



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación del efecto de diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*) en las propiedades sensoriales, tecnofuncionales y nutricionales de muffins.

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Shirley Estefanía Cáceres Sánchez

Tutora: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato – Ecuador

Julio - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha ido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 23 de junio del 2025



Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

0501873954

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Shirley Estefanía Cáceres Sánchez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Shirley Estefanía Cáceres Sánchez

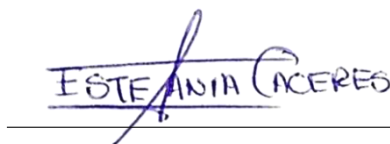
1805447099

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

A handwritten signature in blue ink, reading "ESTEFANIA CACERES", is written over a horizontal line.

Shirley Estefanía Cáceres Sánchez

1805447099

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman



Presidente del Tribunal



Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

1804148086



Dra. Nelly Esther Flores Tapia

1716253305

Ambato, 07 de Julio del 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo desarrollado a Dios, por ser mi guía constante, también a mis padres, hermano, mi pareja y sobre todo a mi hijo por ser el motor de esta etapa, por su amor incondicional, sus sacrificios y por creer siempre en mí y también a mi tutora, por compartir su conocimiento y encender en mí la pasión por aprender y por la comprensión y paciencia en este proceso. Todo este logro es reflejo del esfuerzo conjunto y del cariño que me han brindado. Con gratitud y amor, dedico esta tesis a ustedes.

AGRADECIMIENTO

Con el corazón lleno de gratitud, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de este trabajo de titulación. Culminar esta etapa representa no solo un logro académico, sino también el cumplimiento de un sueño que ha sido construido con esfuerzo, constancia y el apoyo incondicional de quienes han creído en mí.

A mis padres y hermano, gracias por ser mi pilar más fuerte. Por su amor incansable, por cada palabra de aliento en los momentos difíciles y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del trabajo honesto y la perseverancia. En especial a mi madre, a pesar de la distancia siempre me apoyo de una manera incondicional, este logro es por ella por siempre velar que nunca me falte nada en la vida

A mi pareja Paul y sobre todo a mi hijo, que se encuentran presente en esta etapa de mi vida, siendo una inspiración para continuar y no rendirme.

A mis docentes, en especial a mi tutora la Dra. Mayra Paredes, quien me apoyo siempre y me impartió su conocimiento. Gracias por su paciencia, su orientación constante y por sembrar en mí la inquietud por aprender y superarme. Cada enseñanza ha sido una piedra fundamental en este camino.

A mis amigos Geomaira, Denis, David y Belén, por las risas compartidas, el apoyo mutuo y los momentos que hicieron más llevadero el trayecto académico. Su compañía fue parte esencial de esta experiencia. Hoy cierro esta etapa con orgullo, sabiendo que todo el esfuerzo ha valido la pena.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1. Generalidades de la Quinoa.....	1
1.1.2. Harina de Quinoa	2
1.1.3. Amaranto	3
1.1.3.1. Generalidades del amaranto	3
1.1.3.2. Harina de amaranto.....	4
1.1.4. Impacto de la quinua y amaranto en la salud	4
1.1.5. Incorporación de Quinoa y Amaranto en productos muffins	5
1.1.5.1. Impacto tecno-funcional	5
1.1.6. Impacto sensorial	5
1.1.7. Impacto nutricional y funcional.....	6
1.1.8. Índice glucémico	7
1.1.9. Parámetros de calidad de los muffins	7
1.2. OBJETIVOS	9
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	9

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	10
2.1. Materiales.....	10
2.2.1. Evaluación del impacto de la sustitución parcial de quinua y amaranto en las propiedades de textura y características sensoriales de los muffins.....	11
2.2.1.1. Formulación de los muffins	11
2.2.1.2. Procedimiento de la elaboración de muffins	11
2.2.1.3. Recepción de las harinas.....	12
2.2.1.4. Tamizado de harinas.....	13
2.2.1.5. Pesado de harinas	13
2.2.1.6. Mezclado	14
2.2.1.7. Batido de ingredientes	14
2.2.1.8. Horneado	15
2.2.1.9. Enfriado.....	15
2.2.1.10. Empacado.....	15
2.2.1.11. Medición de las propiedades de textura.....	16
2.2.1.12. Diseño experimental.....	16
2.2.1.13. Evaluación sensorial.....	16
2.2.2. Determinación de la carga microbiana de los muffins desarrollados con quinua y amaranto de mayor aceptación, tomando en cuenta la norma INEN 3084.....	17
2.2.2.1. Preparación de muestras	17
2.2.3. Análisis del índice glucémico de los muffins elaborados con la mezcla de quinua y amaranto	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil sensorial (T1, T2, control)	31
Figura 2. Curva de almidón hidrolizado vs tiempo	35
Figura 3. Curva de calibración.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de laboratorio.....	10
Tabla 2. Equipos de laboratorio	10
Tabla 3. Reactivos de laboratorio.....	11
Tabla 4. Proporción de las harinas para los muffins.....	11
Tabla 5. Valores de humedad de las harinas	20
Tabla 6. Formulación empleada para la elaboración de muffins con diferentes niveles de sustitución parcial de quinua y amaranto	21
Tabla 7. Análisis de textura de los muffins	22
Tabla 8. Valores de los atributos evaluados en el análisis sensorial	28
Tabla 9. Valores de los atributos evaluados en el análisis sensorial	30
Tabla 10. Humedad de los muffins de mayor aceptación	31
Tabla 11. Análisis microbiológico de los muffins.....	32
Tabla 12. Datos brutos (absorbancia, glucosa y almidón hidrolizado)	33
Tabla 13. Índice glucémico de las muestras	36

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio evaluó el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*) en las propiedades sensoriales, tecnofuncionales y nutricionales de muffins. Se desarrollaron tres formulaciones con proporciones variables de estas harinas, las cuales fueron analizadas mediante pruebas físico-químicas, de textura instrumental, análisis microbiológicos e índice glucémico in vitro. Para el análisis sensorial se empleó el diseño experimental de Friedman, con un panel de catadores no entrenados. Los resultados indicaron que la incorporación de quinua y amaranto modificó la textura, densidad y humedad del producto, evidenciando matrices más compactas y con mayor masticabilidad. Desde el punto de vista sensorial, se observó influencia significativa del aroma, sabor y textura en la preferencia del consumidor, siendo mejor aceptadas las formulaciones con menor proporción de pseudocereales. En cuanto al índice glucémico, las formulaciones con quinua y amaranto presentaron valores reducidos en comparación con el control. Se concluye que el uso de estos pseudocereales andinos como sustitutos parciales de harina de trigo en productos horneados es viable y promueve una alternativa potencialmente más saludable. Además, los muffins cumplieron con la normativa microbiológica INEN 3084, garantizando su inocuidad siempre que se respeten las metodologías de elaboración y conservación.

Palabras clave: Quinua, amaranto, propiedades tecnofuncional, muffins, sustitución parcial, propiedades sensoriales

ABSTRACT

This study evaluated the effect of partially substituting wheat flour with quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus caudatus*) flours on the sensory, techno-functional, and nutritional properties of muffins. Three formulations with varying proportions of these flours were developed and analyzed through physicochemical tests, instrumental texture analysis, microbiological assessments, and in vitro glycemic index evaluation. For the sensory analysis, a Friedman experimental design was used with a panel of untrained tasters. The results indicated that the incorporation of quinoa and amaranth modified the texture, density, and moisture of the product, resulting in more compact matrices with increased chewiness. From a sensory perspective, aroma, flavor, and texture significantly influenced consumer preference, with formulations containing lower proportions of pseudocereals being better accepted. Regarding the glycemic index, the formulations with quinoa and amaranth showed reduced values compared to the control. It is concluded that the use of these Andean pseudocereals as partial substitutes for wheat flour in baked products is feasible and offers a potentially healthier alternative. Additionally, the muffins complied with the microbiological parameters established in the INEN 3084 standard, ensuring their safety when proper preparation and storage methods are followed.

Keywords: Quinoa, amaranth, techno-functional properties, muffins, partial substitution, sensory properties.

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

En Ecuador, la incorporación de granos ancestrales como la quinua (*Chenopodium quinoa*) y el amaranto (*Amaranthus caudatus*) ha experimentado un notable incremento en los últimos años. Este fenómeno responde a la creciente demanda de alimentos de alta calidad nutricional (**García-Parra & Plazas-Leguizamón, 2019**). La quinua y el amaranto son especialmente valorados debido a su perfil proteico completo, el cual incluye todos los aminoácidos esenciales, lo que los convierte en una excelente opción en comparación con los cereales tradicionales como el trigo, el cual presenta un perfil proteico menos equilibrado. Además, la sustitución de ingredientes con alto valor nutricional en productos horneados representa una innovación técnica significativa (**Palomino Mancilla et al., 2022**).

El desarrollo de productos horneados, especialmente muffins, utilizando quinua y amaranto como sustitutos parciales del trigo, ofrece un alto potencial para mejorar el perfil nutricional de estos productos. La incorporación de estos pseudocereales en la elaboración de muffins no solo enriquece el contenido proteico, sino que también aporta fibra, minerales como hierro, calcio y magnesio, y antioxidantes esenciales que ayudan a prevenir enfermedades metabólicas (**Reyes-Bautista et al., 2023**). Aunque el consumo de quinua sigue siendo relativamente bajo en Ecuador, el consumo de muffins es considerablemente alto, tanto en niños y adultos. Dado que los muffins son un alimento muy popular y fácil de consumir permite que más personas, especialmente los más jóvenes, se beneficien de las propiedades nutritivas de estos granos ancestrales. Esto no solo favorece el acceso a una mayor variedad de nutrientes, sino que también fomenta hábitos alimenticios más saludables en la población (**Morillo Coronado et al., 2020**).

Para **Urbina Dicao et al., (2023)**, una de las características clave de la quinua y el amaranto es su capacidad para mejorar la retención de humedad en productos horneados, la adición de estos granos permite obtener productos más suaves y frescos, lo que aumenta su vida útil (**Reyes-Bautista et al., 2023**). La sustitución parcial del trigo por quinua y amaranto puede modificar aspectos claves como el sabor, la textura y la apariencia de los muffins, lo que podría afectar la percepción del consumidor. Es fundamental, entonces, encontrar un equilibrio entre las propiedades nutricionales y las características sensoriales del producto para garantizar su aceptación en el mercado ecuatoriano y global (**Reyes-Bautista et al., 2023**).

1.1.1. Generalidades de la Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa*) proveniente de los Andes centrales de América del Sur, es un pseudocereal de gran valor nutricional, especialmente en países como Bolivia, Perú y Ecuador,

considerado un alimento ancestral esencial (**Castillo & Paucar, 2021**). Su cultivo inicio desde tiempos precolombinos y fueron descubiertos por las civilizaciones Incas cuyo cultivo en Ecuador se lo encuentra en las provincias de la región sierra como Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua, debido a que es capaz de soportar temperaturas desde los -4°C a 38°C, haciéndola altamente resistente a las condiciones ambientales (**Mira Vásquez & Sucoshanay Villalba, 2017**).

Su perfil nutricional se destaca por su contenido proteico de alta calidad (12-18%) superando a la composición encontrada en cereales tradicionales, rico en aminoácidos esenciales como la lisina comprendida por sus proteínas de alta calidad, lo que en otros cereales es limitado. Además, posee un importante aporte de compuestos lipídicos que varían entre el 4-9% siendo en su mayoría ácidos grasos insaturados como el ácido linoleico, y su alto contenido de fibra tanto soluble como insoluble, favorece la salud digestiva, regula el colesterol y ayuda al control de los niveles de azúcar en sangre (**Montero-Quintero et al., 2015; Palomino Mancilla et al., 2022**).

La quinua también es una excelente fuente de minerales como calcio, magnesio y hierro, cruciales para la salud ósea, cardiovascular y sanguínea, y su biodisponibilidad se ve mejorada cuando se combina con otros alimentos como lo destaca **Condori et al., (2022); Moposita et al., (2023)**. Este pseudocereal no solo aporta nutrientes esenciales, sino que también posee propiedades funcionales destacadas, como su capacidad antioxidante, antiinflamatoria y su bajo índice glucémico, convirtiéndola en un aliado para la prevención de enfermedades. Su creciente reconocimiento global como "superalimento" respalda su valor no solo en las dietas andinas, sino también en la alimentación saludable a nivel mundial (**Morillo Coronado et al., 2020**).

1.1.2. Harina de Quinua

Considerando su capacidad funcional se puede establecer que la quinua permite la elaboración de productos alimenticios de gran valor nutricional, considerando a la producción de harina de quinua como un método de conservación de los granos reduciendo la actividad de agua, humedad y el riesgo de contaminación microbiológica pero manteniendo las propiedades funcionales y nutricionales, lo cual facilita la digestión de los nutrientes del grano y su uso en una mayor gama de productos que a la vez permite agregar valor a los granos para su comercialización (**Mira Vásquez & Roca, 2017**). Tal y como lo menciona **Salinas (2010)**, esta harina posee una alta capacidad de adsorción de agua que permite mejorar la textura y la humedad de los productos horneados, especialmente considerando que este es un producto libre de gluten que permite ser usada como una alternativa valiosa para las personas con sensibilidad al gluten o enfermedad celíaca.

1.1.3. Amaranto

1.1.3.1. Generalidades del amaranto

El amaranto (*Amaranthus caudatus*) es una planta originaria de la región andina de América, ampliamente cultivada por sus propiedades nutricionales y funcionales, que lo han convertido en un alimento de creciente interés a nivel mundial. Aunque existen diversas especies de amaranto, *Amaranthus caudatus* es una de las más comunes en la producción comercial debido a su excelente adaptabilidad y versatilidad en la alimentación humana. Este pseudocereal se destaca por su alto contenido proteico que se encuentra alrededor del 13-18%, el cual es comparable e incluso superior al de otros pseudocereales como la quinua. La proteína del amaranto es de alta calidad, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales, con una cantidad significativa de lisina, un aminoácido limitante en muchos cereales **(Kumar et al., 2024)**.

Además de su contenido proteico, el amaranto es una excelente fuente de carbohidratos complejos, los cuales tienen un bajo índice glucémico. Esta característica es particularmente relevante para personas con diabetes o para quienes buscan mantener un control adecuado de sus niveles de glucosa en sangre, ya que su digestión lenta favorece una liberación sostenida de energía **(Britez et al., 2020)**. El amaranto también es rico en fibra dietética, tanto soluble como insoluble, lo que contribuye de manera significativa a la salud digestiva. La fibra en el amaranto ayuda a mejorar el tránsito intestinal, regula los niveles de colesterol y puede tener un impacto positivo en la prevención de enfermedades cardiovasculares **(Hernandez, 2023)**.

En cuanto a su contenido mineral, el amaranto es una fuente valiosa de calcio, hierro, magnesio, potasio y zinc, minerales esenciales para el funcionamiento adecuado de diversos procesos biológicos. El calcio y el magnesio son cruciales para la salud ósea y la función muscular, mientras que el hierro es fundamental para la producción de hemoglobina y la prevención de la anemia **(Kumar et al., 2024)**. Además, el amaranto es una excelente fuente de vitaminas del grupo B, en particular ácido fólico (B9), que desempeña un papel fundamental en la producción de células sanguíneas y la función cerebral **(Peña Serrano & Ariza Ortega, 2021)**. Según **Kongdang et al., (2021)** más allá de sus propiedades nutricionales, el amaranto también posee propiedades funcionales beneficiosas para la salud humana demostrando que el amaranto tiene propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que lo convierte en un aliado en la prevención de diversas enfermedades crónicas por su bajo índice glucémico y su alto contenido en compuestos bioactivos como flavonoides y fenoles.

1.1.3.2. **Harina de amaranto**

La harina de amaranto debido a las propiedades de su materia prima ofrece los mismo beneficios nutricionales y funcionales que se obtienen de los granos, siendo uno de sus mayores beneficios tecnológicos la ausencia de gluten que permite su uso en productos destinados a personas con enfermedades celíacas (**Casa Oñate, 2023**), así también bajo su capacidad de retención de agua y propiedades emulsificantes permite su incorporación de productos horneados como panes, galletas, pasteles, entre otros y en productos emulsificados como sopas y salsas, aportando a todos estos productos una importante mejora nutricional y funcional (**Calvopiña, 2018**).

Su gran potencial para la absorción de agua está relacionado con el contenido de fibra soluble e insoluble en el producto, debido a que posee una estructura porosa que es capaz de retener el agua en forma de esponjas naturales, lo que incrementa la humedad que se le otorga a los productos especialmente horneados (**Astudillo et al., 2013**). Sin embargo, se debe considerar que la producción de harina implica el incremento de la cantidad de sitios activos que son capaces de interactuar con las moléculas de agua que se encuentran en el ambiente, debido a que el amaranto posee una importante fuente de almidón con una gran capacidad de hinchamiento tras la interacción de los grupos hidroxilo de su estructura con las moléculas de agua, lo cual también incrementa la capacidad de absorción de agua y que puede dar lugar a procesos de gelatinización que generan el aumento de la viscosidad que impactan a los productos producidos (**Pérez & Luzuriaga, 2010**).

Por otro lado, su capacidad de emulsificación se ve relacionado con el contenido proteico presente en la materia vegetal, las cuales poseen una propiedad anfipática debido a la presencia de regiones hidrofóbicas e hidrofílicas que permiten generar emulsiones (**Párraga et al., 2019**), lo cual en el desarrollo de productos horneados como Muffins permite generar una estabilización entre la porción grasa y el agua del producto generando que se dé una distribución uniforme que mejora la estructura interna de los productos y que macroscópicamente puede verse reflejada por la uniformidad de la migaja que es atractivo para el paladar humado y mejora la estabilidad del producto.

1.1.4. **Impacto de la quinua y amaranto en la salud**

La quinua y el amaranto son pseudocereales altamente nutritivos que ofrecen múltiples beneficios para la salud, siendo considerados alimentos funcionales debido a su perfil nutricional completo. Ambos son ricos en proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, y destacan por su contenido significativo de fibra dietética, lo que favorece la salud digestiva, regulando el colesterol y el control del peso (**Onofre & Bonifacio, 2021; Kaur et al., 2023**). Además, ambos pseudocereales son excelentes fuentes de minerales para el mantenimiento de

una buena salud ósea y cardiovascular como lo destaca **Rangel Eduardo et al. (2021)**. Otra de sus características importantes es su bajo índice glucémico, lo que los convierte en alimentos adecuados para el control de la glucosa en sangre, siendo particularmente beneficiosos para personas con diabetes tipo 2 (**Pantoja-Tirado et al., 2020; Reyes-Bautista et al., 2023**).

Además, tanto la quinua como el amaranto contienen antioxidantes como flavonoides y compuestos fenólicos, que ayudan a combatir el estrés oxidativo y la inflamación, contribuyendo a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades neurodegenerativas (**Urbina Dicao et al., 2023; Rangel Eduardo et al., 2021**). Por lo tanto, tanto la quinua como el amaranto no solo mejoran la nutrición general, sino que también juegan un papel fundamental en la prevención de enfermedades metabólicas y crónicas, promoviendo una mejor salud digestiva, cardiovascular y metabólica.

1.1.5. Incorporación de Quinua y Amaranto en productos muffins

1.1.5.1. Impacto tecno-funcional

Reconociendo que los muffins son productos de panadería cuya forma es cilíndrica con cúpula redondeada, este es un producto elaborado a partir de una mezcla de ingredientes en donde se incluye el uso harina en gran proporción, cuya textura es más densa que otros productos horneados y con un contenido medio de grasa (**Giacomozzi et al., 2018**). La incorporación de harina permite proporcionar estructura al producto, por ello, la modificación de la composición del producto puede generar cambios a su textura, por ello, la incorporación de harina de quinua y amaranto pueden permitir modificar la textura del producto por medio del aprovechamiento de las propiedades tecno funcionales como la capacidad de retención de agua, mejorar la estabilidad de emulsiones e influencia sobre la viscosidad de las mezclas (**Gómez Gordillo et al., 2022**).

La modificación de la capacidad de retención de agua de la mezcla por efecto de la incorporación de las harinas genera una influencia sobre los requerimientos de las formulaciones, puesto que para mejorar la densidad de estas se requiere mayor adición de agua a fin de que las masas generadas posean la elasticidad y cohesión necesaria para permitir atrapar moléculas de gas en el proceso de horneado que permiten aumentar su volumen, debido a que la sustitución parcial en la proporción de harina genera un decremento en el contenido de gluten que permite dicho volumen (**Beltrán Fernández & Saenz Vilca, 2014**).

1.1.6. Impacto sensorial

Además del efecto a la textura del producto con la capacidad de desarrollar productos con mayor humedad que aportan a la palatabilidad del producto horneado, tanto la quinua como el amaranto poseen en su estructura una importante fuente de compuestos fenólicos que generan un efecto

sobre el sabor y el aroma del producto, otorgándole notas ligeramente dulces además de modificaciones al color, puesto que compuestos como los flavonoides tienden a tener colores oscuros o amarillentos además de pigmentos naturales como betalainas y taninos que se intensifican tras el proceso de horneado (**Hleap Zapata et al., 2017**).

Considerando el gran contenido de proteína en ambas materias vegetales y su contenido de azúcares simples como la glucosa, fructosa y lactosa, tras el proceso de horneado y por efecto de la temperatura se ve el incremento de las reacciones de Maillard por efecto de la reacción de los aminoácidos con los azúcares simples que dan lugar a pigmentos como las melanoidinas que generan la obtención de una corteza y migas más oscuras y tostadas que pueden ser percibidas sensorialmente (**Pinto Mosquera & Ortiz Echeverría, 2024**).

1.1.7. Impacto nutricional y funcional

Según **Hernandez, (2023)** estos pseudocereales son una fuente significativa de lisina mejorando la calidad proteica en la dieta, la incorporación de quinua y amaranto en productos horneados especialmente los muffins pueden mejorar su perfil nutricional donde las deficiencias de minerales son comunes especialmente en la fibra (**Ormachea-Salcedo et al., 2024**). En este sentido, **Reyes-Bautista et al. (2023)** destacan que la fibra presente en la quinua y el amaranto son ayuda a mejorar el tránsito intestinal y previene problemas digestivos. La fibra proveniente de estos pseudocereales puede desempeñar un papel crucial en el manejo de la diabetes tipo 2, ayudando a prevenir picos elevados de insulina (**Ormachea-Salcedo et al., 2024**).

Según **Onofre Quenta & Bonifacio Flores (2021)**, argumentan que los compuestos fenólicos presentes en estos pseudocereales tienen una capacidad significativa para neutralizar los radicales libres, lo que ayuda a reducir el estrés oxidativo y la inflamación en el cuerpo. Otros estudios relacionados como el de **Paucarchuco Soto & Vilchez De la Cruz, (2024)**, destaca que la acción antioxidante de la quinua y el amaranto puede proteger las células del daño causado por los radicales libres, lo que los convierte en un aliado clave en la prevención de enfermedades crónicas. La incorporación de estos pseudocereales no solo mejora el perfil nutricional de los productos horneados, al aportar proteínas de alta calidad, fibra, vitaminas y minerales esenciales, sino que también proporciona una alternativa sin gluten, accesible para personas con intolerancia al gluten. Además, su versatilidad, en actualmente en el mercado permite la creación de una amplia gama de productos innovadores, lo que fomenta una alimentación más variada y nutritiva en la dieta diaria (**Onofre Quenta & Bonifacio Flores 2021**).

1.1.8. Índice glucémico

El índice glucémico (IG) es una medida que evalúa la respuesta glicémica tras la ingestión de alimentos, cuantificando la cantidad de carbohidratos presentes en un alimento a través de los niveles de glucosa en sangre. Este índice se determina al comparar el área bajo la curva de glucosa de un alimento específico con la de un alimento de referencia, como el pan blanco (**Urbina Dicao et al., 2023**). Los alimentos con un IG igual o superior a 70 se digieren rápidamente, lo que provoca aumentos bruscos en los niveles de azúcar en sangre, típicamente asociados a alimentos procesados, bebidas azucaradas y cereales. En contraste, los alimentos con un IG bajo (entre 0 y 55) se digieren más lentamente, lo que favorece una liberación gradual de glucosa y contribuye a la prevención de diversas enfermedades (**Kumar et al., 2024**). Según **Jan et al. (2023)**, el IG de un alimento puede predecirse a través de la determinación de su porcentaje de hidrólisis, utilizando la ecuación $GI = 39.21 + 0.803(H90)$, lo que permite clasificar los alimentos según su impacto en los niveles de glucosa postprandial.

La importancia de su cálculo recae en evaluar el control de la respuesta glucémica por efecto de la incorporación de las harinas de quinua y amaranto cuyo índice glucémico se conoce es moderado, siendo más beneficioso para las personas con diabetes, así también reconociendo que estas materias vegetales poseen una importante fuente de fibra (**Arslan-Tontul et al., 2022**), se puede esperar que su incorporación permita ofrecer atributos como mejorar la saciedad y el control del apetito, que conjuntamente con su potencial funcional permiten la reducción del IG alienándose a las tendencias actuales hacia una alimentación más saludable (**Miranda-Ramos & Haros, 2020**).

En los estudios realizados por **Ballester-Sánchez et al. (2019)** y **Marak et al. (2024)**, se pudo evidenciar que la incorporación de harina de quinua y amaranto en productos de panificación generan la reducción del índice glucémico de un 69.20 a 42.00 tras el uso de quinua, lo cual generó una mejora en la salud metabólica tras el consumo de dichos productos generando una disminución significativa de los niveles de triglicéridos y colesterol total (LDL y VLDL).

1.1.9. Parámetros de calidad de los muffins

La calidad de los muffins, evaluada a través de parámetros como textura, volumen, sabor y valor nutricional, puede mejorarse al sustituir parcialmente la harina de trigo por pseudocereales como la quinua (*Chenopodium quinoa*) y el amaranto (*Amaranthus caudatus*). La quinua, rica en proteínas completas y aminoácidos esenciales, puede contribuir a una textura más húmeda y suave debido a su capacidad para retener agua, lo que mejora la miga y evita la sequedad, siendo este un parámetro que debe ser evaluado para garantizar la calidad de los muffins puesto que un aumento en la humedad del producto representa el incremento de la posibilidad de contaminación

de tipo microbiana o afecciones a la estabilidad del producto **(Shukla et al., 2024)**. De manera similar, el amaranto, con un alto contenido de fibra y minerales como el calcio, no solo mejora el perfil nutricional de los muffins, sino que también puede influir en la retención de humedad, resultando en un muffin más esponjoso y de mejor calidad sensorial **(Eduardo et al., 2024)**. Sin embargo, estas sustituciones requieren ajustes en las proporciones de líquidos y agentes leudantes debido a las diferencias en las propiedades de absorción y el comportamiento de la masa, lo que influye directamente en el volumen y la textura final del producto que a la vez pueden generar modificaciones al proceso de horneado especialmente en lo que respecta al tiempo necesario para completar su cocción **(Hamzacebi & Tacer-Caba, 2021)**.

Dentro de la evaluación de la calidad de los productos se debe considerar que dentro de los efectos negativos que se pueden esperar y que requieren de un control se encuentran, la posibilidad de obtener daños a la calidad sensorial del producto en el atributo de sabor cuando la harina de quinua producida no pasa por un adecuado proceso de desapoinificación de los granos que puede dar lugar a sabores amargos que afectan a la aceptabilidad, así también, considerando la disminución en la elasticidad y capacidad de aireación de la masa se pueden obtener mezclas más densas que dan lugar a migas densas y quebradizas que dificultan la estabilidad del producto horneado y la disminución del volumen **(Gómez Gordillo et al., 2022)**. Finalmente, la intensificación excesiva del color puede llegar a afectar a la percepción visual del producto cuando se ve una sustitución por harinas andinas superiores al 25% considerando que de forma tradicional este se encuentra en presentaciones más claras con las cuales se genera una comparación visual y una preferencia de consumo que debe ser controlada **(Mhada et al., 2020)**

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el impacto de la sustitución parcial de trigo por quinua y amaranto en las propiedades sensoriales, tecnofuncionales y nutricionales del producto.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el impacto de la sustitución parcial de quinua y amaranto en las propiedades de textura y características sensoriales del producto.
- Determinar la carga microbiana del producto desarrollado con quinua y amaranto de mayor aceptación, tomando en cuenta la norma INEN 3084.
- Analizar el índice glucémico del producto elaborado con la mezcla de quinua y amaranto.

2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Se utilizaron harinas de trigo, quinua y amaranto, adquiridas de proveedores certificados. Los materiales de laboratorio incluyeron vaso de precipitación, balanzas analíticas, estufas y equipos de medición de textura (Texturómetro BROOKFIELD). Los reactivos empleados fueron de grado analítico.

Todos estos insumos y recursos se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. *Materiales de laboratorio*

Material de laboratorio	Cantidad
Vasos de Precipitación (50 mL, 100 mL)	5
Cajas Petri	4
Balón de aforo	5
Pipetas	1
Rollo de Parafilm	1
Puntas para pipeta	50
Rejilla para tubos de ensayo	3
Tubos de ensayo	50
Tubos de microcentrífuga	50

Tabla 2. *Equipos de laboratorio*

Equipos de laboratorio	Cantidad
Balanza de infrarrojo	1
Balanza analítica	1
Vortex	1
Baño María	1
Estufa	1
Extractor Soxhlet	1
pH metro	1
Brookfield	1
Incubadoras	2
Liofilizador	1

Tabla 3. *Reactivos de laboratorio*

Reactivos de laboratorio	Cantidad
Agua destilada	1 L
Ácido clorhídrico (0.1 M)	5 ml
Cloruro de potasio (KCl)	7.45 g
Ácido acético glacial	11.44ml
Acetato de sodio (anhidro o trihidratado)	16.41 g
Hidróxido de sodio (0.1 N)	5 ml

2.2. Métodos

2.2.1. Evaluación del impacto de la sustitución parcial de quinua y amaranto en las propiedades de textura y características sensoriales de los muffins.

2.2.1.1. Formulación de los muffins

Se realizó 3 formulaciones de muffins con la sustitución parcial de las harinas de trigo, quinua y amaranto según se muestra en la Tabla 4. Se incorporó una formulación de control con el 100 % de trigo y dos formulaciones experimentales con diferentes proporciones de los pseudocereales.

Tabla 4. *Proporción de las harinas para los muffins.*

Proporción	Trigo (%)	Quinua (%)	Amaranto (%)
1	20	40	40
2	50	25	25
Control	100	0	0

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Procedimiento de la elaboración de muffins

Basado en el método empleado por **Pérez et al, (2023)** con pocas modificaciones y siguiendo las técnicas estándar de productos horneados, el proceso de elaboración fue el siguiente:

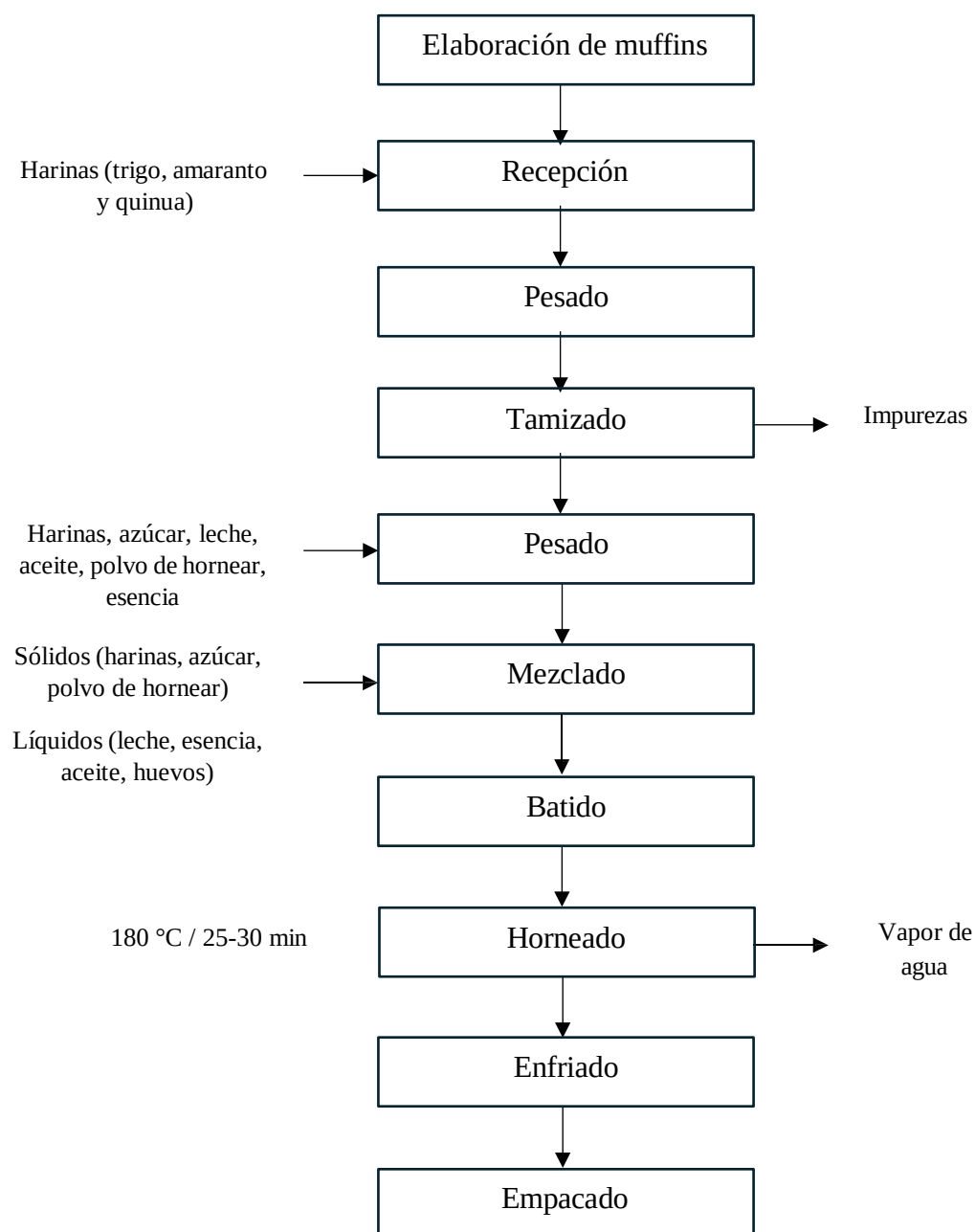


Figura1. Diagrama de flujo de la elaboración de muffins.

2.2.1.3. Recepción de las harinas

Se adquirieron 5 kg para cada una de las harinas de trigo, quinua y amaranto. Para garantizar su adecuada incorporación en el desarrollo de muffins, se evaluaron parámetros esenciales de calidad. En una primera etapa, se revisó la documentación proporcionada por los proveedores y se inspeccionó el estado físico de los envases, a fin de descartar posibles daños o signos de contaminación. Posteriormente, se efectuó un control inicial que incluyó la inspección visual, análisis del color, textura y la detección de impurezas o cuerpos extraños que pudieran comprometer la calidad del producto final. La calidad de la harina está influenciada por factores

como el contenido de humedad el cual debe ser inferior al 10% y su homogeneidad, evitando la presencia de partículas grandes o materiales no deseados (**Palomino Mancilla et al., 2022**). Asimismo, se determinó el porcentaje de humedad de cada harina mediante balanza de infrarrojo, con el objetivo de asegurar que se encuentren dentro de los estándares adecuados de almacenamiento y minimizar el riesgo de deterioro microbiológico.

2.2.1.4. Tamizado de harinas

El tamizado de las harinas constituye una etapa fundamental en la elaboración de muffins, ya que garantiza la homogeneidad de la masa, elimina impurezas y contribuye a mejorar la textura del producto final. En este estudio, las harinas de trigo, quinua y amaranto fueron sometidas a un proceso de tamizado triple, lo cual facilitó su integración con los demás ingredientes y favoreció una textura más esponjosa en los muffins.

Para este procedimiento se emplearon tamices de 80, 100 y 120 mesh, seleccionados según la granulometría de cada harina. La harina de trigo fue tamizada con una malla de 100 mesh, obteniéndose un polvo más fino y aireado, lo cual favorece la formación de una estructura ligera y esponjosa. En el caso de la harina de quinua, cuya textura inicial era más gruesa, se utilizó un tamiz de 80 mesh, permitiendo eliminar restos de cáscara y mejorar su integración en la mezcla. Por su parte, la harina de amaranto, caracterizada por una granulometría más fina, fue tamizada con una malla de 120 mesh para evitar la formación de grumos y lograr una distribución uniforme en la masa.

El proceso de tamizado se llevó a cabo en un ambiente seco para evitar la absorción de humedad, lo cual podría comprometer la fluidez de las harinas. Asimismo, se utilizaron recipientes de acero inoxidable previamente esterilizados con el fin de prevenir la contaminación cruzada (Franco et al., 2021).

2.2.1.5. Pesado de harinas

El pesado de las harinas representa una etapa clave en la elaboración de muffins, ya que permite asegurar la precisión en las proporciones de los ingredientes, aspecto que incide directamente en la calidad del producto final (Pantoja-Tirado et al., 2020). Para este propósito, se empleó una balanza de precisión, con el fin de evitar variaciones en la cantidad de harina de trigo, quinua y amaranto, considerando que durante el proceso de tamizado se produjo una pérdida variable en el peso de cada una.

En particular, se prestó especial atención al pesado de las harinas de quinua y amaranto, debido a su elevado contenido de proteínas y fibra, ya que un exceso podría generar una masa densa y

afectar la textura del muffin (**Urbina Dicao et al., 2023**). Posteriormente, se procedió al pesado de los demás ingredientes sólidos como el polvo de hornear y el azúcar, así como de los ingredientes líquidos incluidos la leche, los huevos, la esencia de vainilla y el aceite, utilizando recipientes separados para cada uno a fin de garantizar un control preciso de las cantidades.

2.2.1.6. **Mezclado**

El proceso de mezclado constituye una etapa fundamental en la elaboración de muffins, ya que permite la adecuada incorporación de los ingredientes y asegura la formación de una masa homogénea, lo cual influye directamente en la textura, el volumen y las características sensoriales del producto final (**Torres Jiménez et al., 2020**). En primer lugar, se mezclaron los ingredientes secos, harinas de trigo, quinua y amaranto, azúcar y polvo de hornear en un recipiente de acero inoxidable, con el objetivo de lograr una distribución uniforme de los componentes.

Paralelamente, en otro recipiente se combinaron los ingredientes líquidos, que incluyeron huevos, leche, aceite y esencia de vainilla. Los huevos aportaron estabilidad a la mezcla, contribuyendo a una mejor retención de aire y favoreciendo la esponjosidad de los muffins (**Yeşil & Levent, 2022**). La leche facilitó la hidratación de los ingredientes secos, promoviendo la formación de una miga más tierna y húmeda. Por su parte, la esencia de vainilla se incorporó con el fin de mejorar el perfil sensorial del producto, añadiendo un aroma característico que realza su aceptación (**Luna Mercado, 2021**).

2.2.1.7. **Batido de ingredientes**

Según **Chamorro-Gómez et al. (2023)**, es fundamental evitar la sobremezcla durante la preparación de la masa, ya que esta puede provocar un desarrollo excesivo del gluten, lo cual se traduce en muffins con una textura densa y dura. Por esta razón, se optó por incorporar gradualmente los ingredientes líquidos huevos, leche y esencia de vainilla sobre los ingredientes secos, utilizando una batidora y realizando movimientos suaves y controlados.

En esta etapa se aplicó el método de adición de líquidos a los sólidos sin batir en exceso, tal como lo sugieren **Fernández-Tomé et al. (2023)**, con el objetivo de lograr una mezcla uniforme sin comprometer la aireación de la masa. Este procedimiento permitió evitar la formación de grumos y favoreció una estructura homogénea, manteniendo la ligereza necesaria para obtener un muffin con buena textura y volumen.

2.2.1.8. **Horneado**

El horneado constituye una etapa crítica en la obtención de muffins de calidad, ya que influye directamente en su textura, volumen y apariencia final. En este proceso, se precalentó el horno a 180 °C, dado que mantener una temperatura constante desde el inicio es fundamental para lograr una cocción uniforme. Esta práctica permitió asegurar un desarrollo adecuado del volumen y una textura ligera en los productos horneados.

Previamente al vertido de la masa, se engrasaron los moldes con una pequeña cantidad de aceite distribuida uniformemente con ayuda de una brocha, con el propósito de evitar que los muffins se adhieran a las paredes del molde. Los muffins se hornearon a una temperatura entre 180 y 190 °C durante un tiempo estimado de 25 a 30 minutos, dependiendo del tamaño de las porciones. Un horneado insuficiente puede dar como resultado un producto crudo en el interior, mientras que un exceso de cocción puede secarlos o incluso quemarlos, comprometiendo su calidad **(Pokhrel, 2024)**.

2.2.1.9. **Enfriado**

Una vez alcanzada una temperatura segura al tacto, se procedió a desmoldarlos cuidadosamente para prevenir que el calor residual generara condensación, lo que podría afectar negativamente su estructura y aspecto externo, tal como lo advierten Zambrano-Zambrano et al. (2021). Finalmente, los muffins se colocaron sobre una rejilla metálica, lo cual permitió una circulación de aire adecuada en todas sus superficies, favoreciendo un enfriamiento uniforme y evitando que la base se humedezca por contacto prolongado con superficies planas.

2.2.1.10. **Empacado**

El proceso de empaque de los muffins se realizó utilizando envases herméticos, con el propósito de preservar la calidad del producto y protegerlo de factores externos como la humedad, el oxígeno y posibles contaminantes. Una vez que los muffins estuvieron completamente enfriados, se colocaron en recipientes plásticos de tereftalato de polietileno (PET), los cuales cumplen con las normativas de seguridad alimentaria vigentes. El sellado hermético del envase permitió mantener la frescura del producto, previniendo su deterioro prematuro y conservando sus propiedades organolépticas durante su vida útil. Este procedimiento se llevó a cabo conforme a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1331, que regula las condiciones de conservación de productos alimenticios, garantizando así que el producto final llegue al consumidor en condiciones higiénicas, seguras y de calidad.

2.2.1.11. Medición de las propiedades de textura

Se evaluaron las propiedades texturales de los 3 muffins formulados utilizando un texturómetro de la marca BROOKFIELD. La dureza se determinó mediante la medición de la fuerza máxima de compresión necesaria para deformar el muffin. La elasticidad, índice de elasticidad se evaluó a través del porcentaje de recuperación de la deformación luego de la compresión, mientras que la fragilidad se determinó registrando la fuerza de ruptura necesaria para que el muffin se fragmentara o rompiera (Chiş et al., 2020), además se midió la masticabilidad, el índice de masticabilidad. Todas las mediciones se realizaron bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, con el objetivo de garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados.

2.2.1.12. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para evaluar el impacto de las proporciones de quinua y amaranto en las propiedades sensoriales de los muffins se basó en un diseño no paramétrico de Friedman. Cada combinación de proporciones fue evaluada según lo presentado en la Tabla 4, permitiendo así analizar las variaciones en atributos sensoriales como sabor, color, textura, apariencia y olor. Los datos se obtuvieron mediante pruebas sensoriales realizadas por un panel de evaluadores capacitados y se analizaron mediante un diseño factorial para identificar diferencias significativas entre las distintas formulaciones. Este enfoque facilitó la determinación de las combinaciones de quinua y amaranto que ejercen un mayor impacto en las propiedades sensoriales deseadas del producto final.

2.2.1.13. Evaluación sensorial

Se adoptó la metodología propuesta por Chamorro-Gómez et al. (2023) para la evaluación sensorial de muffins elaborados con diferentes proporciones de ingredientes. Para ello, se conformó un panel compuesto por 25 catadores, quienes valoraron las características organolépticas del producto utilizando una escala de puntuación de 1 a 3, donde 1 corresponde a "no me gusta" y 3 a "me gusta".

Los atributos evaluados incluyeron sabor, aroma, color, textura y apariencia. El sabor fue analizado en función de su intensidad y la presencia de notas dulces, amargas o a nuez. El aroma se valoró considerando la frescura y las particularidades aromáticas propias de la quinua y el amaranto. La textura se evaluó observando la suavidad, masticabilidad y la sensación de humedad o sequedad del muffin. Finalmente, la apariencia se examinó atendiendo al volumen, la uniformidad de la miga y la forma del producto.

2.2.2. Determinación de la carga microbiana de los muffins desarrollados con quinua y amaranto de mayor aceptación, tomando en cuenta la norma INEN 3084.

2.2.2.1. Preparación de muestras

Salmonella

Se realizó el análisis de Salmonella en los muffins siguiendo lo establecido en la Norma INEN 3084 para productos horneados. Para ello, se almacenaron 200 g de muestra en una funda plástica estéril. Posteriormente, se pesaron 25 g de muestra utilizando una balanza de precisión y se homogenizaron con 225 ml de caldo base para Salmonella, completando así un volumen total de 250 ml para la dilución inicial. Esta suspensión fue incubada durante 24 horas en una incubadora a una temperatura constante de 37 °C.

Finalizado el período de incubación, se procedió al estriado para la detección de Salmonella. Para ello, se hidrató una placa Petri con 2 ml de agua estéril y se realizó el estriado de la muestra, seguido de una incubación a 37 °C durante 24 horas.

Coliformes

Para el análisis de coliformes, se utilizaron placas específicas debidamente rotuladas como <1 y <3. En una bolsa estéril, correspondiente a la muestra 1, se pesaron 10 gramos de producto y se adicionaron 90 ml de diluyente; posteriormente, la mezcla se homogenizó en un Stomacher durante 30 segundos. Seguidamente, se prepararon las diluciones incorporando 9 ml de agua peptonada en los tubos 2 y 3. De la muestra homogenizada, se tomó 1 ml para inocular la placa de coliformes <1 y también para preparar la dilución 2, la cual fue homogenizada durante 30 segundos en un vortex (Mixel).

De la dilución 2, se tomó 1 ml para incorporarlo en la dilución 3, la cual también fue homogenizada. Finalmente, se tomó 1 ml de la dilución 3 para inocular la placa rotulada como <3. Ambas placas fueron incubadas en una incubadora a 35 °C durante 24 horas para el desarrollo y conteo de coliformes.

E.coli

Se peso 10 gramos de la muestra almacenada, posteriormente se agregó el diluyente a 90 ml hasta completar los 100 g, se llevó a homogenizar en un Stomacher por 30 segundos. Se requirió de una placa Compac drive para *E. coli* y se procedió hacer la siembra. Se tomo 1 ml de la dilución <1, se colocó en la placa y se llevó a una incubación durante 24 horas.

Mohos

Para la cuantificación de los mohos, en una bolsa estéril se pesó 10 gramos de muestra junto con 90 ml de agua peptonada, creando una dilución inicial, después se homogenizo la suspensión en el stomacher por 30 segundos, denominándola una dilución inicial.

Después se preparó diluciones añadiendo 9 ml de agua peptonada, de la primera muestra se tomó 1 ml y fue sembrada en una placa rotulada como dilución <1, y 1 ml a la dilución 2, las dos fueron homogenizadas por 30 segundos. Posteriormente se tomó 1 ml de la dilución 2 y se añadió a la dilución 3 respectivamente homogenizada, las muestras se prepararon en cultivo selectivo (PDA) y se incubó a 25 °C por 5 días.

2.2.3. Análisis del índice glucémico de los muffins elaborados con la mezcla de quinua y amaranto

La estimación del índice glucémico se llevó a cabo siguiendo el protocolo in vitro descrito por Goñi et al. (1997), con algunas adaptaciones específicas para el presente estudio. Midiendo la hidrólisis del almidón y la liberación de la glucosa. Como preparación inicial, las muestras fueron sometidas a un proceso de ultracongelación, seguido por liofilización. Posteriormente, se procedió a su desengrasado mediante extracción con circulación de hexano, con el fin de eliminar los lípidos que pudieran interferir en el análisis.

En primer lugar, se pesó 50mg de la muestra previamente liofilizada y desengrasada, que fueron mezclados con 6ml de KOH 2M durante 30 minutos de manera enérgica en un vortex, posteriormente se añadió 3ml de tampón acetato de sodio 0.4M (pH 4.75) que junto con 60µl de la enzima amiloglucosidasa fueron, finalmente incubados a 60°C por 45 minutos. Se tomó una alícuota de 0.1ml, que fue diluida en relación 1:4, luego se agregó el reactivo DNS y llevado a calentamiento con agua caliente durante 5 minutos. Finalmente fue medido la absorbancia de cada muestra.

Cada muestra fue tratada con 10 mL de una solución tampón HCl-KCl ajustada a un pH de 1.5, con el objetivo de simular el ambiente gástrico. A continuación, se incorporaron 0.2 mL de una solución de pepsina, y las muestras fueron incubadas a 40 °C durante una hora en baño María con agitación constante, reproduciendo así la digestión gástrica.

Una vez finalizada esta etapa, se ajustó el volumen total a 25 mL mediante la adición de tampón Tris-Maleato (pH 6.9), con el propósito de emular las condiciones del intestino delgado. Se añadieron 5 mL de una solución de α -amilasa preparada en el mismo tampón, con una actividad enzimática de 2.6 unidades internacionales (UI), y se incubó a 37 °C con agitación continua para favorecer la hidrólisis progresiva del almidón.

Durante este proceso digestivo, se tomaron alícuotas de 1 mL en intervalos de 30 minutos (0, 30, 60, 90, 120 y 180 minutos). Cada alícuota fue inmediatamente transferida a tubos colocados en baño María a 100 °C durante 5 minutos con el fin de detener la actividad enzimática, y luego se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis posterior.

Para continuar con la hidrólisis, se añadieron 3 mL de tampón de acetato de sodio 0.4 M (pH 4.75) a cada alícuota, seguido de la incorporación de 60 µL de amiloglucosidasa. Esta mezcla se incubó durante 45 minutos a 60 °C en baño María con agitación, completando así la conversión del almidón digerido en glucosa.

A partir de cada alícuota, se extrajo un volumen de 0.2 mL, el cual se mezcló con igual volumen de reactivo DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico). Esta mezcla fue incubada a 100 °C durante 5 minutos para inducir la reacción colorimétrica. Finalmente, se colocaron 0.1 mL de la mezcla en placas de micro volumen y se procedió a la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 540 nm en un espectrofotómetro de microplaca.

Para el cálculo del índice glucémico, se construyó previamente una curva de calibración utilizando soluciones estándar de glucosa con concentraciones de 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0 y 3.0 mg/mL. La ecuación generada a partir de esta curva permitió estimar la concentración de glucosa liberada en cada muestra. Posteriormente, estos valores se transformaron en cantidad de almidón hidrolizado, a fin de determinar el comportamiento glucémico de los tratamientos evaluados.

$$\text{Almidón hidrolizado (mg)} = \text{glucosa (mg)} * 0.9$$

Por consiguiente, se obtuvo porcentaje de hidrólisis mediante la ecuación:

$$\% \text{ Hidrolisis} = \frac{\text{almidón hidrolizado a ese tiempo}}{\text{almidón total}} * 100$$

A partir de dichos porcentajes se construyó una gráfica del % de hidrólisis vs tiempo y después se obtuvo el área bajo la curva (AUC) mediante la regla del trapecio. Posteriormente se calculó el índice de hidrólisis mediante:

$$HI = \frac{AUC_{\text{muestra}}}{AUC_{\text{pan blanco}}} * 100$$

Finalmente se estimó el índice glucémico mediante la fórmula empírica de Goñi

$$IG = 39.71 + (0.549 * HI)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la humedad de las harinas de trigo, quinua y amaranto.

En esta sección se aborda la determinación del contenido de humedad de las harinas empleadas en el proceso de formulación de los muffins, la mayoría de estas son no convencionales, por consecuencia, la humedad juega un rol fundamental dentro del desarrollo dado que influye en las propiedades tecnofuncionales del producto.

Tabla 5. Valores de humedad de las harinas.

Tipos de harinas	H1 (%)	H2 (%)	H3 (%)	Promedio (%)
Trigo	13,98	14,07	13,92	13,99
Amaranto	10,825	10,633	10,55	10,67
Quinua	10,308	10,25	10,279	10,28

La determinación del contenido de humedad es un parámetro fundamental en el estudio de harinas, dado que afecta directamente su vida útil, estabilidad microbiológica y propiedades funcionales (**Hamzehpour, 2023**). Como se observa en la Tabla 5, existen diferencias significativas en el contenido de humedad entre las harinas de trigo, amaranto y quinua. La harina de trigo presentó el valor promedio más alto, con un 13,99 %, lo cual puede atribuirse a su naturaleza higroscópica, que le permite retener una mayor cantidad de agua.

Por otro lado, las harinas de amaranto y quinua exhibieron valores de humedad considerablemente menores, con 10,67 % y 10,28 % respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Gutiérrez-Castillo et al. (2023) y pueden explicarse por las diferencias en la composición química característica de los cereales y pseudocereales.

Es importante destacar que las harinas con un contenido de humedad superior al 14 % presentan mayor susceptibilidad al desarrollo de microorganismos, lo que puede comprometer la calidad y seguridad del producto. **Hamzehpour (2023)** en su estudio registro valores de humedad semejantes en harinas sin gluten, para el amaranto 12,62 % y la quinua 12,41%, mientras que para la harina de trigo un valor de 11,38%, lo cual puede relacionarse directamente con la variedad del grano y el método de secado empleado, debido a que los pseudocereales son más propensos a tener una deshidratación más profunda para su estabilización. Por otro lado, **Çalışkan Koç (2022)** menciona que las harinas que contienen menor humedad como la harina de quinua y amaranto, poseen una ventaja durante el almacenamiento ya que tienen una baja actividad de agua

reduciendo el riesgo de actividad microbiana. Por otro lado, su bajo contenido hídrico puede influir en la absorción de agua al preparar las masas de los productos horneados.

Tabla 6. *Formulación empleada para la elaboración de muffins con diferentes niveles de sustitución parcial de quinua y amaranto.*

Ingredientes	T1	T2	Control
Harina de trigo	7%	18%	35%
Harina de quinua	14%	9%	-
Harina de amaranto	14%	9%	-
Azúcar	25%	25%	25%
Polvo de hornear	1.5%	1.5%	1.5%
Leche	20.5%	20.5%	20.5%
Huevos	8%	8%	8%
Aceite	10%	10%	10%

En la Tabla 6 se presentan tres tratamientos para la elaboración de muffins con diferentes proporciones de harinas de trigo, quinua y amaranto, mientras que ingredientes como azúcar, leche, aceite, polvo de hornear y huevos se mantuvieron constantes. Estas combinaciones influyen directamente en las propiedades nutricionales y funcionales del producto final.

Según **Gutiérrez-Castillo et al. (2023)** y **Villacrés et al. (2021)**, la sustitución parcial de harina de trigo por pseudocereales en un rango entre 10 % y 30 % mejora el perfil nutricional del producto, al incrementar su contenido de fibra, proteínas, minerales y compuestos antioxidantes,

además de reducir el índice glucémico. En el tratamiento T2, que contiene un 9 % de harinas de quinua y amaranto, se logra un equilibrio adecuado entre funcionalidad y aceptabilidad sensorial. Por otro lado, el tratamiento T1, con un 28 % de pseudocereales, presenta un valor nutricional superior; sin embargo, su textura tiende a ser más firme debido a la reducción del gluten, lo que coincide con lo reportado por **Yazar et al. (2020)** y **Wronkowska et al. (2022)**.

En contraste, el tratamiento control, elaborado únicamente con harina de trigo, no ofrece un valor nutricional óptimo. Por lo tanto, la incorporación de pseudocereales en proporciones equilibradas representa una estrategia eficaz para desarrollar productos horneados más nutritivos sin comprometer sus atributos sensoriales.

Tabla 7. *Análisis de textura de los muffins.*

Parámetro	Unidad	T1	T2	Control
Dureza (Ciclo 1)	N	2,97	3,78	3,6
Deformación según dureza	mm	16,36	29,78	20
Deformación recuperable	mm	4,87	2,73	4
Adhesividad	mJ	6,6	6	6,5
Dureza (Ciclo 2)	N	2,08	3,3	3,0
Elasticidad	mm	15,65	29,25	21
Índice Elasticidad	adimensional	0,87	0,98	0,95
Firmeza	N	1,28	1,03	1,30
Masticabilidad	mJ	20	30,9	27
Índice Masticabilidad	N	1,11	1,04	1,10

Dureza (Ciclo 1)

Para el análisis de textura, la dureza (ciclo 1) se define como la fuerza máxima necesaria para deformar el producto, siendo un parámetro esencial para evaluar la firmeza y resistencia a la compresión. En la muestra control, compuesta por 100 % harina de trigo, se obtuvo un valor de 3.6 N, lo cual se encuentra dentro de los rangos reportados para productos horneados elaborados con harina de trigo. Por ejemplo, **Lee et al. (2020)** indicaron que la dureza de muffins de trigo oscila entre 3.5 y 4.8 N, mientras que **Zahn et al. (2020)** reportaron un valor promedio de 4.2 N para productos similares.

La formulación T1, que contiene 50 % trigo, 25 % amaranto y 25 % quinua, presentó una dureza de 2.97 N, valor inferior al de T2 y al control. Esto sugiere que la incorporación parcial de harinas de quinua y amaranto podría estar alterando la red de gluten, resultando en un producto más blando durante la primera mordida. Estos resultados coinciden con los hallazgos de **Hamzehpour**

& Dastgerdi (2023), quienes observaron una reducción de dureza cercana al 25 % en panes elaborados con pseudocereales, con valores entre 2.5 N y 3.0 N.

Por otra parte, **Turk Aslan & Isik (2022)** indicaron que la inclusión del 25 % de harina de amaranto reduce la dureza en productos horneados debido a la alteración estructural del sistema proteico del gluten, fundamental para mantener una estructura firme, además del bajo rendimiento proteico de las harinas de quinua y amaranto en la formación de la red viscoelástica.

En el análisis de textura de la formulación T2 (50% trigo, 25 % quinua y 25 % amaranto), caracterizada por un bajo contenido de trigo, se registró una dureza de 3.78 N, valor más cercano al del control y superior al de T1. Este resultado es relevante, pues indica que una mayor proporción de quinua y amaranto en la formulación puede proporcionar una firmeza inicial comparable a la de los muffins tradicionales. Se encontró que incorporar hasta un 40 % de harina de amaranto contribuye a minimizar la desintegración y a fortalecer la cohesividad, favoreciendo una firmeza óptima. Además, el alto contenido de fibra en estas harinas promueve un producto más compacto y con menor porosidad, alcanzando rangos de dureza entre 3.6 y 4.0 N (**Franco et al., 2021**).

Deformación según dureza

La deformación, en relación con la dureza, corresponde a la distancia que el producto se comprime hasta alcanzar su punto máximo de resistencia. En la formulación T3, se registró un valor de deformación de 20 mm, cifra que coincide con lo reportado por **Hussein et al. (2023)**, quienes observaron una deformación cercana a 18 mm en productos horneados similares.

Por otro lado, la formulación T1 presentó una deformación menor, de 16,36 mm, lo que indica que, aunque estos muffins soportan una menor compresión, alcanzan su máxima dureza. De acuerdo con **Zahra et al. (2022)**, la incorporación de harinas convencionales y pseudocereales puede reducir la deformabilidad en un rango aproximado del 5 al 10 %.

Por otro lado, la formulación T2 mostró una deformación superior en un 28,78 % en comparación con T1 y T3, lo que indica que T2 posee una estructura más elástica, permitiendo una compresión mayor antes de alcanzar la máxima resistencia. Este parámetro está asociado a una alta elasticidad y es consistente con estudios que indican que la incorporación de harinas de pseudocereales en proporciones elevadas favorece una buena capacidad de deformación, debido a la formación de geles que no generan daño estructural inmediato (**Hussein et al., 2023**).

Asimismo, investigaciones recientes han reportado que productos horneados con reemplazo parcial de harinas tradicionales por pseudocereales pueden alcanzar valores de deformación de hasta 30 mm durante la compresión (**Du et al., 2025**).

Deformación recuperable

La deformación recuperable mide la capacidad del producto para regresar a su forma original después de haber sido sometido a compresión. En la formulación T3, se obtuvo un valor de 4.00 mm, consistente con los rangos reportados para productos elaborados exclusivamente con harina de trigo, que varían entre 3.8 y 4.5 mm (**C.G.A., 2020**).

En contraste, T1 presentó el valor más alto de recuperación, con 4.87 mm, lo que evidencia una estructura con mayor capacidad para recuperar su forma original. Este resultado concuerda con lo reportado por **Bozdogan et al. (2022)**, quienes observaron que la incorporación de harinas funcionales hasta en un 25 % genera un aumento de aproximadamente 15 % en la recuperación elástica.

Por otro lado, la formulación T2 registró el valor más bajo de deformación recuperable, con 2.73 mm, lo que indica un producto más rígido tras la compresión. Este comportamiento es similar al descrito por **Ozuna et al. (2020)**, quienes señalaron que sustituciones superiores al 30 % de harinas de quinua y amaranto pueden asociarse con una disminución cercana al 20 % en la capacidad de recuperación elástica.

Adhesividad

La adhesividad se define como la fuerza necesaria para separar la superficie del alimento de otra superficie en contacto. En la formulación T3 (100 % trigo), se registró un valor de 6.5 mJ, consistente con los rangos reportados por **Chaquilla-Quilca et al. (2024)**, quienes documentaron valores entre 6 y 7.5 mJ para productos elaborados exclusivamente con harina de trigo. La adhesividad de la formulación T1 fue muy similar a la de T3, lo que coincide con diversos estudios que indican que la incorporación de hasta un 40 % de harinas de pseudocereales contribuye a mantener la adhesividad en productos horneados (**Coțovanu & Mironeasa, 2021**).

Por otro lado, la formulación T2 presentó un valor de adhesividad menor (6.0 mJ). Este resultado es considerado óptimo para productos que contienen un alto porcentaje de pseudocereales, ya que la elevada sustitución con estos ingredientes se ha asociado a una reducción de este parámetro.

Este efecto se atribuye a su contenido de almidones y fibra, los cuales poseen una alta capacidad de absorción de agua, disminuyendo así la pegajosidad de la masa o del producto final. La adhesividad es un atributo sensorial relevante que influye en la percepción y aceptación del consumidor (**Bedón & Carrión, 2020**).

Dureza (ciclo 2)

Este parámetro evalúa la fuerza ejercida durante la segunda compresión del muffin, lo cual es un indicador directo de la masticabilidad percibida. La formulación T3 (100% trigo) mostró un valor de 3.0 N, un resultado consistente con los rangos reportados en la literatura para muffins elaborados exclusivamente con harina de trigo, cuyos valores promedio oscilan entre 2.8 y 3.5 N. Durante este segundo ciclo, la formulación T1 (50% trigo, 25% quinua, 25% amaranto) exhibió la menor dureza (2.8 N). Esto sugiere una mayor facilidad de deformación, atribuible al menor contenido de gluten. Dicha reducción se relaciona con la alteración de la estructura de la matriz proteica, dado que las harinas de quinua y amaranto no forman redes de gluten, lo que compromete la integridad mecánica del producto. En este sentido, **Bedón (2020)** reportó una disminución del 35% en la dureza durante el segundo ciclo de compresión en productos con sustituciones del 25% de harinas sin gluten, lo cual deriva en matrices con menor elasticidad y mayor susceptibilidad al rompimiento.

Elasticidad

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 7, T2 mostró mayor elasticidad (29.25 mm), en comparación con el control (21 mm). Estos resultados sugieren que la adición de pseudocereales contribuye a una mejor capacidad de los muffins para recuperar su forma original tras ser sometidos a compresión. Este efecto podría vincularse directamente con la estructura proteica inherente a la quinua y el amaranto, cereales que se caracterizan por su riqueza en albúminas y globulinas. Estas proteínas, en combinación con su elevado contenido de fibra soluble, aumentan la capacidad de retención de agua.

En consonancia con estos hallazgos, **Chiş et al. (2020)**, reportaron en su estudio, que incluyó harinas de trigo, frijol y quinua, una mejora significativa en la elasticidad y textura en comparación con los tratamientos control. Este comportamiento puede ser atribuido a una modificación en la estructura proteica, no obstante, a pesar de la ausencia de gluten, la quinua y el amaranto son capaces de generar estructuras flexibles que demuestran una buena capacidad de recuperación después de la compresión.

Índice de Elasticidad

Dentro del análisis de textura, el índice de elasticidad se define como la capacidad del muffin para recobrar su forma original tras someterse a compresión. El tratamiento T2 exhibió el índice de elasticidad más alto (0.98), seguido por la muestra control (0.95) y T1 (0.87). Estos resultados sugieren que una sustitución considerable de harina de quinua y amaranto promueve la formación de una estructura interna con mayor resiliencia mecánica.

Estos hallazgos están en consonancia con lo documentado por Coțovanu & Mironeasa (2021), quienes señalaron que la inclusión de harinas andinas incrementa el índice de elasticidad. Este efecto es atribuible a la interacción entre las proteínas vegetales y la fibra dietética, lo que optimiza la cohesión estructural de la miga. Del mismo modo, Işık, Özgören & Sola (2022), observaron que los muffins preparados con harina de einkorn, caracterizada por un elevado contenido de proteínas y fibra, demostraron una elasticidad superior en comparación con los elaborados con harina refinada. Estos antecedentes resaltan que los muffins que poseen tales atributos recuperan de manera más eficiente su forma después de la compresión. Específicamente, en el tratamiento T2, la combinación de quinua y amaranto parece haber inducido un efecto favorable, puesto que su elevada capacidad de absorción de agua y la presencia de compuestos gelificantes contribuyen a la obtención de una estructura más elástica y firme después de la cocción.

Firmeza

En lo referente al análisis de firmeza, se identificaron diferencias notables entre los tres tratamientos evaluados. El tratamiento T2 mostró el valor más bajo de firmeza, con una medición de 1.03 N, mientras que T1 y el tratamiento control presentaron valores similares entre sí. De acuerdo con lo señalado por **Villa et al. (2020)**, esta disminución en la firmeza puede estar asociada a una mayor capacidad de retención de agua por parte de las proteínas y fibras contenidas en las harinas de quinua y amaranto, lo cual favorece la formación de una matriz estructural más flexible al primer contacto.

Asimismo, **Salazar et al. (2021)** sostienen que la incorporación moderada de harina de quinua en la formulación de muffins permite conservar la firmeza del producto, sin embargo, al aumentar su proporción, se puede generar un incremento en la firmeza general, pero acompañado de una menor resistencia a la deformación inicial. En este sentido, el tratamiento T1 podría representar un punto de equilibrio funcional entre textura y estructura del producto, mientras que el tratamiento T2, pese a su menor firmeza inicial, podría ofrecer una percepción sensorial de mayor densidad durante la masticación.

Masticabilidad

El parámetro de masticabilidad en el tratamiento T2 fue de 30.9 mJ, mientras que en el tratamiento T1 y el control se registraron valores de 20 mJ y 27 mJ, respectivamente. Este incremento refleja la mayor densidad y rigidez en las matrices alimentarias que contienen elevadas proporciones de pseudocereales, lo cual se traduce en una mayor fuerza requerida durante la masticación.

Un estudio realizado por **Quispe Huanca (2024)**, en muffins bajos en grasa elaborados con harina de quinua reportó que al aumentar la proporción de quinua al 60 %, la masticabilidad aumentó hasta 45.53 N, en comparación con un muffin comercial que presentó un valor de 18.95 N. De manera similar, **Sahin & Gulumser (2024)**, observaron en muffins sin gluten enriquecidos con semillas de calabaza que un mayor contenido de fibra y pseudocereales incrementaba tanto la firmeza como la masticabilidad.

Por lo tanto, el tratamiento T2 reveló una matriz más densa y energética durante la masticación, lo que sugiere beneficios en la estructura del producto. Sin embargo, este aumento podría afectar la percepción sensorial si no se ajustan adecuadamente otros parámetros, como el contenido de humedad (**El-Sayed, Salem & El-Masry, 2022**).

Índice de Masticabilidad

El índice de masticabilidad representa la energía requerida para fragmentar el producto hasta un estado adecuado para su deglución. En este estudio, el tratamiento T2 presentó un valor más elevado en comparación con los demás tratamientos, lo que sugiere una matriz estructural más densa y resistente. Según lo expuesto por **Yurivilca & Vargas (2023)**, la presencia de fibra en las harinas de quinua y amaranto influye significativamente en este parámetro, ya que modifica la estructura interna de la miga, incrementa su densidad y afecta la capacidad de retención de humedad.

Este hallazgo es consistente con lo reportado por **Hamzehpour & Dastgerdi (2023)**, quienes, en sus investigaciones con muffins elaborados sin harinas con gluten, observaron que al incrementar la proporción de harina de quinua a aproximadamente un 25 %, los valores de masticabilidad aumentaban de forma considerable. Este fenómeno fue atribuido a la formación de una red proteica más compacta y a una mayor retención de agua. Del mismo modo, **Salazar et al. (2021)** reportaron una mayor masticabilidad en muffins formulados con harinas de quinua y amaranto, lo que refuerza la relación directa entre el contenido de fibra y el esfuerzo requerido durante la masticación.

Tabla 8. Valores de los atributos evaluados en el análisis sensorial.

Parámetro	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
Sig. asin	0,039	<0,001	<0,001	0,717	0,002

Nota: Sig. asin <0,05 indica diferencias significativas entre las muestras para los atributos sensoriales evaluados

Tras el desarrollo de la prueba de Friedman para identificar diferencias significativas entre los datos no paramétricos obtenidos a partir de una evaluación sensorial de los productos desarrollados, se pudo determinar qué tal y como se muestra en la Tabla 8 se presentaron diferencias significativas para los parámetros de apariencia, color, olor y textura (sig.<0,05), es decir, el uso de quinua y amaranto en diferentes proporciones dentro del producto afecta a la percepción del producto debido a la modificación de los atributos sensoriales considerando además que la muestra control es aquella utilizada como punto de comparación por su composición tradicional.

Como se muestra en la Tabla 9, de forma general las medias correspondientes a los atributos sensoriales son mayores para T2 seguido de la muestra control y siendo la muestra T1 aquella con menor valoración, por ello, tras comparar los productos se identifica que para el atributo de color T1-Control muestra diferencias significativas al igual que T2-T1, pudiéndose deber a que el aumento de la proporción de harina de pseudocereales como quinua y amaranto pueden causar el oscurecimiento de los productos debido a la presencia de pigmentos naturales como saponinas, polifenoles u otros compuestos fenólicos que pueden generar el oxidamiento y el cambio de color (**Ramos Diaz et al., 2015**), por tal motivo, en la muestra T2 se alcanza una media de 2,72 debido a su composición con 20% trigo cuyo almidón se compone de amilosa y amilopectina mejorando su comportamiento tras el desarrollo de reacciones de Maillard debido a que se reduce la cantidad de aminoácidos presentes que reaccionan con azúcares reductores en el proceso de horneado disminuyendo la cantidad de pigmentos como melanoidinas que se forman, permitiendo obtener un color más claro y uniforme (**Hamzehpour & Dastgerdi, 2023**).

En lo que corresponde al aroma se muestran resultados iguales a los indicados en color, siendo la muestra T1 aquella con menor valoración debido a que más de un 40 % de un pseudocereales suelen poseer una gran cantidad de compuestos volátiles como las saponinas presentes en la quinua que pudieron no ser completamente eliminadas tras la obtención de las harinas y se extendieron al producto horneado aportando notas amargas o terrosas no agradables al paladar humano (**Machado Alencar et al., 2015**). Así también la muestra T2 posee mejor percepción de olor conociendo que el trigo es rico en azúcares reductores como maltosa y glucosa que permiten que en las reacciones de Maillard se dé la formación de compuestos aromáticos como pizarinas,

furononas, aldehídos y cetonas, por efecto del horneado, aportando aromas dulces, tostados o a caramel, por otro lado, la quinua y el amaranto aportan notas a nuez dando un toque sensorial más llamativo **(Tang et al., 2024)**.

En referencia al análisis de la apariencia se puede determinar que existen diferencias significativas únicamente al comparar T2-CONTROL, efecto que no fue evidenciado en el resto de atributos sensoriales, posiblemente atribuido a que una alta incorporación de quinua y amaranto afecta a la estructura de la miga y la superficie del muffin por la modificación a la capacidad de absorción de agua, el contenido de proteína y en el caso del uso único de trigo la formación de redes de gluten que incrementan la esponjosidad tras atrapar en su red tridimensional partículas de gas liberadas durante el horneado, es decir, su ausencia genera que los muffins sean más densos y de menor volumen afectando a la percepción visual **(Aguiar et al., 2022)**. Sin embargo, la ausencia de diferencias entre T2-T1 se debe a que la percepción de la apariencia suele incluir la evaluación de la forma y la uniformidad del producto que pudieron ser determinados como similares para las muestras a pesar de no poseer el mismo volumen **(Miranda-Ramos & Haros, 2020)**.

Considerando que la modificación a los atributos sensoriales influyen sobre la aceptabilidad general del producto, se identifica que T1-control muestra diferencias significativas al igual que T2-T1, puesto que la combinación de los efectos negativos como color y aroma disminuyen la aceptabilidad de T1 debido a que son los primeros estímulos sensoriales que suelen ser evaluados por el consumidor **(Vidaurre & Ruiz et al., 2019)**, es decir, mantener el contenido de trigo en el producto en un 50% puede permitir la incorporación de harina de quinua y amaranto sin comprometer la calidad sensorial del producto haciéndolo agradable al consumo humano.

Tabla 9. Valores de los atributos evaluados en el análisis sensorial.

	T1-CONTROL			T2- CONTROL			T2-T1		
	T1	Control	Sig.asin	T2	Control	Sig.asin	T2	T1	Sig.asin
Color	2,24±0,723	2,68±0,557	<0,001 ^b	2,72±0,542	2,68±0,557	0,317 ^c	2,72±0,542	2,24±0,723	<0,001 ^c
Aroma	2,32±0,748	2,64±0,569	0,005 ^b	2,68±0,476	2,64±0,569	0,317 ^c	2,68±0,476	2,32±0,748	0,003 ^c
Apariencia	2,4±0,707	2,36±0,700	0,317 ^b	2,52±0,714	2,36±0,700	0,046 ^b	2,52±0,714	2,4±0,707	0,083 ^b
Sabor	2,52±0,586	2,56±0,583	0,317 ^b	2,56±0,651	2,56±0,583	1,000 ^c	2,56±0,651	2,52±0,586	0,564 ^d
Textura	2,36±0,810	2,6±0,577	0,014 ^b	2,68±0,557	2,6±0,577	0,157 ^c	2,68±0,557	2,36±0,810	0,005 ^c

Nota: Letras superíndices (a, b, c, d) indican diferencias significativas entre los valores. T1 (trigo 20%, quinua 40% y amaranto 40%) T2 (trigo 50%, quinua 25% y amaranto 25%), y CONTROL (trigo 100%).

Según el resultado final obtenido, se muestra el análisis sensorial por medio de un gráfico de radar, interpretando que el T2 (50% trigo, 25%, quinua y 25% amaranto) tiene la mayor aceptación en todos los parámetros evaluados con una puntuación promedio de 2,72/3. Estos resultados tienen validez con lo que reportan **Montoya & Rodríguez et al. (2021)** destacando que al incorporar pseudocereales modifican los atributos sensoriales como la textura y el color, dado por su calidad nutricional en especial el contenido en fibra y compuestos fenólicos. En el presente estudio, T1 y el control mostraron valores sensoriales inferiores en comparación con el tratamiento T2. No obstante, se sugiere que un mayor porcentaje de inclusión de amaranto podría contribuir a mejorar aún más el perfil sensorial, dado que este pseudocereal posee propiedades favorables para la mejora de la textura y el sabor en productos horneados, tal como lo señalan Ramírez et al. (2020). En conjunto, los resultados representados en la Figura 1 respaldan que la formulación T2 alcanza niveles adecuados de aceptación sensorial, posicionándola como una alternativa prometedora.

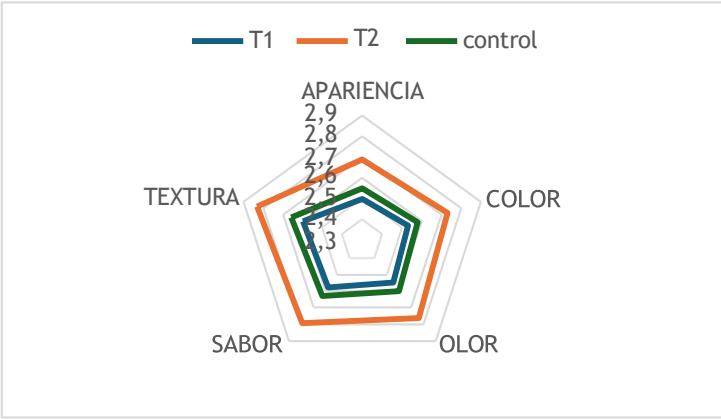


Figura 1. Perfil sensorial (T1, T2, control).

Tabla 10. Humedad de los muffins de mayor aceptación.

Parámetro	Método	Resultado	Unidad	Condiciones ambientales
Humedad	INEN 1676	45,3	%	19,5 °C, 55,9% HR

A los muffins con mayor aceptación sensorial se les evaluó el contenido de humedad conforme a lo establecido por la norma INEN 1676, obteniéndose un valor de 45,3 %, tal como se presenta en la Tabla 4. Este resultado indica un alto contenido de agua, el cual puede atribuirse a la inclusión de pseudocereales como quinua (25 %) y amaranto (25 %), ingredientes conocidos por su elevada capacidad de retención de agua. Esta propiedad se debe, principalmente, a la presencia

de proteínas con características emulsificantes e hidrofílicas, fibra dietética soluble y almidón con buena capacidad de gelatinización (Pérez & Mora et al., 2022; Almeida et al., 2024).

Estos componentes contribuyen positivamente a la textura del producto, mejorando su suavidad y jugosidad sin comprometer su estructura. Sin embargo, una humedad superior al 40 % puede favorecer la proliferación microbiana si no se aplican medidas adecuadas de conservación. En este estudio, las condiciones ambientales durante el almacenamiento una temperatura de 19,5 °C y una humedad relativa del 55,9 % se mantuvieron dentro de rangos adecuados para la conservación del producto, permitiendo preservar una textura húmeda y al mismo tiempo limitar el desarrollo de microorganismos. No obstante, en ausencia de conservantes, niveles elevados de humedad podrían incrementar el riesgo de crecimiento de mohos y levaduras, tal como advierten Alpízar Reyes et al. (2020).

Tabla 11. Calidad microbiológica.

Parámetro microbiológico	Resultado	Unidad	Limite Normativo (INEN 1529-5:2020)
Coliformes	<10	UFC/g	< 100 UFC/g
<i>E. coli</i>	Ausente	UFC/g	Ausente en 25g
<i>Salmonella spp.</i>	No detectada	En 25 g	Ausente en 25g
Mohos	<10	UFC/g	< 1000 UFC/g

Todos los tratamientos cumplieron de forma satisfactoria lo con lo establecido en la normativa INEN 3084 para los productos horneados. En la tabla 11, se evidencia los recuentos de coliformes (<10 UFC/g), *E. coli* y *Salmonella spp.* ausentes en 25, esta ausencia de patógenos, al indicar valores inferiores al límite de detección analítico, es fundamental para la seguridad alimentaria. Así mismo, los niveles de mohos, cuantificados en <10 UFC/g, y de levaduras, en 100 UFC/g, se mantienen significativamente por debajo del límite aceptable de 1000 UFC/g. Estos resultados confirman un cumplimiento riguroso de los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana para productos horneados, tal como lo estipula la NTE INEN 1529-5:2020: "Control de los alimentos. Criterios microbiológicos para alimentos y bebidas procesados" (INEN, 2020).

La inexistencia de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* es de vital importancia, ya que ambos son reconocidos agentes etiológicos de enfermedades transmitidas por alimentos, capaces de causar afecciones severas al consumidor (Mayo Clinic, 2022). Su ausencia categórica en estos muffins es un indicador robusto de la eficacia del proceso de cocción para la inactivación microbiana y de la implementación rigurosa de prácticas de higiene a lo largo de toda la cadena productiva,

previniendo así la contaminación post-térmica. De hecho, los bajos recuentos de coliformes, en conjunción con la ausencia de *E. coli*, sirven como indicadores esenciales de las buenas prácticas de higiene y manufactura, en línea con directrices internacionales y los propios estándares nacionales.

Particularmente, el recuento de coliformes de <10 UFC/g en los muffins constituye un índice de calidad higiénica excelente. Este valor, notablemente inferior a los límites máximos permitidos por la NTE INEN 1529-5:2020 (INEN, 2020), es reflejo de una higiene estricta que abarca desde la selección y adquisición de materias primas e ingredientes hasta las fases de procesamiento y envasado final. Estudios realizados en regiones andinas de Ecuador, como el llevado a cabo en Ambato sobre la calidad microbiológica del pan, han documentado que recuentos elevados de coliformes son una clara señal de deficiencias en el saneamiento y control durante el proceso de producción (Universidad & Sociedad, 2021). La contrastante situación observada en los muffins de este estudio valida la eficacia de las medidas de control implementadas.

Es imperativo considerar que las harinas no convencionales, como las de quinua y amaranto, si bien aportan un valor nutricional significativo, pueden poseer propiedades fisicoquímicas que, bajo un manejo inadecuado, podrían favorecer el desarrollo microbiano (FAO, 2021). Sin embargo, los bajos recuentos de mohos y levaduras, además de la ausencia de patógenos específicos, demuestran que las materias primas utilizadas cumplieron con los estándares de calidad microbiológica y, crucialmente, que las condiciones de almacenamiento del producto son óptimas para limitar el desarrollo de estos microorganismos (FAO, 2021), lo que se traduce en una prolongada conservación y estabilidad del producto. En síntesis, los resultados microbiológicos de los muffins, optimizados con harinas de amaranto y quinua, no solo validan su innovación nutricional, sino que reafirman su seguridad para el consumo humano y su conformidad con los estrictos estándares de calidad e inocuidad exigidos en la legislación ecuatoriana.

Tabla 12 .*Datos brutos (absorbancia, glucosa y almidón hidrolizado)*

F. dilución		Absorbancia		Glucosa (mg)				Almidón hidrolizado (mg)		
CPB	5	0,736	0,808		1,596	1,904		1,436	1,714	
M1	5	0,641	0,645	0,667	1,188	1,205	1,300	1,069	1,085	1,170
M2	5	0,610	0,614	0,635	1,055	1,073	1,163	0,950	0,965	1,046

En la tabla 12, se visualiza los datos cuantitativos de las muestras en condiciones in vitro, se detalla la absorbancia, glucosa y almidón hidrolizado para las muestras de pan blanco, muffin control (100% trigo) y muffin T2 (50 trigo, 25 quinua, 25 amaranto). La absorbancia se da gracias

a la cantidad de glucosa en la solución, al comparar los valores de este parámetro tenemos que el pan blanco (CPB) tiene el valor más alto de 0,736 – 0,808, seguido de M1-control de 0,641- 0,667 y M2 0,610 – 0.635. Para **Coțovanu et al. (2023)** el descenso del 17% de almidón diferido es gracias a la incorporación de pseudocereales, lo cual tiene concordancia con la absorbancia en T2, esta inclinación en la absorbancia se efectúa como una traducción directa en cantidades pequeñas de glucosa (mg) y almidón hidrolizado (mg). La disminución progresiva de la absorbancia entre las muestras, indica una baja cantidad de glucosa desprendida del muffin (**Zhang et al. 2021**).

La conversión de los datos de absorbancia en concentraciones de glucosa liberada durante la digestión enzimática respalda la tendencia observada entre los tratamientos. El pan blanco presentó las mayores cantidades de glucosa liberada (1.596–1.904 mg), seguido por el muffin control M1, con valores intermedios (1.188, 1.205 y 1.300 mg), mientras que el tratamiento M2 mostró las menores concentraciones (1.055, 1.073 y 1.163 mg). Estas diferencias evidencian que, a pesar de estar sometidas al mismo periodo de digestión simulada, las muestras presentan comportamientos distintos en cuanto a la liberación de glucosa, siendo el tratamiento T2 el que libera la menor cantidad.

Este comportamiento podría atribuirse a las características del almidón presente en los pseudocereales empleados (quinua y amaranto), cuyos perfiles nutricionales están asociados a una liberación más lenta de glucosa. En efecto, estudios previos con harinas libres de gluten han reportado una reducción en la liberación de azúcares reductores, lo que sugiere una menor velocidad de hidrólisis del almidón (Wang et al., 2021). Esto refuerza la hipótesis de que la matriz de almidón en T2 presenta una estructura más resistente a la digestión rápida, contribuyendo así a un perfil glucémico más saludable.

Por último, los datos del almidón hidrolizado son una señal del nivel de almidón degradado en glucosa el pan blanco indica un alto índice de almidón hidrolizado (1.436 y 1.714 mg), el control M1 posee cantidades estables (1.069, 1.085 y 1.170 mg) y el M2 tiene cantidades inferiores del almidón hidrolizado (0.950, 0.965 y 1.046 mg), corroborando que el muffin T2 posee menos glucosa gracias a una disminución de la hidrólisis en el almidón. Este decrecimiento de la hidrólisis en este tipo de harinas no convencionales puede ser por la presencia de fibra y almidón resistente, restringiendo el ingreso de enzimas (**Ma et al., 2022**).

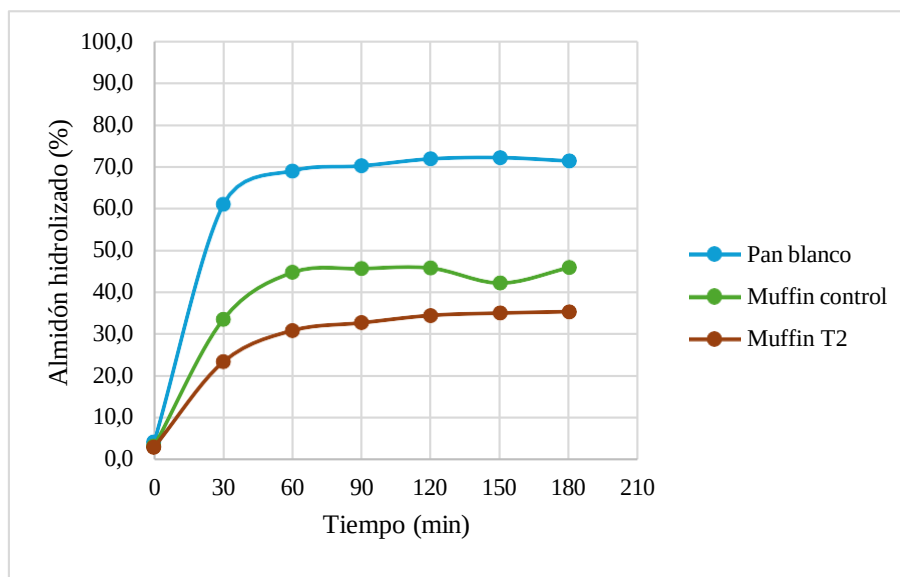


Figura 2. Curva de almidón hidrolizado vs tiempo.

En la figura 2 se muestra la curva de hidrólisis del almidón vs. el tiempo, este parámetro es importante para entender la rapidez de la digestión del almidón en las muestras. Para el pan blanco la curva presenta una tasa de hidrólisis más acelerada y más almidón hidrolizado, llegando a un 70 % de hidrólisis en el minuto 60 y con una constancia hasta el minuto 180. Esta conducta es característico de un alimento que tiene un alto índice glucémico o el tipo de harina convencional en su formulación mostrando una digestión óptima en los carbohidratos (**Deshpande et al., 2022**). Por otro lado, en la muestra de los muffins control (100%) trigo tiene una tasa de hidrólisis razonable muy por debajo del pan blanco, el almidón hidrolizado comienza a estabilizarse en 45 % siendo una digestión más tardada en relación al pan blanco. Mientras que en el muffin (50 % trigo, 25% amaranto y 25% quinua) tiene un almidón hidrolizado razonable, siendo menor en comparación a las otras muestras, aquí se da una estabilidad en la hidrólisis más arriba del 30% exhibiendo una digestión más paulatina.

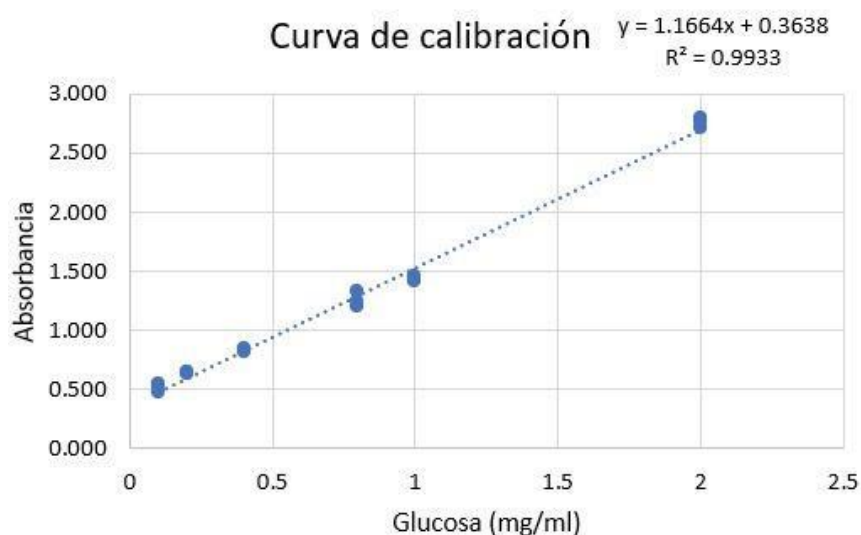


Figura 3. Curva de calibración.

Para la determinación del índice glucémico in vitro en los muffins T2 y el control por medio del método de Goñi, se permite calcular la hidrólisis de los carbohidratos y el desprendimiento de la glucosa en los productos alimenticios. Los resultados para cada tratamiento, pan blanco (referencia), T2 (50% trigo, 25% quinua y 25% amaranto) y el control (100% trigo) nos proporcionan una buena visibilidad como las diferentes proporciones en cada muestra influyen en la digestibilidad del almidón. En la figura 3, la curva de calibración es un factor fundamental para el análisis del índice glucémico, esta expresada por la ecuación $y = 1.1664x + 0.3638$ y un coeficiente de determinación de 0.9933 evidenciando la correlación entre la glucosa vs absorbancia. Al tener un valor próximo a 1 de R^2 , indica que este método tiene una buena fiabilidad para cuantificar la glucosa, por ende, asegura que, al convertirse la absorbancia en contenido de glucosa en un proceso de digestión aparente los estudios in vitro arrojan valores de R^2 de 0.9949 para la glucosa en matrices a base harinas fortificadas, haciendo énfasis que este valor puede ser superior a nuestro estudio (Jiménez-Monreal et al., 2025).

Tabla 13. Índice glucémico (IG)

Muestra	IG
Control	73.74 ± 3.30
MT2	64.89 ± 0.87

En la tabla 13, se muestra los datos finales del índice glucémico in vitro puesto que cuantifica la influencia del IG para cada formulación, la muestra control de los muffins cuenta con un IG alto (73.74 ± 3.30), con lo reportado por (Punia Bangar et al., 2022) un IG mayor a 70 muestra una

acelerada liberación de glucosa, destacando el comportamiento y velocidad de los carbohidratos para digerir y absorber desencadenando un pico de glucosa. Por otro, lado el IG de T2 medio (64.89 ± 0.87) reducido por la fibra y almidón resistente de los pseudocereales, se categoriza como un índice medio (56 – 59) **(Arif et al., 2025)**.

Además, se observa una diferencia significativa entre ambos, ya que el muffin T2 con un IG 8.85 unidades porcentuales inferior que el control, esta disminución concuerda con las curvas de hidrólisis del almidón, donde la menor extensión de digestión acreditaba al T2. De igual manera, la desviación estándar para el MT2 de 0.87 está por debajo de la muestra control (3.30), demostrando la fiabilidad del IG. En resumen, el IG de T2 es un resultado alentador para aquellos productos horneados que tienen en su formulación cierto porcentaje de trigo siendo más saludable para el consumidor, demostrando con datos cuantitativos que la incorporación de un 50% de pseudocereales en la formulación de muffins fue útil para minimizar el IG, brindando una opción con un perfil nutricional más saludable sin alterar de manera drástica la calidad del producto **(Arif et al., 2025)**.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La sustitución del 50 % de harina de trigo por quinua y amaranto (25% cada uno) mejoró el perfil nutricional sin comprometer la aceptación sensorial. Esta formulación permitió disminuir el índice glucémico, obteniendo así una opción más saludable para el consumidor, sin afectar significativamente los atributos sensoriales ni comprometer la seguridad microbiológica. Por tanto, representa una alternativa óptima para el desarrollo de productos horneados funcionales a base de pseudocereales andinos
- En cuanto a los atributos sensoriales evaluados, se evidenció que la formulación con un 50 % de sustitución fue aceptada por los panelistas, quienes valoraron positivamente su textura, sabor, color, olor y apariencia general. Aunque se observaron ligeras diferencias en comparación con el muffin control, estas no afectaron de forma drástica la aceptabilidad global. Esto demuestra que la inclusión de quinua y amaranto puede modificar ciertas propiedades fisicoquímicas, particularmente la textura, pero sin comprometer la estructura ni la calidad sensorial general del producto. En el caso del muffin T2, se destacó una consistencia adecuada, lo cual confirma que el uso de estas harinas no altera negativamente la matriz del producto.
- Los muffins elaborados cumplieron con los estándares microbiológicos, no se detectó presencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, mohos ni coliformes, lo que demuestra su inocuidad. Estos resultados validan que la elaboración de productos funcionales a base de pseudocereales, bajo condiciones controladas de higiene, humedad y temperatura, es completamente segura para el consumidor. En consecuencia, se concluye que este tipo de formulaciones no representan un riesgo microbiológico si se mantienen buenas prácticas de manufactura a lo largo del proceso.
- La formulación T2 redujo significativamente el índice glucémico, siendo una opción más viable para dietas saludables, se presentó un valor de IG de 64.89 ± 0.87 , correspondiente a un rango medio. En contraste, el muffin elaborado con 100 % de harina de trigo mostró un IG elevado. Esta diferencia numérica refleja una mejora significativa en el comportamiento glucémico del producto reformulado. La menor liberación de glucosa y el bajo contenido de almidón hidrolizado indican que las harinas utilizadas poseen una

estructura rica en almidón resistente, además de un perfil nutricional favorable por su alto contenido de fibra y proteínas, lo cual retrasa la digestión de los carbohidratos. Todo ello posiciona al muffin T2 como un alimento funcional con un índice glucémico controlado.

Recomendaciones

- Evaluar proporciones mayores de pseudocereales en la elaboración de otros productos horneados.
- Implementar las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) durante todo el proceso de producción, desde la elaboración hasta el almacenamiento, para garantizar la estabilidad microbiana.
- Estudiar el contenido de almidón resistente y fibra en futuras investigaciones, con el propósito de establecer relaciones más precisas entre la composición nutricional del producto y su comportamiento durante la digestión.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, E. V., Santos, F. G., Centeno, A. C. L. S., & Capriles, V. D. (2022). Defining Amaranth, Buckwheat and Quinoa Flour Levels in Gluten-Free Bread: A Simultaneous Improvement on Physical Properties, Acceptability and Nutrient Composition through Mixture Design. *Foods*, 11(6), 848. <https://doi.org/10.3390/foods11060848>
- Arslan-Tontul, S., Candal Uslu, C., Mutlu, C., & Erbaş, M. (2022). Expected glycemic impact and probiotic stimulating effects of whole grain flours of buckwheat, quinoa, amaranth and chia. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1460-1467. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05156-8>
- Arif, M. R., Hussain, A., Najam, A., Ashfaq, M., Bakhtawar, F., Zulfiqar, N., ... Wang, Y. (2025). A review on gluten free and low glycemic index bakery products, especially corn-based breads, noodles, and multigrain flours. *Discover Applied Sciences*, 7, Article 541. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07153-4>
- Astudillo, A., Criollo, P., & Fajardo, S. (2013). Valor nutritivo y funcional de la harina de amaranto (*amaranthus hybridus*) en la preparación de galletas [Grado, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/638b2fc6-dea0-4170-a164-411d90e4214f/full>
- Ballester-Sánchez, J., et al. (2019). Quinoa in bakery products. *Foods*, 8(9), 379. <https://doi.org/10.3390/foods8090379>
- Bedón Miranda Asesora, V., & Hernández Carrión, M. (n.d.). Efecto del reemplazamiento parcial de harina de trigo por harina de amaranto en las propiedades fisicoquímicas de una torta sin azúcar.
- Bedón Miranda, V. (2020). Efecto del reemplazamiento parcial de harina de trigo por harina de amaranto en las propiedades fisicoquímicas de una torta sin azúcar (Trabajo de grado, Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, Colombia). Repositorio Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/4c5f0ef7-e9ac-452d-b2a0-67d2393349bb/content>
- Beltrán Fernández, X., & Saenz Vilca, G. (2014). Optimización de la sustitución parcial

de la harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa* wild) y harina de zapallo (*Curcubita máxima*) en la elaboración de cupcakes [Grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/1955>

Bonifacio-callisaya, M., & Bonifacio-flores, A. (2023). Grain characteristics of selected lines of qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) Saiwa and Last 'a type in the post-harvest process. 10, 0–3.

Britez, M. G., Rolhaiser, F. A., Romero, A. M., & Romero, M. C. (2020). Incorporación de harina de amaranto para la obtención de bocaditos de carne con bajo contenido de grasa. *Enfoque UTE*, 11(3), 35–45. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n3.558>

Cabrera Pérez, S. G., Arleth, T., Zapana, C., Rosa, C., & Humerez, A. (2023). Optimización de una mezcla para la elaboración de granolaa base de hojuelas de granos andinos cumpliendo con losaminoácidos para adulto. 167. <https://orcid>.

Calvopiña, J. (2018). Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en un pan libre de gluten [Grado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6224>

Casa Oñate, D. (2023). Evaluación de la digestibilidad del almidón de un suplemento a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*) orientado a dietas saludables [Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37899>

Chaquilla-Quilca, G., Islas-Rubio, A. R., Vásquez-Lara, F., Salcedo-Sucasaca, L., Silva-Paz, R. J., & Luna-Valdez, J. G. (2024). Chemical, Physical, and Sensory Properties of Bread with Popped Amaranth Flour. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(2), 137–146. <https://doi.org/10.31883/PJFNS/187799>

Cîș, M. S., Păucean, A., Man, S. M., Mureșan, V., Socaci, S. A., Pop, A., Stan, L., Rusu, B., & Muste, S. (2020). Textural and sensory features changes of gluten free muffins based on rice sourdough fermented with *Lactobacillus spicheri* DSM 15429. *Foods*, 9(3), 363. <https://doi.org/10.3390/foods9030363>

Condori, A., Lisbeth, L., San, U. N., Adab, A., Cusco, D., & Sadeg, E. (2022). Uso de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus* Linnaeus) en la elaboración de panetones.

<https://doi.org/10.51892/rcidas.V2i1.16>

- Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2021). Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, 10(7), 1539. <https://doi.org/10.3390/foods10071539>
- Deshpande, R. H., Kumar, A., Katare, M., Sakhare, S. D., & Inamdar, A. A. (2022). Effect of grinding techniques and supplementation of quinoa on the carbohydrate profile of tortillas. *Journal of Food Science and Technology*, 59(9), 3600–3608. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05365-9>
- Du, H., Baek, I., Jang, Y., Said, N. S., & Lee, W. Y. (2025). Effects on Physicochemical, Nutritional, and Quality Attributes of Fortified Vegan Muffins Incorporated with Hempseed as an Alternative Protein Source. *Foods*, 14(4), 20–30. <https://doi.org/10.3390/foods14040601>
- El-Sayed, M., Salem, M. A., & El-Masry, H. A. (2022). Utilization of quinoa and amaranth flour for improving the nutritional and sensory quality of gluten-free muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(8), 4936–4946. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15751>
- Franco, W., Evert, K., & Van Nieuwenhove, C. (2021). Quinoa Flour, the Germinated Grain Flour, and Sourdough as Alternative Sources for Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Chemical, Textural and Sensorial Characteristics. *Fermentation* 2021, Vol. 7, Page 115, 7(3), 115. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION7030115>
- Giacomozzi, A. S., Carrín, M. E., & Palla, C. A. (2018). Muffins Elaborated with Optimized Monoglycerides Oleogels: From Solid Fat Replacer Obtention to Product Quality Evaluation. *Journal of Food Science*, 83(6), 1505-1515. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14174>
- Hamzacebi, O., & Tacer-Caba, Z. (2021). Date seed, oat bran and quinoa flours as elements of overall muffin quality. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 9(1), 147–157. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.9.1.15>
- Hamzehpour, R., & Dastgerdi, A. A. (2023). The Effects of Quinoa and Amaranth Flour on the Qualitative Characteristics of Gluten-Free Cakes. *International Journal of Food Science*, 2023, 6042636. <https://doi.org/10.1155/2023/6042636>

- Hamzehpour, R., & Ahmadi Dastgerdi, A. (2023). The effects of quinoa and amaranth flour on the qualitative characteristics of gluten-free cakes. *International Journal of Food Science*, 2023, Article ID 10284632. <https://doi.org/10.1155/2023/10284632>
- Hernandez, J. (2023). Uso del amaranto y su utilidad en el tratamiento del paciente con diabetes mellitus. 1–15. www.revcompinar.sld.cu
- Hleap Zapata, J., Burbano Portillo, M., & Mora Vera, J. (2017). Evaluación fisicoquímica y sensorial de salchiichas con inclusión de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* w.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\).594](https://doi.org/10.18684/bsaa(15).594)
- Hussein, A. S., Mostafa, S., Fouad, S., Hegazy, N. A., & Zaky, A. A. (2023). Production and Evaluation of Gluten-Free Pasta and Pan Bread from Spirulina Algae Powder and Quinoa Flour. *Processes* 2023, Vol. 11, Page 2899, 11(10), 2899. <https://doi.org/10.3390/PR11102899>
- INEN. (2020). *Norma Técnica Ecuatoriana 1529-5: Criterios microbiológicos para alimentos*.
- Kongdang, P., Dukaew, N., Pruksakorn, D., & Koonrunsesomboon, N. (2021). Biochemistry of *Amaranthus* polyphenols and their potential benefits on gut ecosystem: A comprehensive review of the literature. *Journal of Ethnopharmacology*, 281(May), 114547. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114547>
- Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry: X*, 18(January), 100687. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>
- Jiménez Monreal, A. M., Cedeño Pinos, C., Bañón, S., Muñoz, I., Guardia, M. D., Tahori, N., & Martínez Tomé, M. (2025). Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the antioxidant properties of fruit and vegetable powdered smoothies reinforced with WPC80. *LWT – Food Science and Technology*, 215, 117301. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117301>
- Kaur, H., Shams, R., Dash, K. K., & Dar, A. H. (2023). A comprehensive review of pseudo-cereals: Nutritional profile, phytochemicals constituents and potential health promoting benefits. *Applied Food Research*, 3(2), 100351.

<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100351>

- Kumar, H., Guleria, S., Kimta, N., Dhalaria, R., Nepovimova, E., Dhanjal, D. S., Alomar, S. Y., & Kuca, K. (2024). Amaranth and buckwheat grains: Nutritional profile, development of functional foods, their pre-clinical cum clinical aspects and enrichment in feed. *Current Research in Food Science*, 9(June), 100836. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100836>
- Lee, P., Oh, H., Kim, S. Y., & Kim, Y. S. (2020). TEXTURAL, PHYSICAL AND RETROGRADATION PROPERTIES OF MUFFIN PREPARED WITH KAMUT (TRITICUM TURANICUM JAKUBZ). In *Ital. J. Food Sci* (Vol. 32).
- Łopusiewicz, Ł., Kowalczewski, P. Ł., Baranowska, H. M., Masewicz, Ł., Amarowicz, R., & Krupa-Kozak, U. (2023). Effect of Flaxseed Oil Cake Extract on the Microbial Quality, Texture and Shelf Life of Gluten-Free Bread. *Foods*, 12(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods12030595>
- Ma, Y., Wu, D., Guo, L., Yao, Y., Yao, X., Wang, Z., Wu, K., Cao, X., & Gao, X. (2022). Effects of quinoa flour on wheat dough quality, baking quality, and in vitro starch digestibility of the crispy biscuits. *Frontiers in Nutrition*, 9, 846808. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.846808>
- Machado Alencar, N. M., Steel, C. J., Alvim, I. D., De Moraes, E. C., & Andre Bolini, H. M. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1011-1018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.029>
- Marak, N. R., Das, P., Das Purkayastha, M., & Baruah, L. D. (2024). Effect of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) flour supplementation in breads on the lipid profile and glycemic index: An in vivo study. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1341539. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1341539>
- Mejia, R., Mendoza, H., Gomez, L., & Pinedo, R. (2021). Comportamiento agronómico y calidad de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) en función del cultivar y la dosis de fertilización.
- Mhada, M., Metougui, M. L., El Hazzam, K., El Kacimi, K., & Yasri, A. (2020). Variations of Saponins, Minerals and Total Phenolic Compounds Due to Processing and Cooking of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds. *Foods*, 9(5), 660.

<https://doi.org/10.3390/foods9050660>

- Mira Vásquez, J., & Roca, M. (2017). Características físicas, químicas y funcionales de la harina de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ciencia y Tecnología en Alimentos*, 27(1), 7-11.
- Mira Vásquez, J., & Sucoshanay Villalba, D. (2017). Caracterización de la harian de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) producida en la provincia de Chimborazo, Ecuador. *Perfiles*, 2(16), 27-31.
- Miranda-Ramos, K. C., & Haros, C. M. (2020). Combined Effect of Chia, Quinoa and Amaranth Incorporation on the Physico-Chemical, Nutritional and Functional Quality of Fresh Bread. *Foods*, 9(12), 1859. <https://doi.org/10.3390/foods9121859>
- Miranda-Villa, P. P., Mufari, J. R., Bergesse, A. E., & Calandri, E. L. (2019). Effects of whole and malted quinoa flour addition on gluten free muffins quality. *Journal of Food Science*, 84(1), 147–153. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30569476/>
- Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Chen, zhizhou, Brennan, M. A., Ma, Q., Wang, J., & Brennan, C. S. (2023). Effects of quinoa flour (*Chenopodium Quinoa* Willd) substitution on wheat flour characteristics. *Current Research in Food Science*, 7(February), 100556. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100556>
- Onofre Quenta, X. M., & Bonifacio Flores, A. (2021). Evaluación de las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre (*Chenopodium quinoa* spp.) del Altiplano Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(3), 7–20. <https://doi.org/10.53287/ocjv1418fh24q>
- Ormachea-Salcedo, P., Navia-Coarite, A., Tarquino-Flores, G., Callejas-Calle, L., Yupanqui-Machaca, C., Latorre-Rada, C., Mamani-Charca, M., & Salcedo-Ortiz, L. (2024). Glycemic index of cañahua, quinua and enzymatically modified products from quinoa Jacha Grano. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 28(1), 38–46. <https://doi.org/10.14306/renhyd.28.1.2025>
- Paucarchuco Soto, J., & Vilchez De la Cruz, J. E. (2024). Aplicación alimentaria de la quinua germinada y valorización de sus propiedades nutricionales, biológicas y funcionales: Una revisión sistemática. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(2), 105–118. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.599>

- Párraga, R., Muñoz, J., Mera, M., Barre, R., & García, J. (2019). Adición de harina de amaranto (*Amaranthus caudatus* L) en la producción de dulce de leche. *Agroindustrial Science*, 9(2), 121-126.
- Peña Serrano, G., & Ariza Ortega, J. A. (2021). Amaranto, lípidos y su efecto en las dislipidemias. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 10(19), 160–172. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.6961>
- Pérez, C., & Luzuriaga, O. (2010). Caracterización de la Harina de Semillas de Amaranto *Amaranthus Caudatus* para Elaboración de Pan en Mezclas con Harina de Trigo. *Química Central*, 1(1), 67-70. <https://doi.org/10.29166/quimica.v1i1.1191>
- Pinto Mosquera, N & Ortiz Echeverría, S. (2024). Evaluación de la sustitución de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Y amaranto (*Amaranthus* sp.) en la elaboración de galletas [Grado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16149>
- Portales, S. (2020). Estudio De La Calidad Microbiológica De Panes De Distintos Orígenes. 3–7. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/49306/TFM-L543.pdf;jsessionid=8D03EE1ABE3F2BC0555314722B9ADF69?sequence=1>
- Priyanka, M., Suneetha, W., Maheswari, K., Suneetha, K., & Kumari, B. (2018). Glycemic Index Profiling of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Variety. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 21(2), 1–5. <https://doi.org/10.9734/jpri/2018/37915>
- Punia Bangar, S., Sharma, N., Singh, A., Phimolsiripol, Y., & Brennan, C. S. (2022). Glycaemic response of pseudocereal based gluten free food products: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(8), 4936–4944. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15890>
- Quispe Huanca, R. C. (2024). Evaluación de las propiedades físicas, nutricionales y sensoriales de muffin bajo en grasas a base de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y centeno (*Secale cereale* L.) (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana). Repositorio UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22444>
- Ramos Diaz, J. M., Suuronen, J.-P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila,

- K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1047-1056. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.011>
- Rangel Eduardo, E., Fernanda Sesma Hernández, L., Gabriela Valverde Ramos, M., González Molina, L., Escobedo López, D., & Jazmín Aguilar Delgado, M. (2021). Does amaranth have the agronomic potential to be a global phenomenon like quinoa. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1459–1471.
- Sahin, S., & Gulumser, M. E. (2014). A comprehensive study on physical properties of two gluten-free flour fortified muffins. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/270013374>
- Salazar, D., Arancibia, M., Silva, D. R., López Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2021). Exploring the potential of Andean crops for the production of gluten free muffins. *Agronomy*, 11(8), 1642. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081642>
- Salinas, M. (2010). Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de quinua (chenopodium quinoa) para la formulación y elaboración de salchichas tipo vienesa con características funcionales. [Grado]. Universidad Técnica de Ambato.
- Sciences, E., Society, S., Authors, T., Society, S., Authors, T., Pradesh, H., Society, S., Sciences, A., Authors, T., Society, S., Sciences, A., Authors, T., Society, S., Sciences, A., Authors, T., Society, S., Sciences, A., Authors, T., Society, S., ... Authors, T. (2020). Erratum for previously published articles (Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences (2020) 19(1) (81–86), (S1658077X1830119X), (10.1016/j.jssas.2018.06.004)). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(8), 548–550. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.09.008>
- Shukla, D., Tewari, B. N., Trivedi, S. P., Dwivedi, S., Kumar, V., & Tiwari, V. (2024). Quality and functional attributes of muffins with incorporation of fruit, vegetable, and grain substitutes: A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 16(1), 344–355. <https://doi.org/10.31018/jans.v16i1.5330>
- Tang, Y., Huang, Y., Li, M., Zhu, W., Zhang, W., Luo, S., Zhang, Y., Ma, J., & Jiang, Y. (2024). Balancing Maillard reaction products formation and antioxidant activities for improved sensory quality and health benefit properties of pan baked buns.

- Torres Jiménez, A. M., Chambi Rodríguez, A. D., & Quenta, D. S. (2020). Elaboración de Nuggets a base de gluten y harinas andinas de la región de Puno. *Acta Nova*, 9(5–6), 669–685.
- Turk Aslan, S., & Isik, F. (2022). Effects of pseudocereal flours addition on chemical and physical properties of gluten-free crackers. *Food Science and Technology*, 42, e52521. <https://doi.org/10.1590/FST.52521>
- Vidaurre-Ruiz, J. M., Salas-Valerio, W. F., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinoa (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 5-14. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.441>
- Wang, X., Lao, X., Bao, Y., Guan, X., & Li, C. (2021). Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and in vitro starch digestibility of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 119, 106840. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106840>
- Yurivilca Vargas, R. J. (2023). Desarrollo de muffins libres de gluten fortificados con hierro a base de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú). Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/0b859fab-9d6c-4672-bb93-1e706625b2cb>

ANEXOS



Anexo 1. Recepción de las harinas (trigo, quinua, amaranto)



Anexo 2. Análisis de humedad de las harinas



Anexo 3. Elaboración de los muffins (T1, T2 y control)



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA



HOJA DE CATA

Nombre: _____ **Fecha:** _____

Instrucciones:

- A continuación, se presentará frente a usted 2 diferentes muestras de muffins.
- Sirvase, deguste las diferentes muestras.
- Marque con un X el parámetro al cual corresponda la respuesta de su preferencia.

Parámetros		MUESTRAS		
		SH29	ES11	CONTROL
APARIENCIA	No me gusta			
	Ni me gusta ni me disgusta			
	Me gusta			
COLOR	No me gusta			
	Ni me gusta ni me disgusta			
	Me gusta			
OLOR	No me gusta			
	Ni me gusta ni me disgusta			
	Me gusta			
SABOR	No me gusta			
	Ni me gusta ni me disgusta			
	Me gusta			
ACEPTABILIDAD	No me gusta			
	Ni me gusta ni me disgusta			
	Me gusta			

Observaciones: _____

Anexo 4. Hoja de cata para 25 panelistas



Anexo 5. Catación de los muffins (T1, T2 y control)



Anexo 6. Humedad de los muffins de mayor aceptación



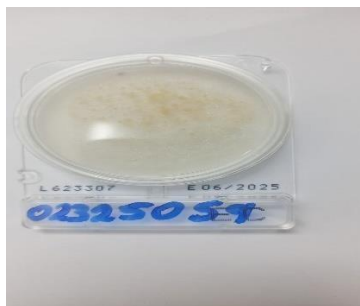
Anexo 7. Análisis de los muffins (T1, T2 y control)



Anexo 8. Análisis de *Salmonella*.



Anexo 9. Análisis de coliformes



Anexo 10. Análisis de *E.coli*



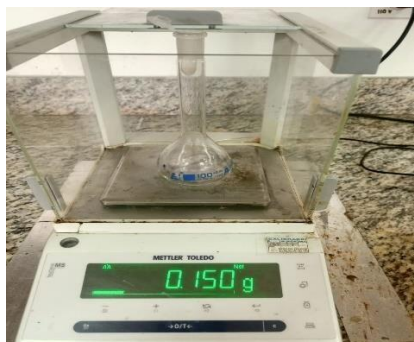
Anexo 11. Almacenamiento de los muffins en el ultra congelador



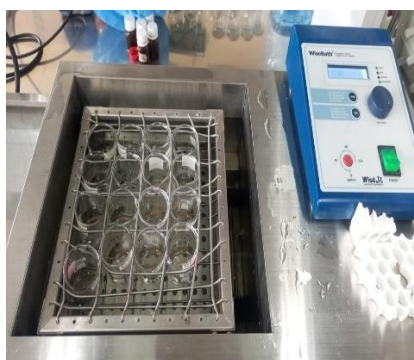
Anexo 12. Liofilización de las muestras



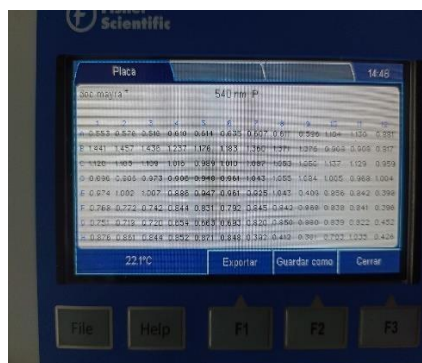
Anexo 13. Desengrasado de las muestras



Anexo 14. Preparación de buffers



Anexo 15. Baño maría con agitación constante



Anexo 16. Análisis de absorbancia

GLUCOSA		Control pan blanco (CPB)					
F. dilución		R1			R2		
t0	1	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076
t1	1	0,979	1,068	1,025	1,089	1,036	1,208
t2	1	1,344	1,384	1,364	1,050	1,050	1,054
t3	2	1,163	1,192	1,182	1,247	1,276	1,310
t4	2	1,255	1,214	1,293	1,278	1,249	1,257
t5	3	1,379	1,315	1,160	1,243	1,266	1,215
t6	3	1,058	1,176	1,137	1,369	1,418	1,335

Anexo 17. Datos de glucosa del pan blanco

Muffin control (M1)					
R1			R2		
0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
0,392	0,396	0,369	0,462	0,450	0,414
0,614	0,608	0,611	0,507	0,477	0,492
0,539	0,582	0,530	0,619	0,546	0,559
0,631	0,626	0,638	0,475	0,506	0,508
0,628	0,710	0,664	0,427	0,325	0,366
0,628	0,572	0,597	0,517	0,602	0,479

Anexo 18. Datos de glucosa de los muffins 100% trigo

Tratamiento 2 (M2)					
R1			R2		
0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
0,297	0,294	0,313	0,229	0,206	0,207
0,348	0,338	0,343	0,335	0,337	0,336
0,309	0,282	0,336	0,451	0,371	0,408
0,427	0,398	0,455	0,331	0,352	0,311
0,368	0,373	0,363	0,399	0,425	0,381
0,453	0,402	0,386	0,415	0,317	0,361

Anexo 19. Datos de glucosa de los muffins (50% trigo, 25% amaranto y 25% quinua)

ALMIDÓN HIDR.	Control pan blanco (CPB)				AT	1,575
	R1				R2	
t0	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
t1	0,881	0,962	0,922	0,980	0,932	1,087
t2	1,210	1,246	1,228	0,945	0,945	0,948
t3	1,047	1,073	1,064	1,122	1,148	1,179
t4	1,130	1,093	1,164	1,150	1,124	1,131
t5	1,241	1,183	1,044	1,119	1,139	1,093
t6	0,952	1,058	1,024	1,232	1,276	1,202

Anexo 20. Datos del almidón hidrolizado pan blanco

Muffin control (M1)				AT	1,108
R1				R2	
0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
0,353	0,357	0,332	0,416	0,405	0,373
0,553	0,547	0,550	0,456	0,429	0,443
0,485	0,523	0,477	0,557	0,491	0,503
0,568	0,564	0,574	0,428	0,456	0,457
0,565	0,639	0,598	0,385	0,292	0,329
0,565	0,514	0,538	0,466	0,542	0,431

Anexo 21. Datos del almidón hidrolizado muffin (100% trigo)

Tratamiento 2 (M2)				AT	0,987
R1				R2	
0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
0,267	0,265	0,282	0,206	0,185	0,186
0,313	0,304	0,309	0,301	0,303	0,303
0,278	0,253	0,303	0,406	0,334	0,368
0,385	0,358	0,409	0,298	0,317	0,280
0,331	0,336	0,327	0,359	0,382	0,343
0,408	0,362	0,348	0,373	0,285	0,325

Anexo 21. Datos del almidón hidrolizado T2 (50% trigo, 25% amaranto y 25% quinua)