otros estudios, dado principalmente a que su alta variabilidad genética, permite que estos cultivares varíen de manera significativa en la relación fuente - vertedero, especialmente en el tránsito de estructuras como triosas fosfato (carbohidratos), así como el desarrollo del ciclo de las pentosas para el origen de

los lípidos y las proteínas (Marschner, 2012). Por lo contrario, el cultivar Titicaca presenta una mayor estabilidad en su capacidad para sintetizar y organizar estructuras de tipo proteico y almidonoso, dado a que Titicaca es un material vegetal que ha ingresado de manera recurrente a programas de mejora genética que estabilizan su comportamiento fisiológico y de diversidad.

4.2.2 Deconvolución de proteinas

El análisis de la deconvolución en la espectroscopía infrarrojo, se desarrolla mediante la fórmula de Fourier, que permite mediante modelamiento matemático, aumentar la resolución en los puntos deseados en relación con la ecuación original (Contreras et al., 2010). Para este caso, se utilizó la deconvolución gaussiana que permitió hacer un acercamiento a las bandas asociadas a la vibración y estiramiento de C=O en la región de 1633 cm^{-1}, que se asocia a estructuras de amidas (proteínas) (Roa-Acosta et al., 2020).

Bajo este contexto, se analizó la región comprendida entre 1600 y 1700 cm^{-1}, siendo caracterizada por ser la zona espectral más sensible a las estructuras secundarias de la proteína, y que se constituye en su totalidad a la vibración y el estiramiento de diversos enlaces peptídicos C=O. En este sentido, el espectro de la banda de la amida I permite determinar los cambios conformacionales de la estructura de la proteína secundaria de los tres cultivares de quinua evaluados teniendo como parámetro lo propuesto en los protocolos previos (Yang et al., 2015).

Dentro de las estructuras más relevantes identificadas en los espectros de esta región, se identificó β-Sheet, α-Helice y β-Turn (Tabla X) como estructuras que se vinculan a la organización peptídica y aminoacídica de las amidas (Kopec et al., 2019).

Tabla 11

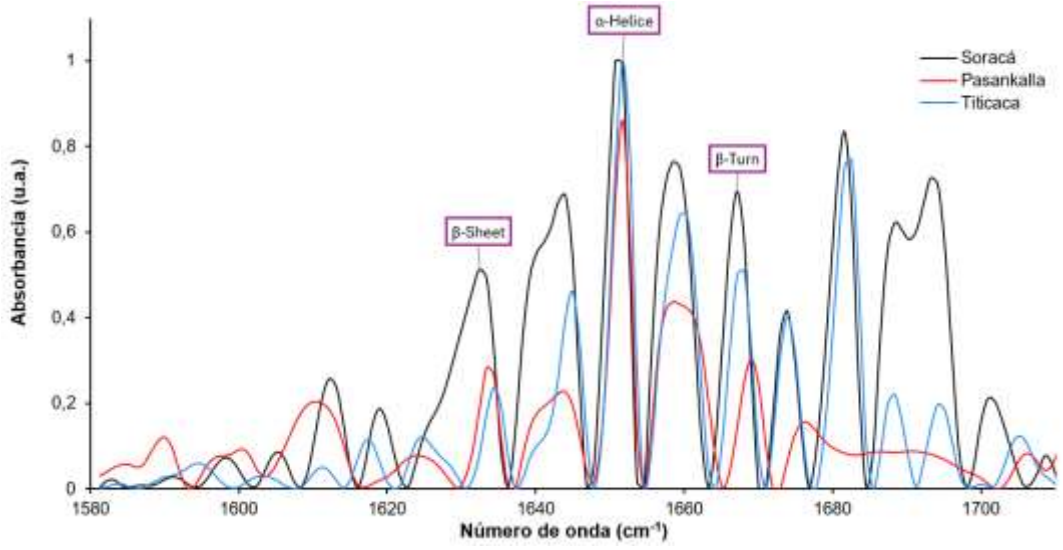
Estructura secundaria de la proteína de harinas de granos de tres cultivares de quinua

Cultivar	β-Sheet (1632 cm^{-1} - 1634 cm^{-1})	α-Helice (1648 cm^{-1} - 1651 cm^{-1})	B-Turn (1667 cm^{-1} - 1669 cm^{-1})
Soracá	0,51	0,98	0,69
Pasankalla	0,28	0,86	0,31
Titicaca	0,23	0,97	0,50

Nota. Fuente autor

Figura 2

Estructura secundaria de la proteína de harinas de granos de tres cultivares de quinua



Nota. Fuente autor

En este sentido, se encontró que los resultados obtenidos para las estructuras secundarias de las proteinas β-Sheet, α-Helice y β-Turn, muestran contenidos cualitativos que varían en rangos que superan hasta un 50%. Lo anterior, permite evidenciar que la deconvolución a pesar de ser una herramienta cualitativa, permite la obtención de datos de manera rápida para el desarrollo de análisis exploratorio. De acuerdo con lo anterior, es evidente reconocer que existe una variabilidad en la conformación molecular de la quinua, lo que ha permitido su relevancia, para la incorporación de macromoléculas proteicas específicas, como alimentos de alto valor nutricional, especialmente en la agroindustria especializada (Rodríguez et al., 2019).

En este sentido, los mismos cultivares de quinua establecidos bajo clima frio presentan una mayor sensibilidad al estiramiento y vibración de los enlaces asociados a proteinas β-Sheet, α-Helice y β-Turn que se relaciona con un mayor contenido de aminoácidos que conforman las estructuras secundarias de las proteínas (Stanschewski et al., 2021). De acuerdo con García et al (2021), Pasankalla y Titicaca presentan el menor valor para proteínas β-Sheet en comparación con otros cultivares, mientras que Soracá presenta los valores más altos para α-Helice, sin embargo, los valores para β-Turn son muy variables.

4.2.3 Estructura secundaria del almidón.

La deconvolución de los almidones permitieron encontrar picos pronunciados en las longitudes de banda de 800 a 1300 cm^{-1} que se atribuyen en su totalidad a la vibración y flexión de los enlaces C-O-H (**Tabla x**). **S**egún los resultados de los cultivares evaluados se presentó una alta intensidad en los picos que se asocian a la estructura molecular del almidón. El cultivar con

mayor intensidad de picos fue Pasankalla, seguido del cultivar Titicaca. La banda 996 cm^{-1} se ha asociado en estudios previos a la estructura de cristalina del almidón, mientras que 1014 cm^{-1} se atribuye a la región amorfa, y la región 1047 cm^{-1} refleja la cantidad de regiones ordenadas en el almidón (Díaz et al., 2019).

Tabla 12

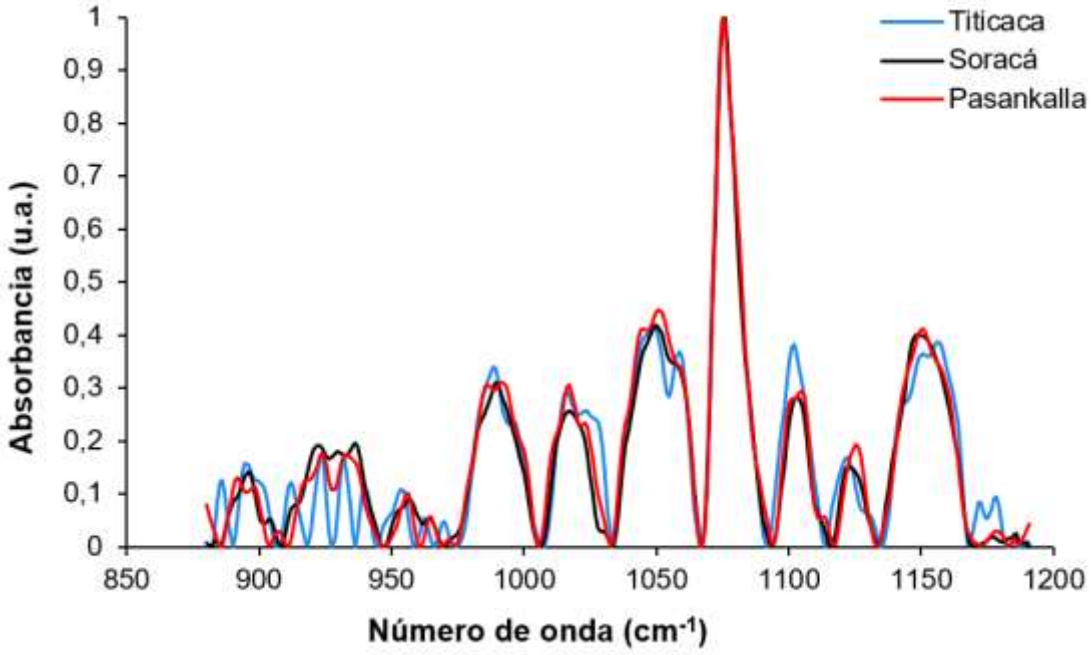
Análisis de deconvolución de almidones de tres cultivares de quinua

Cultivar	996	1014	1041	996/1014	1041/1014
Pasankalla	0,30	0,29	0,44	0,68	1,51
Soracá	0,32	0,25	0,41	0,78	1,64
Titicaca	0,32	0,29	0,41	0,78	1,41

Nota. Fuente autor

Figura 3

Análisis de deconvolución de almidones de tres cultivares de quinua



Nota. Fuente autor

Las investigaciones han logrado identificar la dinámica del comportamiento tecnofuncional de los almidones de la quinua. Sin embargo, el análisis de los almidones con relación a la estructura secundaria de la proteína el fundamenta, dado a que la conformación de complejos proteína-almidón, determinan la disponibilidad de la misma, especialmente con las regiones amorfas del almidón.

Dicho aspecto, es fundamental al momento de considerar el grano de quinua como un alimento funcional o suplementario, pues la disponibilidad de proteínas (albúminas y globulinas) depende del variables como el tamaño de partícula para su suministro y la relación amilosa/amilopectina, pues cultivares con una mayor proporción de estructuras cristalinas, tienen a tener una menor relación proteína-almidón y por ende, un mayor aprovechamiento proteico al momento de usarse como alimento (Cao et al., 2023).

4.2.4 Cromatografía liquida de Ultra alta resolución (UHPLC)

Los compuestos fenólicos y flavonoides en los granos de quinua son de gran importancia en la alimentación de animales debido a sus propiedades antioxidantes y su capacidad para mejorar la salud intestinal. Estos compuestos, que incluyen ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, pueden contribuir a la protección de las células contra el estrés oxidativo y mejorar la respuesta inmune de los animales. Además, los fenoles en la quinua han mostrado efectos positivos en la modulación de la microbiota intestinal, lo cual puede resultar en una mejor absorción de nutrientes y un crecimiento más saludable. La siguiente tabla presenta una recopilación de los principales compuestos fenólicos encontrados en los granos de quinua.

Tabla 13

Compuestos fenólicos identificados en granos de tres cultivares de quinua

Compuesto (mg kg^{-1} MS)	Pasankalla	Soracá	Titicaca
Cafeina	0,16	0,11	0,12
Ácido cafeico	1,45	1,92	1,9
Ácido vanílico	3,33	3	3,59
Ácido p-cumárico	2,3	14,1	2,1
Ácido felúrico	9	15,17	6,82
Apigenina	< 0,01	0,1	< 0,01
Pinocembrina	< 0,01	0,1	0,01
Quercetina-3-glucósido	0,41	1,52	1,26

Nota: Detectado por debajo del nivel mínimo de cuantificación del método. Nivel mínimo de detección, NMD=0,01 mg/kg.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, las concentraciones de compuestos fenólicos entre los cultivares Pasankalla, Soracá y Titicaca son muy variables. Soracá destaca con altas concentraciones de ácido p-cumárico (14 mg kg^{-1} MS) y ácido ferúlico (15,17 14 mg kg^{-1} MS), superando considerablemente a Pasankalla y Titicaca. Además, Soracá presenta niveles más altos de apigenina (0,1 14 mg kg^{-1} MS) y pinocembrina (0,1 14 mg kg^{-1} MS), compuestos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos niveles más elevados sugieren que Soracá podría ofrecer mayores beneficios antioxidantes y antiinflamatorios, potenciando la salud intestinal y la respuesta inmune de los animales no rumiantes.

Por otro lado, aunque Pasankalla y Titicaca contienen cantidades significativas de compuestos fenólicos, sus concentraciones son generalmente menores que las de Soracá. Pasankalla, por ejemplo, tiene menores cantidades de ácido p-cumárico (2,3 14 mg kg^{-1} MS) y ácido ferúlico (9 14 mg kg^{-1} MS).

Titicaca, aunque muestra la mayor concentración de ácido vanílico (3,59 14 mg kg^{-1} MS) y niveles comparables de otros fenoles, también queda por debajo de Soracá en términos generales. La elección del cultivar dependerá de los objetivos específicos de la dieta animal, balanceando la diversidad y concentración de compuestos fenólicos para maximizar los beneficios para la salud de los animales no rumiantes.

Debido a la alta exactitud de la técnica de UHPLC, para la cuantificación de los compuestos fenólicos en los granos de quinua, se logra identificar que se presentan una tendencia similar a otros referentes, en relación a los compuestos identificados y reportados en estudios previos como Abdelaleem y Elbassiony (2021).

Como una particularidad de los cultivares de quinua establecidos en Colombia, se ha identificado la presencia recurrente de compuestos como ácido cafeico, quercetina 3-glucósido, cafeína y pinocembrina que podrían perfilarse como alimento con alta potencialidad para en actividad antioxidante (García-Parra et al., 2021).

Cromatografía liquida de Ultra alta resolución (UHPLC)

4.3 Determinar el potencial proteico del grano de quinua para animales No Rumiantes, teniendo en cuenta los cultivares a evaluar.

Teniendo en cuenta las características encontradas para la digestibilidad in vitro en no rumiantes en relación con los resultados obtenidos en el laboratorio de Análisis químico y Bromatológico de la Universidad Nacional (Apéndice B), se observan los siguientes resultados (Tabla 14).

Tabla 14

Resultados de análisis de digestibilidad In Vitro aplicado a tres cultivares de quinua

	Cultivar Titicaca	**Cultivar Blanca Soroca**	**Cultivar Pasankalla**
Digestibilidad In vitro	85,6%	85,7%	88,3%

Nota. Fuente autor

La digestibilidad de las proteínas en las dietas de aves de corral es crucial por varias razones fundamentales que afectan directamente su salud, rendimiento y eficiencia alimenticia. Primero, una buena digestibilidad asegura que las aves puedan absorber y utilizar eficazmente los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo óptimos. De acuerdo con lo anterior, la quinua es un grano rico en diversos aminoácidos esenciales que son clave en la alimentación de animales no rumiantes, ya que esta, es especialmente rica en lisina, un aminoácido esencial que suele ser limitado en otros granos y cereales y es un aminoácido crucial

para la síntesis de proteínas y el crecimiento celular. Por otro lado, se puede encontrar también la metionina, que, aunque suele estar en menor cantidad en la quinua en comparación con la lisina, su presencia es significativa y es esencial para la síntesis de proteínas y la producción de compuestos metabólicos importantes. Finalmente, la quinua también contiene cisteína, que es importante para la síntesis de proteínas y el funcionamiento de enzimas antioxidantes (Ruales & Nair (1992).

Sin embargo, La quinua presenta algunos factores los cuales pueden afectar su digestibilidad en animales no rumiantes, entre los que se encuentra el contenido de saponinas, las cuales pueden llegar a afectar la digestibilidad de las proteínas y los minerales, además de contener propiedades amargas que pueden interferir con la absorción de nutrientes. Por otro lado, otro factor que afecta la digestibilidad de la quinua en la dieta es la interacción que puede hacer esta con el perfil de aminoácidos de otros componentes de la dieta establecida en el Sistema de producción (Savon & Scull, 2006).

Según algunos estudios, la digestibilidad in vitro de las proteínas de la quinua puede ser superior al 90%, lo que indica que la mayoría de las proteínas presentes en la quinua son fácilmente digeribles por las enzimas digestivas humanas (Repo-Carrasco et al., 2009). En animales no rumiantes como cerdos y aves de corral, la digestibilidad de la proteína de la quinua también ha demostrado ser alta entre el 80% y 90%. Estos estudios han evaluado tanto la digestibilidad ileal como la total, con resultados que indican una buena utilización de la proteína de la quinua en la dieta de estos animales (Taco, 2016).

Mosquera et al. (2019) Encontraron en su estudio, que la digestibilidad de la energía en la quinua para pollos de engorde era del 82.5%, mientras que la digestibilidad de las proteínas alcanzaba aproximadamente el 87.3%. Estos resultados indican una alta utilización de la energía y proteínas presentes en la quinua por parte de las aves. Por otro lado, Crus & Gonzales (2018), reportaron que la digestibilidad de la energía de la quinua en cerdos de crecimiento era del 77.8%. Esto indica que una proporción significativa de la energía contenida en la quinua es aprovechada por los cerdos.

Como menciona Rostagno et al. (2000), la calidad de la proteína y su digestibilidad influyen directamente en la ganancia de peso, la eficiencia en la conversión alimenticia y la producción de carne y huevos en aves de corral. Además, la digestibilidad afecta la utilización eficiente de los nutrientes y puede ayudar a minimizar el desperdicio de alimentos, lo que es esencial para la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones avícolas. Según Calderón-Carrillo et al. (2020), una digestibilidad mejorada de proteínas en las dietas avícolas no solo promueve una mejor salud digestiva, sino que también reduce la carga ambiental al disminuir la excreción de nutrientes no digeridos en el estiércol.

En la investigación de Peinado (2016), se destaca que la harina de soja y la harina de girasol muestran variaciones significativas en la digestibilidad de proteínas según el procesamiento y las condiciones dietéticas. Sus hallazgos indican que la harina de soja adecuadamente procesada puede ofrecer una digestibilidad favorable, siendo una fuente eficiente de proteínas para aves de corral. Estos hallazgos no solo informan sobre la eficacia de los ingredientes vegetales en las dietas para aves de corral, sino que también destacan la necesidad

de estrategias nutricionales adaptadas que consideren la digestibilidad de proteínas como un factor clave para maximizar la producción y la rentabilidad en la industria avícola.

Por otro lado, Selle el al. (2000), han enfocado sus estudios en la calidad proteica y la digestibilidad de diversas fuentes proteicas, incluidas las de origen vegetal, utilizando modelos *in vitro*. Sus investigaciones han subrayado cómo factores como la presencia de inhibidores enzimáticos y la estructura de la proteína pueden influir significativamente en la digestibilidad y la utilización nutricional en aves de corral la harina de soja y ha mostrado una digestibilidad de proteína que oscila entre el 75% y el 85%, mientras que la harina de girasol puede alcanzar valores cercanos al 70-75%.

De acuerdo con lo anterior, la riqueza proteína en quinua, especialmente predominada por albuminas y globulinas, dos tipos principales de proteínas solubles en agua en la quinua, juegan un papel crucial en mejorar la digestibilidad de este grano. Las albuminas, que constituyen aproximadamente el 10-15% de las proteínas del grano, son altamente solubles y pueden ser más fácilmente digeridas y absorbidas por los animales. Por otro lado, las globulinas, que representan alrededor del 50-60% de las proteínas totales, también contribuyen a la calidad de la proteína, ya que son digestibles y contienen aminoácidos esenciales. La solubilidad y la estructura de estas proteínas facilitan su digestión y utilización en el tracto gastrointestinal (Opazo et al., 2019).

Capítulo 5. Conclusiones

La integración de la quinua en la dieta de los animales no rumiantes, no solo diversifica las fuentes de alimento, sino que también promueve prácticas agrícolas sostenibles en la región de Ocaña. La quinua, al ser un cultivo adaptable a diferentes condiciones agroclimáticas, puede contribuir a la seguridad alimentaria tanto de los animales como de los humanos, promoviendo una cadena alimentaria más resiliente y sostenible.

La adopción de la quinua como componente de la dieta de animales no rumiantes podría tener importantes implicaciones económicas para los productores locales. La quinua, al ser un cultivo rentable y de alto valor nutricional, toma relevancia por su riqueza en proteínas, lípidos y fibras al contar con una estructura química que favorece su uso como suplemento.

El análisis UHPLC permitió identificar y cuantificar los compuestos fenólicos y flavonoides en los granos de quinua, destacando su importancia en la alimentación animal debido a sus propiedades antioxidantes. Dentro de este análisis se destacan compuestos como ácido p-cumárico y ácido ferúlico, así como de apigenina y pinocembrina, compuestos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas que benefician para la salud intestinal y la respuesta inmune de los animales no rumiantes.

La variabilidad genética y las diferencias en las condiciones agroecológicas influyen significativamente en las características estructurales y la composición química de los granos de quinua. Los resultados obtenidos de las pruebas de digestibilidad in vitro demuestran que la

quinua posee una alta tasa de digestibilidad para los animales no rumiantes, comparable con otros granos comúnmente utilizados en su alimentación. Esto indica que la quinua no solo es altamente nutritiva sino también fácilmente asimilable, lo cual es crucial para optimizar el aprovechamiento de nutrientes en la dieta de estos animales.

Capítulo 6. Recomendaciones

Para mejorar la estabilidad y la calidad nutricional de los cultivares de quinua, se recomienda desarrollar programas de mejora genética enfocados en estabilizar características estructurales y macroestructurales, especialmente en los cultivares Soracá y Pasankalla. Esto podría aumentar la homogeneidad en la composición de macromoléculas como proteínas, lípidos y almidones, mejorando su valor nutricional y funcionalidad en la alimentación animal.

Continuar comparando el contenido de macromoléculas entre diferentes cultivares de quinua y con otras fuentes alimenticias, para identificar cuáles ofrecen los mejores perfiles nutricionales para su inclusión en dietas animales.

Dado que las condiciones agroecológicas influyen significativamente en la variabilidad de las macromoléculas presentes en los granos de quinua, se recomienda investigar y optimizar estas condiciones para maximizar la calidad y cantidad de proteínas y almidones. Esto incluye el estudio de factores como el clima, el suelo, y las prácticas agrícolas específicas que puedan potenciar el contenido de nutrientes en los cultivares de quinua.

Basado en los resultados obtenidos sobre la digestibilidad y el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en los granos de quinua, se recomienda su incorporación en programas de alimentación animal. La alta digestibilidad y los beneficios antioxidantes y antiinflamatorios identificados pueden mejorar la salud intestinal y el rendimiento general de estos animales.

Realizar Estudios a Largo Plazo sobre la Variabilidad Genética, para entender mejor la influencia de la variabilidad genética en la composición nutricional de la quinua, se recomienda realizar estudios a largo plazo que analicen múltiples generaciones de cultivares. Estos estudios pueden ayudar a identificar patrones y correlaciones que permitan una mejor selección de cultivares con características deseables, promoviendo así la sostenibilidad y eficiencia en la producción de quinua como un recurso alimenticio tanto para humanos como para animales.

Referencias

Abellán Ruiz, M., Barnuevo Espinosa, M., García Santamaría, C., Contreras Fernández, C., Aldeguer García, M., Soto Méndez, F.,López Román, F. (2017). Efecto del consumo de quinua (Chenopodium quinoa) como coadyuvante en la intervención nutricional en sujetos prediabéticos. *Nutrición Hospitalaria*, *34*(5). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112017000500021#:~:text=Introducci%C3%B3n%3A%20la%20quinua%20es%20un,intervenci%C3%B3n%20nutricional%20de%20la%20prediabetes

Abdelaleem, MA and Elbassiony, KRA. (2021). Evaluación de fitoquímicos y actividad antioxidante de la quinua irradiada con rayos gamma (*Chenopodium quinoa*). *Brazilian Journal of Biology*. *81*: 806–813.

Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales.

Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, *4*(3), 163-173.

Albarrán Urbina, A. N. (2024). Energía metabolizable aparente y digestibilidad de la semilla de quinua (Chenopodium Quinoa) en pavos de 5 y 10 semanas de edad.

Aloisi, I., Parrotta, L., Ruiz, K., Landi, C., Bini, L., Cai, G., Del Duca, S. (2016). New insight into quinoa seed quality under salinity: changes in proteomic and amino acid profiles, phenolic content, and antioxidant activity of protein extracts. *Frontiers in plant science, 7*(656), 31. https://doi:10.3389/fpls.2016.00656

Angeli, V., Silva, P., Massuela, D., Khan, M., Hamar, A., Khajehei, F., Piatti, C. (2022). Quinoa (chenopodium quinoa willd.): An overview of the potentials of the "golden grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods, 9*(2). doi:http://doi:10.3390/foods9020216

Arias, P. (2011). *Extracción de grasas por micro Soxhlet frente a la técnica convencional macro Soxhlet en productos alimenticios de mayor consumo en la ciudad de Quito.* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica de Ecuador]. Ecuador. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3290/T-PUCE-3309.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de Colombia de 1991. Gaceta Constitucional 116 de 20 de julio de 1991. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html

Asher, A., Galili, S., Whitney, T. & Rubinovich, L. (2020). The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production

and livestock feed. *Scientia Horticulturae*. 272. 109534. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109534

Bai, M., Qin, G., Sun, Z. y Long, G. (2015). Relationship between Molecular Structure Characteristics ofFeed Proteins and Protein In vitro Digestibility and Solubility. *The Asian Australasian Journal of Animal Science.29(8),* 1159-1165.

Banderas, M. (2012). *Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola*. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica de Ecuador]. Ecuador. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000h/5359

Basantes-Morales, E., Alcona, M. y Pantoja, J. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Production in the Andean Region: Challenges and Potentials. *Journal of Experimetal Agriculture International.* 36(6), 1-18.

Bauza, R. (2007). Alimentos alternativos para animales monogástricos. Unidad de Producción de Cerdos. IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos. Montevideo, Uruguay.

Bazile, D et al. (2014). “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 724 p.

Berdugo Agudelo, J. (2014). *Antología de la quinua en Boyacá y su papel en el desarrollo rural. Caso:Municipio de Tuta.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD]. Tunja, Boyaca, Colombia https:// repository.unad.edu.co/bitstream/ handle/. 10596/3392/7172122.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). Chenopodium quinoa—an Indian perspective. *Industrial crops and products*, *23*(1), 73-87.

Calderón-Carrillo, E., Peña-Betancourt, S. L., Avendaño-Reyes, L., Espinosa-Cervantes, J., Carrillo-López, A., & García-Macías, J. A. (2020). Advances in the Nutrition of Poultry: Feed Formulation Strategies to Improve Poultry Performance and to Reduce Environmental Impact. In A. El-Shemy (Ed.), Advances in Poultry Nutrition Research (pp. 39-56).

Calvache Ulloa, M.,Valle , L. (2020). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (Chenopodium quinoa Willd). *CET-Bolivia.* http://portal.amelica.org/ ameli/journal /540/5402433001/html/

Cámara de Comercio de Ocaña. (2018). *Informe Económico 2018 de los municipios de la jurisdicción de la Cámara de Comercio de Ocaña.* https://www.camaraocana.com/wp-content/uploads/2020/03/Estudio-economico-2018.pdf

Campos Rodriguez, J., Acosta Coral, K., Paucar Menacho, L. (2022). Quinua (Chenopodium quinoa): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. (Universidad Nacional del Santa, Ed.) *Scientia Agropecuaria, 13*(3) http:// www.scielo.org.pe/scielo.php?scrip=. sci_arttext&pid=S2077-99172022000300209

Cao, H., Huang, Q., Wang, C., Guan, X., Huang, K., Zhang, Y. (2023). Effect of compositional interaction on in vitro digestion of starch during the milling process of quinoa. Food Chemistry. 403(1): 134372. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134372

Cardozo, A. (1959). Estudio comparativo del valor nutritivo de torta de palma africana, quinua y leche descremada en polvo.

Castellanos González, L., González Pedraza, A., Capacho Mogollón, A. (2020). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. (Universidad de Pamplona, Ed.) *INGE CUC, 17*(1), 69–80 https://revistascientificas. cuc.edu.co/ ingecuc/ article/view/ 2868/3633

Cazón, S. (2020, 07 10). Generalidades y características de los forrajes. *Sistemas de Producción de Cultivos Extensivos y Producción Forrajera*. (Campus FCA-UNC, Ed.) from https://www.youtube.com/watch?v=hwezy6e5rxo

Chaparro Rojas, D. C., Pismag Portilla, R. Y., Elizalde Correa, A., Vivas Quila, N. J., & Erazo Caicedo, C. A. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de

proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, *8*(1), 35-42.

Chito Trujillo, D. M., Ortega Bonilla, R. A., Ahumada Mamián, A. F., & Rosero López, B. (2017). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) versus soja (Glycine max [L.] Merr.) en la nutrición humana: revisión sobre las características agroecológicas, de composición y tecnológicas. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, *21*(2), 184-198.

Condori-Quispe, R., Loza-Murguía, M., Achu-Nina, C., Alberto-Alberto, U. (2019). Calidad del ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa* L.) conservado en tres diferentes tipos de silos artesanales. Journal of the Selva Andina Animal Science. 6(2).

Corporación Aurónoma Regional del Valle del Cauca. (2017). Caracterización de la cuenca del Rio la Vieja plan de ordenación y manejo de la cuenca del rio la vieja. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/3_CapituloI_Diagnostico_Clima.pdf

Cristancho, F. y Velásquez, F. (2020). Evaluación de ganancia diaria y conversión alimenticia en pollos de engorde Ross 308 (*Gallus gallus domesticus*) a partir de alimento balanceado y adición de afrecho de quinua (*Chenopodium quinoa*). Trabajo de grado del programa de Zootecnia. Universidad de Cundinamarca. 83p.

Czekus, B., Pecinar, I., Petrovic, I., Paunovic, N., Savic, S., Jovanovic, Z., & Stikic, R. (2019). Raman and Fourier transform infrared spectroscopy application to the Puno and Titicaca cvs. of quinoa seed microstructure and perisperm characterization. *Journal of Cereal Science*, *87*, 25–30. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.02.011

Deaquíz Oyola, Y. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. *Conexión Agropecuaria JDC, 4*(1), 39-47. https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/227

Depablos, L., Colina, Y., Vargas, D., Saddy, J. (2011). Utilización de diferentes suplementos en la alimentación de hembras vacunas mestizas en crecimiento estabuladas. (Universidad Central de Venezuela, Ed.) *Zootecnia Tropical, 29*(4), 435 - 443. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000400005

Díaz, O., Ferreiro, T., Rodríguez-Otero, J. L., & Cobos, Á. (2019). Characterization of chickpea (Cicer arietinum L.) flour films: Effects of pH and plasticizer concentration. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(5). https://doi.org/10.3390/ijms20051246

FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. https://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf

FAO. (2023). Propiedades nutricionales.*Plataforma de información de la quinua*. https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinua/alimento-nutritivo/es/

Fernández Garay, J. M. (2018). Efecto de Quinua de Descarte (Chenopodium Quinua Willd) en Alimentacion de Pollos de Engorde Cobb-500.

Felmer, S. (2018). El Riego de la quínoa. *INIA.Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Ministerio de Agricultura*(362). https://biblioteca.inia. cl/bitstream/handle/20.500.14001 /6727/NR41421.pdf?sequence=10&isAllowed=y

Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, *57*(8), 1618-1630.

Flórez-Martinez, D., Rodríguez-Cortina, J., Chaves-Oliveros, L., Aguilera-Arango, G. y Morales-Castañeda, A. (2024). Current trends and prospects in quinoa research: An approach for strategic knowledge areas. *Food Science & Nutrition*. 12(3), 1479-1501. https://doi.org/10.1002/fsn3.3891

Flores Hilario, E. (2018). Identificación y Cuantificación de aminoácidos esenciales en Vigna unguiculata (frejol castilla) y Phaseolus vulgaris (frejol guinda) por Cromatografía Líquida de Alta Performance (HPLC).

García Parra, M., Plazas Leguizamón, N. (2018). La quinua (Chenopodium quinoa Willd) en los sistemas de producción agraria. *Revista producción + limpia, 13*(1), 112-119. http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v13n1/1909-0455-pml-13-01-112.pdf

García Parra, M., Bravo Gómez, J., Roa Acosta , D., Hernándnez Criado , J., Villada Castillo, H. (2022). Effects of Altitudinal Gradient on Physicochemical and Rheological Potential of Quinoa Cultivars. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.862238/full

García Parra, M., García Molano, J., & Carvajal Rodriguez, D. (2018). Evaluación del efecto de fertilización química y orgánica en la composición bromatológica de semillas de quinua (Chenopodium quinua Willd) en Boyacá-Colombia. (UNAD, Ed.) *Revista de Investigación Agrariaa y Ambiental, 9*(2). https://hemeroteca.unad.edu.co/ index.php/ riaa/article/view/2282

García Parra, M., Garcia Molano, F., Deaquiz Oyola, Y. (2019). Physiological performance of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under agricultural climatic conditions in Boyaca, Colombia. *Agronomía Colombiana, 37(2).* https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.76219

García-Parra M, Roa-Acosta D, García-Londoño V, Moreno-Medina B, Bravo-Gomez J. (2021). Structural Characterization and Antioxidant Capacity of Quinoa Cultivars Using Techniques of FT-MIR and UHPLC/ESI-Orbitrap MS Spectroscopy. *Plants*. 10(10):2159. https://doi.org/10.3390/plants10102159.

García Parra, M., Roa Acosta, D., Bravo Gómez, J. (2022). Effect of the Altitude Gradient on the Physiological Performance of Quinoa in the Central Region of Colombia. *Agronomy* , *12*(9). https://www.mdpi.com/2073-4395/12/9/2112

García Parra, M., Zurita Silva, A., Stechauner Rohringer, R., Roa Acosta, D., Erik Jacobsen, S. (2020). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) and its relationship with agroclimatic characteristics: A Colombian perspective. *Chilean Journal of Agricultural, 80*. https://www.scielo.cl/pdf/chiljar/v80n2/0718-5839-chiljar-80-02-290.pdf

García-Parra, M., Roa-Acosta, D., García-Londoño, V., Moreno-Medina, B., & Bravo-Gomez, J. (2021). Structural characterization and antioxidant capacity of quinoa cultivars using techniques of FT-MIR and UHPLC/ESI-Orbitrap MS spectroscopy. *Plants*, *10*(10), 2159.

García Zanabria, R., Dávalos Merino, G., Ríos Rivera, A. (2021). Uso de paja de quinua como alimento suplementario de ganado de leche. (Universidad Nacional de Chimborazo, Ed.) *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 6*(3), 1363-1375. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926907

Garnica, J. D., Restrepo, J. A., & Parra, J. E. (2010). Digestibilidad total de materia seca y proteína cruda de Boehmeria nivea L. Gaud en cerdos en crecimiento. *Livestock Research for Rural Development*, *22*(10), 185-186.Gómez Pando, L., Aguilar Castellanos, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. (Universidad Nacional Agraria La Molina, Ed.)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/ Universidad Nacional Agraria La Molina. https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf

Gómez-Caravaca, A. M., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A., & Caboni, M. F. (2011). Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (Chenopodium quinoa Willd) by a liquid chromatography–diode array detection–electrospray ionization–time-of-flight mass spectrometry methodology. *Journal of agricultural and food chemistry*, *59*(20), 10815-10825.

González, J., Guillermo , M., Bruno, M., Prado, F. (2016). La quínoa (Chenopodium quinos) como alternativa forrajera en la zona de los Valles Calchaquíes (Noroeste Argentino). *Lilloa*, *53*(1). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2346-96412016000100007#:~:text=%E2%80%9CQu%C3%ADnoa%22%20es%20una%20especie%20multiprop%C3%B3sito,las%20pasturas%20naturales%20son%20escasas.

Gonzales Salas, R. A. U. L., Romero Cruz, O. S. C. A. R., Valdivie Navarro, M. A. N. U. E. L., & Ponce Palafox, J. T. (2014). Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *CONACYT*.

González Martínez, D. (2016). *Evaluación nutricional de la leguminosa forrajera cratilia (Cratylia argentea) y su efecto en la ganancia de peso de pollos criollos de traspatio* (Master's thesis).

Gobernación de Boyacá. (2018). *Secretaría de Agricultura: Masiva participación de agroempresarios en segunda 'Rueda de Negocios PAE'*. https://www.boyaca.gov.co/secretariaagricultura/masiva-participacion-de-agroempresarios-en-segunda-rueda-de-negocios-pae/

Gregorio, J., Lanza, P., Churión, C.,Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, *28*(2). https://www.redalyc.org/journal/4277/427749623006/427749623006.pdf

Guamanga, C. y Rosero, F. (2007). Evalaución del rempazo parcial del concentrado por quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en alimentación de ponedoras Lomhann Brown en etapa de levante. Trabajo de grado programa de Ingeniería Agropecuaria - Universidad del Cauca. 66p.

Guevara Peña, L., Quintero Velásquez, N. (2021). *La quinua, sus compuestos bioactivos, propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Ingeniería en Alimentos. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería- ECBTI]. https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/42588/3/ndquinterov.pdf

Heredia , J., Aguilera, A., Reis de Souza, T., Bernal, M., Escobar, K. (2016). Fibra dietética total: métodos de determinación en pastas de oleaginosas. *Universidad Autónima de Querétaro*. https://docplayer.es/179651999-Fibra-dietetica-total-metodos-de-determinacion-en-pastas-de-oleaginosas.html

Hernández Sampieri , R., Fernández Collado , C., Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta Ed. ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf

Hernández, J., Camacho, J., Moreno , S., Ibarra, F., Martín, M. (2022). El impulso del desarrollo sustentable en los procesos de producción animal y su impacto económico. *Revista Mexicana de Agronegocios, 50*. https://www.redalyc.org/journal/141/14173239004/html/

Huamanchumo, W. (2020). Pseudocereales andinos: valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten.

Instituto Colombiano Agropecuario. (2015). Resolución 3168 del 7 de septiembre de 2015. Por la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades. https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx

Iturbe , F., Sandoval, J. (2012). Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas. . *Universidad Nacional de México*.

Jäger, M. (2015). El cultivo de la quinua en Colombia y sus perspectivas futuras. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. GIZ, CORPOICA, CIAT. 55p. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Memorias_Quinua_Definitivo_01272016.pdf

James, L. E. A. (2009). Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research*, *58*, 1-31.

Kopec, K., et al. (2019). Comparison of α-Helix and β-Sheet Structure Adaptation to a Quantum Dot Geometry: Toward the Identification of an Optimal Motif for a Protein Nanoparticle Cover. ACS Omega. 4(8): 13086–13099. https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00505

Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Journal of food composition and analysis*, *5*(1), 35-68.

Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (Chenopodium quinoa W.) and amaranth (Amaranthus caudatus L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food chemistry*, *167*, 490-496.

Larrea Santos, V., & Martínez Martí, J. (2023). Factores antinutricionales en legumbres.

Leeson, S. (2001). Nutrition of the chicken.

Ligarda Samanez, C. A., Repo-Carrasco, R., Encina Zelada, C. R., Herrera Bernabé, I., & Quinde-Axtell, Z. (2012). Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), kiwicha (Amaranthus caudatus L.) y cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *78*(1), 53-64.

López, G. (2018). Predicción del análisis próximo de carbones colombianos mediante espectroscopía FTIR-DR en la región del infrarrojo medio utilizando mínimos cuadrados parciales. Trabajo de grado del programa de química. UNAD. 90p.

Martínez , A., Martínez de Victoria Muñoz, O. (2016). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500002#:~:text=Son%20macromol%C3%A9culas%20formadas%20por%20cadenas,)%2C%20con%20p%C3%A9rdida%20de%20agua.

Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier. Doi: 10.1016/C2009-0-63043-9

Mejia Vega, S. (2021). *Composición Nutricional De Los Residuos De Cosecha De Quinua (Chenopodium Quinoa), Potencial En La Alimentación Animal.* [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca].Cundinamaarca,Colombia. https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3613

Melgarejo, L., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M., Suárez, D., Moreno, L. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Cundinamaarca,Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11144

MinAgricultura. (2016, 30 de Marzo). *La quinua en Colombia es uno de los cultivos con gran potencia de crecimiento*. https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/La-quinua-en-Colombia-es-uno-de-los-cultivos-con-gran-potencial-de-crecimiento.aspx

MinAgricultura. (2018). *En los últimos 4 años, la quinua ha tenido un crecimiento de más del 150% en áreas de producción*. https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/En-los-%C3%BAltimos-4-a%C3%B1os,-la-quinua-ha-tenido-un-crecimiento-de-m%C3%A1s-del-150-en-%C3%A1reas-de-producci%C3%B3n-.aspx#:~:text=Se%20estima%20que%20el%20%C3%A1rea,%2C%20Nari%C3%B1o%2C%20Boyac%C3%A1

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E. A., López, J., Marín, R., Aranda, M., & Fuentes, F. (2013). Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa

genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean journal of agricultural research*, *73*(2), 108-116.

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Rodríguez, M. J., Maureira, H., & Martínez, E. A. (2012). Nutritional aspects of six quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, *72*(2), 175.

Mosquera, Mari l, Portilla, Sandra, & López, fredy j. (2009). evaluación del efecto nutricional de quinua (*Chenopodium Quinoa Willdenow*) con diferentes niveles de inclusión en dietas para pollos de engorde. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *7*(1), 76-90. Recuperado en 29 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100010&lng=es&tlng=es.

Moyo, M. y Nsahlai, I. (2021). Consequences of Increases in Ambient Temperature and Effect of Climate Type on Digestibility of Forages by Ruminants: A Meta-Analysis in Relation to Global Warming. *Animals (MDPI)*. 11(1), 172. https://doi.org/10.3390/ani11010172

Moncada Barrera, M. S. (2023). Tira reactiva basada en nanopartículas de carbono (CNPs) para la detección de una biomolécula modelo.

Muñoz Jáuregui, A. (2013). Editorial "Año Internacional de la Quinua". *Revista de la Sociedad Química del Perú, 70*(1). https://www.redalyc.org/pdf/3719/371937630001.pdf

Murphy, K y Matanguihan, J. (2015). Quinoa: Improvement and Sustainable Production. Doi: 10.1002/9781118628041

Murphy, K. M., Matanguihan, J. B., Fuentes, F. F., Gómez-Pando, L. R., Jellen, E. N., Maughan, P. J., & Jarvis, D. E. (2018). Quinoa breeding and genomics. *Plant breeding reviews*, *42*, 257-320.

Nuñez-Torres, O. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the selva Andina Animal Science.*4(2): 93-94.

ONU. (2011). Año Internacional de la Quinua, 2013. *Organización de las Naciones Unidas*. file:///C:/Users/USER/Downloads/A_RES_66_221-ES.pdf

Opazo-Navarrete, M., Tagle Freire, D., Boom, R. M., & Janssen, A. E. (2019). The influence of starch and fibre on in vitro protein digestibility of dry fractionated quinoa seed (Riobamba variety). *Food biophysics*, *14*, 49-59.

Organización Panamericana de la Santé . (2018,28 de Abril). *Sistemas Alimentarios Sostenibles para una Alimentación Saludable*. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com

_content&view=article&id=14270:sistemas-alimentarios-sostenibles-para-una-alimentacion-saludable&Itemid=72259&lang=fr#gsc.tab=0

Ortiz Munizaga, F. (2009). *Evaluación nutricional de dos ecotipos de quínoa (Chenopodium quinoa Willd.) como alternativa forrajera para el ganado caprino.* [Trabajo de grado, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133070/Evaluaci%C3%B3n-nutricional-de-dos-ecotipos-de-qu%C3%ADnoa-%28Chenopodium-quinoa-willd.%29-como-alternativa-forrajera-para-el-ganado-caprino.pdf?sequence=1

Padrón Pereira, C., Oropeza González, R., Montes Hernández, A. (2015). Semillas de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 5*(2), 166-218. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41328395/17_Padron-Pereira_et_al_2014-libre.pdf?1453218073=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSemillas_de_quinua_Chenopodium_quinoa_Wi.pdf&Expires=1687565333&Signature=gQ2j0eldzdUVAdtbx4HDIieIFI~d7Xz~h

Palmer, C. (2016). La quinua a la conquista del mundo.http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/QUINUA_a_la_conquista_3.pdf

Peinado Martínez, M. J. (2016). Efectos de nuevos aditivos alimentarios sobre la composición de la microbiota digestiva en pollos broiler.

Peña Albarracín, M., Albarracín Caro, F. (2022). *Industrialización de la quinua como base de una economía circular en Colombia.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD] https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/52307/mapenaal.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Pezúa Céspedes, R. (2017). Digestibilidad in vitro de la proteína y la composición nutricional de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa willd) germinada y cocida.

Pereda Ibañez, J. M. (2016). Calibración para determinar composición proximal de la quinua (Chenopodium quinoa W.) usando la espectroscopía de trasmitancia en el infrarrojo cercano.

Pinzón-Sandoval, E., Pineda-Rios, W., Serrano-Cely, P. (2023). Mathematical models for describing growth in peach (Prunus persica [L.] Batsch.) fruit cv. Dorado. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 15(3). https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i3.13259*

Pond, W. G., Church, D. B., Pond, K. R., & Schoknecht, P. A. (2004). *Basic animal nutrition and feeding*. John Wiley & Sons.

Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1071 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario,*

Pesquero y de Desarrollo Rural. Diario Oficial No. 49.523 de 26 de mayo. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=76838

Pulido Suárez , N., Escobar, M., & Rodríguez Molano, C. (2019). Valor nutricional del ensilaje de forraje de quinua (Chenopodiumquinoa willd) con adición de microorganismos eficientes. *CES Med. Zootec*, *14*(3), 16-28. Retrieved from https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/5393/3107

Quintero Jiménez , C. (2012). *DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD NUTRICIONAL "NUTRIENT RICH FOODS INDEX (NRF)" EN EL CICLO DE MENÙS DEL ALMUERZO ESCOLAR OFRECIDO POR LA SECRETARIA DE EDUCACIÓN DEL DISTRITO CAPITAL.* Trabajo de grado , Pontificia Universidad Javeriana. Retrieved from https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11966/QuinteroJimenezCarolina2012.pdf?sequence=1

Quintero, J. A., & Granda, M. M. M. (2022). Eficiencia productiva en cerdos de levante alimentados con materias primas alternativas de países tropicales: meta-análisis. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, *17*(1), 114-132.

Quintero Velásquez, N. D., & Guevara Peña, L. E. La quinua, sus compuestos bioactivos, propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.

Quinoa, F. A. O. (2011). An ancient crop to contribute to world food security. *Regional Office for Latin America and the Caribbean*, *2*, 73-87.

Ravidran, V. (2010). Aditivos en la alimentación animal: presente y futuro. *Institute of Food, Nurition and Human Health. Massey University, Palmerston North*, *4442*.

Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (Chenopodium quinoa), kañiwa (Chenopodium pallidicaule) and kiwicha (Amaranthus caudatus). *Food chemistry*, *120*(1), 128-133.

Repo-Carrasco-Valencia, R. A. M., & Serna, L. A. (2011). Quinoa (Chenopodium quinoa, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology*, *31*, 225-230.

Roa Acosta, D., García Londoño, V., Moreno Medina , B., Bravo Gomez, J., & García Parra, M. (2021). Structural Characterization and Antioxidant Capacity of Quinoa Cultivars Using Techniques of FT-MIR and UHPLC/ESI-Orbitrap MS Spectroscopy. *Plants, 10*. Retrieved from https://www.mdpi.com/2223-7747/10/10/2159

Roa-Aacosta, D., Bravo-Gómez, J., García-Parra, M., Rodríguez-Herrera, R. y Solanilla-Dique, J. (2020). Hyper-protein quinoa flour (Chenopodium Quinoa Wild): Monitoring and

study of structural and rheological properties. LWT. 121. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108952

Roa, D.F., Santagapita, P.R., Buera, M.P. Tolaba, M. (2014) Amaranth Milling Strategies and Fraction Characterization by FT-IR. *Food Bioprocess Technology.* (7): 711–718. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1050-7

Rodríguez, S. D., López-Fernández, M. P., Maldonado, S., & Buera, M. P. (2019). Evidence on the discrimination of quinoa grains with a combination of FT-MIR and FT-NIR spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(10), 4457–4464. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03948-7

Rostagno, H. S., Albino, L. T., DONZELE, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. D., Lopes, D. C., ... & Euclides, R. F. (2000). *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais* (Vol. 1). Viçosa: UFV/DZO.

Reese, D. (1996). Nueva guía de nutrición porcina disponible. *Nebraska Swine Reports* , 182.

Ruales, J., & Nair, B. M. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (Chenopodium quinoa, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, *42*, 1-11.

Rubio, P. B., & Moneva, A. A. Semillas de quinoa: aspectos nutricionales y saludables.

Sánchez Gavilanes, D. (2016). *Degradación rumial de la materia seca y comportamiento productivo de ovinos consumiendo forraje de Chenopodium quinoa.* Trabajo de grado , Universidad Técnica de Ambato . Retrieved from https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24266/1/Tesis%2067%20Medicina%20Veterinaria%20y%20Zootecnia%20-CD%20435.pdf

Sánchez, L. F. D. (2019). Efecto del perfil proteico en las propiedades de una película comestible a base de proteína de quinua-quitosano entrecruzado con transglutaminasa.

Savón, L., & Scull, I. (2006). Avances en los métodos para disminuir el efecto de factores antinutricionales en alimentos para especies monogástricas. *Revista Computadorizada de Producción Porcina Volumen*, *13*(suplemento 1).

Solis Pino , A., Revelo Luna, D., Campos Ceballos, D., Gaviria López , C. (2021). Correlación del contenido de clorofila foliar de la especie Coffea arabica con índices espectrales en imágenes. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, *19*(2). http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v19n2/1692-3561-bsaa-19-02-57.pdf

Sosa-Zuniga,, V., Brito, V., Fuentes, F., Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (Chenopodium quinoa) based on the BBCH scale. *Association of Applied Biologists*, *171*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aab.12358

Stanschewski, C. et al. (2021). Quinoa Phenotyping Methodologies: An International Consensus. *Plants (MDPI)*. 10(9). 1759. https://doi.org/10.3390/plants10091759

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., ... & Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of cereal science*, *55*(2), 132-138.

Szilagyi, L., Jørnsgard, B. (2014). Preliminary agronomic evaluation of Chenopodium quinoa Willd. Under climatic conditions of Romania. *Scientific papers. Series A. Agronomy, 62*, 339-343. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2014/art60.pdf

Tamami Guambuguete, C. A., & Vargas Llagua, R. E. (2024). *Estudio de las concentraciones de semillas expandidas de trigo (Triticum vulgare), avena (Avena sativa) y quinua (Chenopodium quinua) y el establecimiento valor calórico y tiempo de vida útil en la obtención de barras energéticas, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar* (Bachelor's thesis, Guaranda. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Carrera de Ingeniería Agroindustrial).

Tanwar, B. (2015). Nutritional Composition And Health Benefits Of Golden Grain Of 21st Century, Quinua: A review. (Asian Network for Scientific Information, Ed.) *Pakistan Journal of Nutrition, 14*(12), 1034-1040. https://www.researchgate.net/profile/Beenu-Tanwar/publication/288685952_Nutritional_Composition_and_Health_Benefits_of_Golden_Grain_of_21st_Century_Quinoa_Chenopodium_quinoa_willd_A_Review/links/568b736c08ae1e63f1fc50fa/Nutritional-Composition-and-Health-

Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. I). Castellón de la Plana: Universitat Jauma. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=7QIbYg-OC5AC&printsec=frontcover&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three Chenopodium quinoa Willd. genotypes. *Food chemistry*, *166*, 380-388.

TBRF Ingredients. (2021, 26 de Abril). *¿Cuáles son los principales factores que afectan la digestibilidad en la nutrición animal?*. https:// www.brfingredients.com/es/blog/posts/cuales-son-los-principales-factores-que-afectan-la-digestibilidad-en-la-nutricion-animal/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20digestibilidad%20en,sea%20en%20nutrientes%20o%20energ%C3%ADa.

Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Cultivo ancestral de quinua vuelve a florecer en Colombia.* https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/cultivo-ancestral-de-quinua-vuelve-a-florecer-en-el-cauca.html

Valcárcel Cases, M., Ríos , A. (2021). La calidad en los laborratorios analíticos. *Editorial Reverté.* https://books.google.com.co/books?id=QdMfEAAAQBAJ&printsec frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Vanina Arias , C. (2015). Graminenas perennes de C3 y C4 para la producción de bioenergía . *Universidaad de Barcelona*. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/333339/CVA_TESIS.pdf;jsessionid=41471BB08DA295580F4417686514747C?sequence=1

Vega, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martínez, D. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.), an ancient Andren grain. *Food Agric, 90*(15), 2541. doi:10.1002/jsfa.4158

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*(15), 2541-2547.

Vilcanqui Pérez, F., Vílchez Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 67*(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010

Villacrés Barreno, J. L. (2015). *Probiótico natural en la alimentación de porcinos en las etapas de crecimiento y engorde con diferentes niveles de soluto* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Apéndice

Apéndice A.

Análisis Proximales de tres cultivares de Quinua

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT 800 183 130 - 0

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

RESULTADOS DE ANALISIS BROMATOLOGICO

Solicitante: Paula Andrea Batista Bayona **Fecha:** 15/05/2024

Tipo de muestra: Quinua variedad Blanca soraca.

Ubicación: Proyecto maestria en pdn animal UFPSO.

Parámetro	Unidades	Resultados	Método empleado
Materia seca	%	92.09	Gravimétrico (estufa a 65°c y 105°c).
Humedad	%	7.91	Por diferencia.
Proteina cruda	%	11.26	Micro-kjeldahl.
Cenizas	%	3.99	Incineración directa en mufla a 550 °c.
Fibra cruda	%	6.10	Gravimétrico.
Grasa bruta	%	5.166	Extracción por método soxhlet.

En cada parámetro fueron usadas sub-muestras en triplicado.

Nota: Las variaciones en los resultados suelen asociarse al tratamiento dado a las muestras (toma de la muestra, tiempo de almacenado de la muestra, limpieza y tipo de empaque usado, entre otras) antes de recibirse en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

José Efraín Salcedo Paredes.

JOSE EFRAIN SALCEDO PAREDES
Coordinador del Laboratorio de Nutrición Animal.
Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña
Teléfono 5690088 Ext. 435
Celular 311 496 2451

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

RESULTADOS DE ANALISIS BROMATOLOGICO

Solicitante: Paula Andrea Batista Bayona **Fecha:** 15/05/2024

Tipo de muestra: Quinua variedad Titicaca.

Ubicación: Proyecto maestría en pdn animal UFPSO.

Parámetro	Unidades	Resultados	Método empleado
Materia seca	%	92.22	Gravimétrico (estufa a 65°c y 105°c).
Humedad	%	7.78	Por diferencia.
Proteína cruda	%	11.85	Micro-kjeldahl.
Cenizas	%	2.88	Incineración directa en mufla a 550 °c.
Fibra cruda	%	6.7	Gravimétrico.
Grasa bruta	%	6.0	Extracción por método soxhlet.

En cada parámetro fueron usadas sub-muestras en triplicado.

Nota: Las variaciones en los resultados suelen asociarse al tratamiento dado a las muestras (toma de la muestra, tiempo de almacenado de la muestra, limpieza y tipo de empaque usado, entre otras) antes de recibirse en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

JOSE EFRAIN SALCEDO PAREDES
Coordinador del Laboratorio de Nutrición Animal.
Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña
Teléfono 5690088 Ext. 435
Celular 311 496 2451

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

RESULTADOS DE ANALISIS BROMATOLOGICO

Solicitante: Paula Andrea Batista Bayona **Fecha:** 15/05/2024

Tipo de muestra: Quinua variedad Pasankalla.

Ubicación: Proyecto maestría en pdn animal UFPSO.

Parámetro	Unidades	Resultados	Método empleado
Materia seca	%	92.02	Gravimétrico (estufa a 65°c y 105°c).
Humedad	%	7.98	Por diferencia.
Proteina cruda	%	13.02	Micro-kjeldahl.
Cenizas	%	5.77	Incineración directa en mufla a 550 °c.
Fibra cruda	%	6.30	Gravimétrico.
Grasa bruta	%	4.66	Extracción por método soxhlet.

En cada parámetro fueron usadas sub-muestras en triplicado.

Nota: Las variaciones en los resultados suelen asociarse al tratamiento dado a las muestras (toma de la muestra, tiempo de almacenado de la muestra, limpieza y tipo de empaque usado, entre otras) antes de recibirse en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

JOSE EFRAIN SALCEDO PAREDES
Coordinador del Laboratorio de Nutrición Animal.
Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña
Teléfono 5690088 Ext. 435
Celular 311 496 2451

Apéndice B

Análisis de Digestibilidad In Vitro de tres cultivares de quinua



RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS	Codigo: FAR-002
	Versión: 07
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y BROMATOLÓGICO	Solicitud: 368

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Número de registro ICA LB0000432021
Vigencia hasta el 07 de diciembre de 2031

Solicitud: 12366 **Código de muestra:** 78836 **Informe:** 52101
Fecha recepción: 2024/06/19 **Reporte de pago:** 2024/07/05 **Fecha impresión:** 2024/07/24

Nombre del interesado: PAULA ANDREA BATISTA BAYONA
Dirección: Cra 11 #11-57 Ocaña
Ítem de ensayo: QUINUA
Descripción: Titicaca
Condición: Grano

Realizado	Análisis	Resultados	Método de análisis	Documento normativo
* 2024/07/24	Digestibilidad con pepsina de la proteína de origen animal solución 0.002%	85,8 g/100 g	Enzimático-volumétrico	MRE-001 V09 2018 Numeral 5.22

OBSERVACIONES
Resultados expresados en base tal cual.

Fin de los resultados

*Este informe no se puede reproducir en forma parcial ni total.
*En caso de requerir una copia del informe de resultados solicítelo al Coordinador del Laboratorio.
*Los resultados son aplicables sólo a la muestra de ensayo.

Ángel Giraldo Mejía
Coordinador del Laboratorio

Carrera 65 No. 59 A-110, Bloque 11 oficina 118
Teléfono: (57-4) 430 90 34
Correo electrónico: [illegible]
Medellín Colombia, Suramérica

RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS	Codigo: FAR-002
	Versión: 07
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y BROMATOLÓGICO	Solicitud: 366

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Número de registro ICA LB0000432021
Vigencia hasta el 07 de diciembre de 2031

Solicitud:	12366	Código de muestra:	78837	Informe:	52102
Fecha recepción:	2024/06/19	Reporte de pago:	2024/07/05	Fecha impresión:	2024/07/24

Nombre del interesado:	PAULA ANDREA BATISTA BAYONA Dirección: Cra 11 #11-57 Ocaña
Ítem de ensayo:	QUINUA
Descripción:	Blanca Soraca
Condición:	Grano

Realizado	Análisis	Resultados	Método de análisis	Documento normativo
* 2024/07/24	Digestibilidad con pepsina de la proteína de origen animal solución 0.002%	85.7 g/100 g	Enzimático-volumétrico	MRE-001 V08 2018 Numeral 5.22

OBSERVACIONES

Resultados expresados en base tal cual.

Fin de los resultados

*Este informe no se puede reproducir en forma parcial ni total.
*En caso de requerir una copia del informe de resultados solicítelo al Coordinador del Laboratorio.
*Los resultados son aplicables sólo a la muestra de ensayo.

Angel Giraldo Mejía

Coordinador del Laboratorio

Carrera 65 No 59 A-110, Bloque 11 oficina 115
Teléfono: (57-4) 439 58 34
Correo electrónico: [illegible]
Medellín Colombia, Suramérica

RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS	Codigo: FAR-002
	Versión: 07
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y BROMATOLÓGICO	Solicitud: 368

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Número de registro ICA LB0000432021
Vigencia hasta el 07 de diciembre de 2021

Solicitud: 12366 **Código de muestra:** 78838 **Informe:** 52103
Fecha recepción: 2024/06/19 **Reporte de pago:** 2024/07/05 **Fecha impresión:** 2024/07/24

Nombre del interesado: PAULA ANDREA BATISTA BAYONA
Dirección: Cra 11 #11-57 Ocaña
Ítem de ensayo: QUINUA
Descripción: Pasankalla
Condición: Grano

Realizado	Análisis	Resultados	Método de análisis	Documento normativo
* 2024/07/24	Digestibilidad con pepsina de la proteína de origen animal solución 0.002%	88.3 g/100 g	Enzimático-volumétrico	MRE-001 V09.2016 Numeral 5.22

OBSERVACIONES

Resultados expresados en base tal cual.

Fin de los resultados

*Este informe no se puede reproducir en forma parcial ni total.
*En caso de requerir una copia del informe de resultados solicítelo al Coordinador del Laboratorio.
*Los resultados son aplicables sólo a la muestra de ensayo.

Ángel Giraldo Mejía
Coordinador del Laboratorio

Carrera 68 No 69 A-118, Bloque 11 oficina 115
Teléfono: (57-4) 430 90 34
Correo electrónico: [illegible]
[illegible]
Medellín, Colombia, Suramérica