

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Evaluación de la biodisponibilidad de hierro en galletas libres de gluten sustituidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de maíz (*Zea mayz l.*) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*)

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniera Agroindustrial

Presentado por:
Bach. Katy Betzabe Aedo Arango

Asesor:
Ing. Saúl Ricardo Chuqui Diestra

Ayacucho - Perú

2023

Dedicatoria.

A Dios por haberme dado la vida, iluminar mi camino y la fortaleza que me permite lograr mis objetivos, además de sus infinitas bendiciones.

A mis padres, Juan de la Cruz Aedo Pareja (Q.E.P.D) e Ida Arango Castro, que con su amor infinito y su apoyo incondicional son la motivación para lograr cada uno de mis objetivos. Gracias Mamá por estar siempre ahí cuando más te necesitaba, los amo infinitamente.

A mis hermanos Giovana, Renzo y Yashin por apoyarme constantemente para la culminación de una etapa más en mi vida.

Al M.Sc William Johnny Huamanchumo Prado, por su apoyo incondicional, paciencia y motivación para la culminación de este trabajo de investigación.

Agradecimiento.

A mi alma mater, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por abrirme las puertas e impulsar el conocimiento, valores, principios y ética para mi formación profesional.

A mi asesor Mg. Saúl Ricardo Chuqui Diestra y demás docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por aportar sus conocimientos y experiencias que fueron base importante para mi formación profesional.

A todas las personas que, de alguna forma, contribuyeron para la realización de este trabajo de investigación.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la biodisponibilidad del hierro en galletas libres de gluten sustituida con harina de maíz (*Zea mays*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*) con alta aceptabilidad sensorial, a través del método “*in vivo*” en ratas Holtzman.

Se evaluaron sensorialmente 11 tratamientos obtenidas por el Diseño de Mezclas de vértices extremos del programa estadístico Minitab V.18, con diferentes combinaciones de los tres componentes de la matriz variable: harina de maíz (HM), harina de quinua (HQ) y cushuro en polvo (CP), para determinar la de mayor aceptabilidad sensorial.

Se suministró el tratamiento T11 (9,2%CP, 11,4%HQ y 11,4%HM) durante 28 días a 8 ratas Holtzman sin anemia. Cada animal fue colocado en jaulas metabólicas para medir el consumo de alimentos y la eliminación de excretas (heces y orinas).

Asimismo, la biodisponibilidad del hierro fue calculada a partir del balance metabólico (BM), el coeficiente de digestibilidad (CD) y el porcentaje de retención de hierro (RF). El resultado promedio fue un balance negativo; sin embargo 02 ratones mostraron un balance positivo de 1.50% - 5.06%, en los indicadores respectivamente.

Por lo tanto, la biodisponibilidad de hierro en la galleta libre de gluten fue mínima; sin embargo, el producto presentó un buen valor nutritivo y fue libre de gluten.

Palabras claves: Biodisponibilidad de hierro, galletas, gluten free, pseudocereales, cushuro.

Abstract

The aim of the present investigation was to evaluate the bioavailability of iron in a gluten-free biscuit formulation substituted with maize flour (*Zea mays*), quinoa flour (*Chenopodium quinoa*) and cushuro powder (*Nostoc sphaericum*) with high sensory acceptability, through the "in vivo" method in Holtzman mice.

Eleven treatments obtained by the Extreme Vertex Mixture Design of the statistical programme Minitab V.18, with different combinations of three components: maize flour (HM), quinoa flour (HQ) and cushuro powder (CP), were sensorially evaluated to determine the one with the highest sensory acceptability.

The T11 treatment (9.2%CP, 11.4%HQ and 11.4%HM) was fed for 28 days to 8 Holtzman rats without anaemia. Each animal was placed in metabolic cages to measure food consumption and excreta elimination (faeces and urine). Iron bioavailability was calculated from the metabolic balance (MB), digestibility coefficient (DC) and percentage iron retention (IR). The average result was a negative balance; however, 02 mice showed a positive balance in the indicators respectively.

Therefore, the bioavailability of iron in the biscuit was minimal; however, the product presented a good nutritional value and was gluten-free.

Key words: Iron bioavailability, cookies, gluten free, pseudocereals, cushuro.

Índice:

I	INTRODUCCIÓN	1
II	MARCO TEÓRICO	3
2.1	MAÍZ (<i>ZEA MAYS, L.</i>).....	3
2.1.1	Generalidades	3
2.1.2	Origen:.....	3
2.1.3	Clasificación taxonómica:.....	3
2.1.4	Composición nutricional:	3
2.1.5	Usos y aplicaciones:	4
2.1.6	Harina de maíz	4
2.1.7	Composición nutricional de harina de maíz.....	5
2.2	PSEUDOCEREALES.....	5
2.2.1	La quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>)	6
2.2.2	Harina de quinua.....	7
2.2.3	El amaranto (<i>Amaranthus caudatus L.</i>).....	8
2.3	MICROALGAS.....	10
2.3.1	Cushuro (<i>Nostoc Sphaericum</i>).....	10
2.3.2	Cushuro deshidratado.....	12
2.3.3	Espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).	13
2.3.4	Espirulina deshidratada.....	14
2.4	GALLETAS.	15
2.5	METABOLISMO DE LOS MACRONUTRIENTES DEL HIERRO	16
2.5.1	Absorción.....	17
2.5.2	Transporte	17
2.5.3	Captación celular.	18
2.5.4	Almacenamiento.	18
2.5.5	Excreción.....	19
2.6	BIODISPONIBILIDAD DEL HIERRO.....	19
2.7	ANÁLISIS SENSORIAL.	20
2.7.1	Pruebas de preferencia.....	21
2.7.2	La prueba de aceptabilidad.....	21
2.8	DISEÑO DE MEZCLAS.	22
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1	MATERIALES Y LUGAR DE EJECUCIÓN	25
3.1.1	Lugar de ejecución.....	25
3.1.2	Materia prima e insumos. Ver anexo 1.....	25

3.1.3	Equipos e instrumentos.....	25
3.1.4	Materiales de laboratorio.....	26
3.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.2.1	Etapa 1: Formulación.....	27
3.2.2	Etapa 2: Proceso de elaboración.	31
3.2.3	Etapa 3: Evaluación de la aceptabilidad de las galletas.	32
3.2.4	Etapa 4: Determinación de hierro y evaluación de su biodisponibilidad; análisis químico proximal y determinación de gluten.	33
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES:.....	36
4.1	Determinación del nivel óptimo de sustitución por diseño de mezclas de harina de maíz, harina de quinua y cushuro en polvo.	36
4.2	Evaluación del análisis sensorial (prueba de aceptabilidad).....	39
4.3	Análisis de macronutrientes, determinación de hierro y la evaluación de la biodisponibilidad; en la galleta con mayor aceptabilidad.	46
4.3.1	Macronutrientes:.....	46
4.3.2	Determinación de hierro.....	47
4.3.3	Evaluación “in vivo” de la biodisponibilidad de hierro en la galleta con mayor aceptabilidad.	48
4.3.4	Evaluación de presencia de gluten en la galleta con mayor aceptabilidad. .	49
V	CONCLUSIONES:.....	51
VI	RECOMENDACIONES:.....	52
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	53
VIII	LISTA DE ABREVIATURAS:	59
IX	GLOSARIO:.....	60
X	ANEXOS:.....	61
10.1	Anexo 1. Panel fotográfico de los ingredientes utilizados en la elaboración de las galletas:	61
10.2	Anexo 2. Panel fotográfico de la elaboración de las galletas.....	62
10.3	Anexo 3: Panel fotográfico del análisis sensorial hedónico.	63
10.4	Anexo 4. ficha de análisis sensorial	65
10.5	Anexo 5. Resultados del análisis sensorial.	66
10.6	Anexo 6. Anova para el atributo color para los 10 tratamientos.....	67
10.7	Anexo 7. Anova y tukey para el atributo olor para los 10 tratamientos.	68
10.8	Anexo 8. Anova y tukey para el atributo sabor para los 10 tratamientos.	70
10.9	Anexo 9. Anova y tukey para el atributo textura para los 10 tratamientos. ..	72
10.10	Anexo 10. Informe de ensayo de análisis proximal de la galleta ganadora.	73
10.11	Anexo 11. Procedimiento para evaluar la biodisponibilidad de hierro.....	75

10.12	Anexo 12. Informe de análisis de hierro en tratamiento ganador y dieta experimental.	76
10.13	Anexo 13. Informe de análisis de hierro en heces de roedores.	77
10.14	Anexo 14. Informe de análisis de hierro en orina de roedores.	78
10.15	Anexo 15. Instructivo de prueba de gluten.	79
10.16	Anexo 16. Panel fotográfico de la determinación del contenido de gluten. ...	80

Lista de tablas

Tabla 1 Composición nutricional del maíz	4
Tabla 2 Composición nutricional de harina de maíz.	5
Tabla 3 Composición nutricional de la quinua.	7
Tabla 4 Composición nutricional de la harina de quinua.....	8
Tabla 5 Composición nutricional del amaranto.	9
Tabla 6 Composición nutricional del cushuro.	11
Tabla 7 Composición nutricional del cushuro deshidratado.	12
Tabla 8 Composición nutricional de espirulina fresca.	14
Tabla 9 Composición nutricional de la espirulina deshidratada.	15
Tabla 10 Formulación base de una galleta con incorporación de espirulina en polvo.	27
Tabla 11 Sustitución total de harina de trigo por otros ingredientes en la formulación base de una galleta.	27
Tabla 12 Tratamientos para la matriz variable.	28
Tabla 13 Tratamientos para la matriz variable en base a la harina.	29
Tabla 14 Formulación de los 11 tratamientos para la preparación de galletas con sustitución total de harina de trigo por HM, HQ y CP.	30
Tabla 15 Porcentaje de matriz fija y matriz variable.	36
Tabla 16 Valor porcentual de los ingredientes para cada tratamiento.	37
Tabla 17 Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo color.	39
Tabla 18 Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo olor.	41
Tabla 19 Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo sabor. ...	42
Tabla 20 Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo textura. .	44
Tabla 21 Balance teórico de nutrientes para el tratamiento T10 y T11.	45
Tabla 22 Análisis proximal del tratamiento ganador.	46
Tabla 23 Cantidad ingerida, excretada, balance metabólico, coeficiente de digestibilidad y porcentaje de retención de hierro respectivamente de la dieta ($X \pm DE$).	48
Tabla 24 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color.	67
Tabla 25 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo olor.	68
Tabla 26 Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.	68
Tabla 27 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor.	70
Tabla 28 Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.	70
Tabla 29 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo textura.	72
Tabla 30 Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.	72
Tabla 31 Composición de la dieta experimental.	75

Lista de figuras

Figura 1 Metabolismo del hierro	17
Figura 2 Diagrama de flujo de la elaboración de galletas con sabor a chocolate....	31
Figura 3 Muestra de los 10 tratamientos después del horneado.....	38
Figura 4 Gráfica de medias del color por tratamiento.	40
Figura 5 Gráfica de medias del olor por tratamiento.	41
Figura 6 Gráfica de medias del sabor por tratamiento.	43
Figura 7 Gráfica de medias de la textura por tratamiento.	44

I INTRODUCCIÓN

En el 2015, los líderes mundiales adoptaron, la agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El objetivo N° 2 es “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” y el objetivo N° 3 es “Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades” (ONU, 2015).

El Codex Alimentarius (2019), indica que la población mundial padece ciertas reacciones adversas por el consumo de algunos alimentos, como alergia (relacionado al sistema inmunitario), intolerancia (no relacionado al sistema inmunitario) o una enfermedad autoinmune (enfermedad celíaca en el caso del gluten). Respecto al consumo de gluten, se determinaron tres posibles trastornos: alergia al trigo, enfermedad celíaca (EC) y sensibilidad al gluten no celíaca (Elli et al., 2017).

Durante la pandemia de COVID-19, existió un aumento en la demanda de alimentos saludables, particularmente productos de panadería sin gluten, lo que respaldó el crecimiento de esta industria (Grand View Research, 2022). Asimismo, la prevalencia de la EC se sitúa respecto al 1% de la población mundial y de 1,2% de la población peruana (Baldera et al., 2020; Jiménez Ortega et al., 2016). La celiaquía es una enfermedad autoinmune que presenta síntomas gastrointestinales y manifestaciones extraintestinales, como la anemia y la osteoporosis (Elli et al., 2019; Leonard et al., 2017); siendo la mejor alternativa para esta población que lleve una dieta libre de gluten y consumir alimentos con excelente contenido nutricional.

Actualmente, la industria alimentaria viene utilizando a los pseudocereales como el amaranto y la quinua, por su alto valor nutritivo y ser libres de gluten, en la formulación de alimentos que forman parte en la dieta de las personas que no toleran el gluten. Asimismo, las microalgas se vienen utilizando en la formulación de diferentes alimentos para mejorar su valor nutritivo (Huamanchumo, 2020; Pérez-Lloréns, 2020; Woomeer & Adedeji, 2021).

En la presente investigación, se elaboró una galleta libre de gluten con buena aceptabilidad, mediante la sustitución de harina de trigo por diferentes proporciones de harina de maíz, quinua y cushuro en polvo, empleando la metodología del diseño de mezclas con vértices extremos, a través del programa estadístico Minitab V.18.

Por tanto, el objetivo principal es determinar la cantidad de hierro y evaluar su biodisponibilidad en una galleta elaborada con materias primas libres de gluten, como el maíz (*Zea mays*), la quinua (*Chenopodium quinoa*) y el cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*); y los objetivos específicos son:

- Formular mediante la optimización de mezclas y elaborar galletas con distintos porcentajes (%) de harinas de maíz, quinua y cushuro en polvo.
- Realizar el análisis sensorial de las diferentes formulaciones para determinar la galleta con mayor aceptabilidad.
- Realizar análisis de macronutrientes y calcular el valor nutritivo de la galleta con mayor aceptabilidad.
- Evaluar la presencia de gluten en la galleta con mayor aceptabilidad de forma semicuantitativa.

II MARCO TEÓRICO

2.1 MAÍZ (*ZEA MAYS, L.*)

2.1.1 Generalidades

El maíz (*Zea mays, L.*) se encuentra dentro de los cultivos más importantes del mundo. Debido a que posee diversas razas y variedades, este cereal puede crecer desde el nivel del mar en la región Chala y Yunga marítima (maíz duro y el maíz híbrido), utilizados mayormente en la alimentación de aves; la zona quechua sin presencia de heladas es idóneo para el crecimiento del maíz amiláceo, utilizado para el consumo humano. Alrededor del lago Titicaca existen cultivos de maíz, con una planta y mazorca de pequeño tamaño y de rendimientos bajos (Tapia & Fries, 2007).

2.1.2 Origen:

El maíz (*Zea mays L.*) se originó en América, este grano andino es uno de los aportes más valiosos para la seguridad alimentaria del mundo junto con el arroz y el trigo, debido a que son los granos más cultivados mundialmente. Históricamente fue la base alimenticia de las civilizaciones preincas como Chavín, Nazca, Paracas, Chimú y del imperio Incaico, así como de los Mayas en Guatemala y los Aztecas en México (Alderete, 2022).

2.1.3 Clasificación taxonómica:

El Centro Nacional para la Información Biotecnológica de los Estados Unidos (en inglés: National Center for Biotechnology Information [NCBI]), que forma parte de la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos (en inglés: National Library of Medicine [NLM]), define la clasificación taxonómica de diversos alimentos.

El NLM,(2009) detalla la siguiente clasificación taxonómica para el maíz:

- Reino: Viridiplantae
- Filo: Estreptofita
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Género: *Zea*
- Especie: *Zea mayz*

2.1.4 Composición nutricional:

La Central de Datos de Alimentos de los Estados Unidos (en inglés: Food Data Central, administrado por el servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura

de los Estados Unidos (en inglés: United States Department of Agriculture [USDA]), proporciona información nutricional de diferentes alimentos.

La composición nutricional del maíz se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Composición nutricional del maíz en grano.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	9,4
Grasas	4,7
Carbohidratos	74,3
Hierro (mg)	2,7

Nota. USDA (2019).

2.1.5 Usos y aplicaciones:

El maíz se utiliza en muchas formas a comparación de otros granos; su uso principal es como alimento humano, ya sea para uso doméstico o industrial; pienso para animales y diversos productos industriales tras su fermentación. El maíz tiene una gran variedad de usos, se utiliza como alimento en distintas fases de su desarrollo. Las mazorcas de maíz recolectadas antes de que la planta florezca se utilizan como verdura. Las mazorcas frescas de maíz dulce son un delicado manjar y se pueden comer de diversas maneras. En muchos países también se utilizan a gran escala las mazorcas verdes del maíz común, que se tuestan o hierven, o se comen en estado de pasta blanda. Las plantas de maíz que aún están verdes en el momento de la cosecha proporcionan un buen forraje. Este aspecto es importante debido a la creciente presión de las limitaciones de la tierra y a la necesidad de modelos de producción que produzcan más alimentos para una población en continuo crecimiento (Paliwal et al., 2001).

2.1.6 Harina de maíz

Es el producto triturado, obtenido de la molturación del grano de maíz, siendo la parte interna del grano, la mayor parte del grano (aproximadamente el 75% del peso total). Está constituida principalmente por almidón y un compuesto proteico llamado zeína. El grado de extracción, influye en la cantidad de nutrientes y determinará la proporción de nutrientes que contenga la harina obtenida por molienda. Así pues, cuantos más componentes se extraen, mayor es la cantidad de componentes de la envoltura del grano, como minerales, vitaminas y fibra, que aumenta con el nivel de separación. Eliminando las cáscaras exteriores y el germen del grano, se puede producir harina de maíz, aunque incluye muy poca vitamina B1 y minerales (Mera, 2015).

2.1.7 Composición nutricional de harina de maíz

La composición nutricional de la harina de maíz se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Composición nutricional de harina de maíz.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	5,6
Grasas	1,4
Carbohidratos	82,8
Fibra dietética	1,9
Hierro (mg)	0,9

Nota. USDA (2019)

2.2 PSEUDOCEREALES.

Los pseudocereales se encuentran dentro de los alimentos subexplotados, los cuales son alimentos que formaron parte de la dieta de las poblaciones antiguas y que fueron desplazados por alimentos que forman parte de la dieta mundial actual. Los pseudocereales son plantas dicotiledóneas que no pertenecen a la familia de los cereales; pero se le atribuye el nombre de pseudocereal debido a que los granos y semillas de estos tienen usos y propiedades semejantes a los cereales, además presentan una textura, olor, sabor y contenido de almidón parecidos a los cereales. Los pseudocereales poseen una gran importancia en muchos aspectos, debido a su gran valor energético, las características agronómicas y tolerancia a condiciones adversas. Dentro de los pseudocereales, tenemos al amaranto, cañihua, quinua y trigo sarraceno (Chancahuaña, 2018).

Debido al alto valor nutritivo de los pseudocereales, la presencia de compuestos activos y el bajo contenido de prolaminas permiten elaborar productos sin gluten y mejorar la calidad, además pueden incorporarse a la dieta de las personas celíacas o intolerantes al gluten. En la actualidad son utilizados para fabricar productos sin gluten como cerveza, galletas, pan y pasta; sin embargo, la disponibilidad de estos pseudocereales para la elaboración de productos libres de gluten aún es limitada debido a factores del tipo agronómicos (producción), económicos (elevado costo), sociales y tecnológicos (Huamanchumo, 2020).

2.2.1 La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*)

2.2.1.1 Generalidades:

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Es considerada como uno de los alimentos más nutritivos a nivel mundial, inclusive, se encuentra dentro de la lista de alimentos que la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el espacio en inglés National Aeronautics and Space Administration) brinda a sus astronautas en condiciones de aislamiento (Capurro & Huerta, 2016).

La quinua, es el único alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas y no contiene gluten. Los aminoácidos esenciales se encuentran en el núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en la cáscara, como el arroz o trigo (FAO, 2011)

La forma más común de consumo en la cultura andina es como grano entero, la harina cruda o tostada, sémola y polvo instantáneo, que pueden ser consumidos en múltiples formas. De los granos enteros y de la harina se preparan casi todos los productos de la industria harinera; pudiendo añadirse hasta un 40% en pasta y pan, hasta un 60% en bizcochos y un 70% en galletas. La planta entera se utiliza para alimento de animales. La medicina popular les atribuye propiedades cicatrizantes, desinflamantes, analgésicas, para reparar fracturas, en hemorragias internas y como repelente de mosquitos; pudiendo usarse hojas, tallo y granos. Es muy interesante el uso de la saponina en el tratamiento del colesterol y la arteriosclerosis. Los productos elaborados a partir de este cereal pueden ser consumidos por personas celíacas. También puede usarse para la obtención de subproductos cosméticos, como champú y pasta dental, además de detergentes y pesticidas (Egea et al., 2015).

2.2.1.2 Origen

La quinua se cultiva hace 7000 años por culturas preincas e incas en los andes peruanos y bolivianos. Históricamente la quinua se ha cultivado desde el sur de Chile hasta el norte de Colombia hasta los 4.000 m.s.n.m., pero la mejor producción de granos de quinua se consigue desde los 2.500 hasta los 3.800 m.s.n.m. entre una temperatura media de 5 a 14°C y lluvias anuales entre 250 y 500 mm (Mujica & Jacobsen, 2006).

2.2.1.3 Clasificación taxonómica:

El NLM (2009), detalla la siguiente clasificación taxonómica para la quinua:

- Reino: Viriplantae.
- Filo: Estreptofita.
- Clase: Magnoliopsida.

- Orden: Cariófilos.
- Familia: Quenopodiáceas.
- Género: Quenopodio.
- Especie: *Chenopodium quinoa*.

2.2.1.4 Composición nutricional:

La composición nutricional de la quinua se muestra según Huamanchumo (2020), en la tabla 3.

Tabla 3

Composición nutricional de la quinua en grano.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	9,1 – 15,7
Grasas	4,9 – 6,8
Carbohidratos	48,5 – 77,0
Fibra dietética	8,8 – 14,1
Hierro (mg)	1,6 – 7,5

Nota. Huamanchumo (2020).

2.2.1.5 Usos y aplicaciones:

La quinua ha sido identificada como un alimento completo por su contribución global a las necesidades nutricionales humanas; supera los requisitos estándares y presenta compuestos de alto valor funcional, como polifenoles, fitoesteroles y flavonoides, que le confieren un valor no sólo nutricional, sino también terapéutico y farmacéutico. Desde el punto de vista de la formación de la calidad de los productos alimentarios modernos, sus excelentes propiedades, como la alta solubilidad de la harina en agua, la temperatura de gelificación adecuada para mantener las propiedades funcionales y su probada emulsificación, ofrecen un potencial técnico sin precedentes para el diseño de nuevos productos alimentarios. Asimismo, su contenido en ácidos grasos y sus elevadas propiedades protectoras debidas a su importante contenido en vitamina E lo convierten en un importante alimento para el consumo humano. (Vargas et al., 2019).

2.2.2 Harina de quinua

El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), en la Norma Técnica Peruana 011.451:2013 define a la harina de quinua como el “Producto obtenido de la molienda de los granos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) procesados (beneficiados), que han sido sometidos a un

proceso de trituración y molienda, reduciéndose a determinados grados de granulometría para los distintos usos a los que se destine” (INDECOPI, 2013).

2.2.2.1 Composición nutricional:

La composición nutricional de la harina de quinua se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Composición nutricional de la harina de quinua.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	12,4
Grasas	6,0
Carbohidratos	67,2
Fibra dietética	9,3
Hierro (mg)	9,7

Nota. Reyes et al. (2017).

2.2.3 El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.)

2.2.3.1 Generalidades:

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) está dentro de los vegetales con gran capacidad antioxidante y componentes bioactivos. El amaranto se considera como la cosecha dorada del futuro, pero el cultivo no recibe la atención que merece por parte de los investigadores (Das, 2016).

2.2.3.2 Origen:

El amaranto se originó en las tierras altas andinas de Argentina, Perú y Bolivia; se cultiva desde México hasta el norte de Argentina, este grano se cultiva en zonas libres de heladas, desde los 2000 a 3300 msnm en la zona agroecológica Quechua del Perú; a diferencia de la quinua que crece a diferentes climas y alturas, y de la cañihua que soporta climas fríos (Das, 2016).

2.2.3.3 Clasificación taxonómica:

El NLM (2009), detalla la siguiente clasificación taxonómica para el amaranto:

- Reino: Viridiplantae
- Filo: Estreptofita
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Cariófilos
- Familia: Amaranthaceae
- Género: Amaranto

- Especie: *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus acanthochiton*, *Amaranthus acutilóbus*, *Amaranthus anderssonii*.

2.2.3.4 Composición nutricional

La composición nutricional del amaranto se describe en la tabla 5.

Tabla 5

Composición nutricional del amaranto.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	13,6 – 21,0
Grasas	4,4 – 10,9
Carbohidratos	63,1 – 70,0
Fibra dietética	8,0 – 16,0
Hierro (mg)	7,3 – 7,6

Nota. Huamanchumo (2020).

2.2.3.5 Usos y aplicaciones:

El amaranto se considera uno de los pseudocereales más nutritivos y se consume principalmente de diversas formas, como en la elaboración de dulces sólidos a partir de sus semillas o en bebidas a base de la harina, la hoja como verdura, como forraje para el ganado y para obtener aceites y productos cosméticos (Matias et al., 2018).

El amaranto está disponible en dos tipos de almidón: aglutinante y no aglutinante. El almidón aglutinante se encuentra en diversos cereales como el arroz, el maíz, la cebada, el mijo y el sorgo, y es el más adecuado para la industria panadera. Por este motivo, puede utilizarse en la industria panadera, tanto para productos que necesitan expandirse como para productos que no. También puede utilizarse en una gran variedad de productos, como galletas, sopas, pasta, aperitivos, crepes, tostadas, tortillas, tortitas, cereales de desayuno, etc (Mapes, 2015).

Según Ocaña (2015), el amaranto es usado como semilla inflada en diversos platillos, y es excelente para balancear las dietas; las hojas son usadas en diversidad de guisos y ensaladas, y constituye una gran cantidad de vitaminas. También se le da un uso ornamental, donde la planta seca es usada en la elaboración de arreglos y por último como esquilmo donde se usa como forraje para animales, abono y elaboración de composta.

2.3 MICROALGAS

El primer uso de microalgas por parte de los humanos se remonta 2000 años a los chinos, que usaron *Nostoc* sobrevivir durante la hambruna. Sin embargo, la biotecnología de microalgas solo comenzó a desarrollarse realmente a mediados del siglo pasado (Spolaore et al., 2006).

La humanidad ha utilizado las algas para muchos fines, incluidos los productos alimenticios. El consumo de algas, o fitofagia, se desarrolló hace miles de años en muchas culturas de todo el mundo. Este hábito estaba relacionado principalmente con las macroalgas, ya que eran más fáciles de recolectar y manipular que las microalgas. Sin embargo, algunas especies de microalgas como *Arthrospira* spp. o *Nostoc* spp., también se han utilizado históricamente como alimento básico, desde América del Sur hasta Asia (Pérez-Lloréns, 2020).

En el Perú, principalmente en la región altoandina, se distribuyen gran variedad de ambientes acuáticos, especialmente lagos, lagunas, manantiales, charcos, ríos y riachuelos, en cuyas orillas húmedas se desarrollan y observan “natas” y cuerpos ovoides denominados microalgas, de diferente tamaño y morfología, de colores que varían entre el verde claro y verde oscuro. Una considerable proporción de estos pertenecen a la División Cyanophyta y constituyen parte importante del fitoplancton, responsable de la vida en el medio acuático y base fundamental de la pirámide alimenticia (Corpus-Gomez et al., 2021).

2.3.1 Cushuro (*Nostoc Sphaericum*).

2.3.1.1 Introducción

Comprende especies microscópicas en forma de filamentos rectos o curvos envueltos en una vaina mucilaginosa que, en conjunto, forman colonias macroscópicas esféricas con superficie lisa de color que varía del verde oscuro al verde claro. Se distribuye en aguas dulces, en el borde de lagunas, puquios, riachuelos, charcas y bofedales (Corpus-Gomez et al., 2021).

La cianobacteria *Nostoc* es frecuente tanto en hábitats terrestres como acuáticos. Se reconoce que *Nostoc* forma macrocolonias observables y alterna periódicamente entre un estado desecado y rehidratado en el medio natural (Dodds et al., 1995; Potts, 2000), sujeto a una variedad de factores estresantes, que incluyen la desecación, el calor, los rayos UV y la oxidación, durante la fase de secado (Dodds et al., 1995; Wada et al., 2013).

2.3.1.2 Definición

El cushuro (*Nostoc sphaericum*) está conformado por colonias de algas gelatinosas Cyanophyta del tipo *Nostoc sphaericum*, también conocidas como murmunta, cushuro, llullucha, crespito, nostoc, yurupa, uvas de río y cochayuyo, predominantes en las numerosas lagunas, arroyos, manantiales y en diversos ambientes acuáticos de la Cordillera de los Andes (Choque-Quispe et al., 2022).

En altitudes superiores a 3.000 msnm y hasta 5.000 msnm (en atmósferas pobres en oxígeno) logra su reproducción, incluso sobreviven en climas duros con temperaturas bajo cero (Ponce, 2014).

Algunas especies de *Nostoc* que son filamentosas, como *N. commune*, *N. sphaericum* y *N. pruniforme*, producen colonias llamativas que presentan una gran variedad de formas, tamaños, olores, texturas y colores; y pesar de ser principalmente terrestres, varias de ellas también pueden crecer en el agua (Pérez-Lloréns, 2020).

2.3.1.3 Taxonomía

El NLM (2009), define como la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: bacteria
- Filo: Cyanobacteria
- Orden: Nostocales
- Familia: Nostocaceae
- Género: *Nostoc*
- Especie: *N. calcicola*, *N. commune*, *N. cycadae*, *N. desertorum*, *N. edaphicum*, *N. ellipso sporum*, *N. entophytum*, *N. flagelliforme*, *N. indistinguenda*, *N. lichenoides*, *N. linckia*, *N. muscorum*, *N. paludosum*, *N. piscinale*, *N. punctiforme*, *N. sphaericum*, *N. trichormus*.

2.3.1.4 Composición nutricional

La composición nutricional del cushuro se describe según Fernández & Suyón (2018) en la tabla 6.

Tabla 6

Composición nutricional del cushuro fresco.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	0,71
Grasas	0,02
Carbohidratos	0,55

Fibra	0,15
Hierro (mg)	0,07

Nota. Fernández & Suyón (2018).

2.3.1.5 Usos y aplicaciones

El cushuro es un alimento muy adaptable que presenta un alto contenido de fibra, aminoácidos, proteínas, vitaminas e hidratos de carbono, y se utilizan en alimentos tradicionales como guisos, ensaladas, mermeladas hasta licores y ceviche (Choque-Quispe et al., 2022; Pérez-Lloréns, 2020).

En el día a día, su consumo en restaurantes se ha vuelto popular. A nivel mundial, existen restaurantes que ofrecen al público *Nostoc sphaericum*, conocido como cushuro, incluido en las preparaciones culinarias. Esta microalga puede ser incluida en diversos platos culinarios, así como se incluye otra microalga, ingrediente clave, en restaurantes españoles con tres estrellas Michelin como ingrediente clave (Pérez-Lloréns, 2020).

En el campo de la medicina, *Nostoc sphaericum* también es una rica fuente de compuestos antivirales, ejerciendo una actividad antiviral contra virus como el Herpes simplex tipo 2 (HSV-2), debido a la presencia de indolocarbazoles (Cohen, 1999).

2.3.2 Cushuro deshidratado

Es el producto obtenido por la eliminación del agua por medios artificiales y, en algunos casos, en combinación con el secado al sol. Este alimento contiene gran cantidad de nutrientes y puede ser usado como suplemento en diversas recetas como jugos y cremas, ofreciendo múltiples beneficios en la salud. Recientes estudios han demostrado que a través de un secado convectivo se puede obtener un producto con gran valor nutritivo y presencia de compuestos bioactivos (Corpus-Gomez et al., 2021; Fernández & Suyón, 2018).

2.3.2.1 Composición nutricional

La composición nutricional del cushuro deshidratado se describe en la tabla 7.

Tabla 7

Composición nutricional del cushuro deshidratado.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	29,0
Grasas	0,5
Carbohidratos	46,9
Fibra dietética	*

Hierro (mg)	83,6
-------------	------

Nota. *No se reportaron resultados. Reyes et al. (2017).

2.3.3 Espirulina (*Arthrospira platensis*).

2.3.3.1 Generalidades

La espirulina es la microalga más popular que se produce comercialmente y puede crecer con mucho éxito en criaderos y sistemas de cultivo acuático debido a que presenta una tasa de crecimiento elevada en comparación con otras plantas. Esta cianobacteria tiene potencial para convertirse en una importante fuente de energía renovable, ya que es fuente de varios compuestos que pueden utilizarse como materia prima para fabricar productos de alto valor, debido a que contiene entre el 56% y el 69% de su peso seco en proteínas, tiene todos los aminoácidos necesarios y satisface la definición de la FAO de proteína equiponderante; asimismo contiene diversas sustancias bioactivas, como vitaminas, minerales, carotenos, ácidos grasos vitales y antioxidantes, convirtiéndola en un potente instrumento para hacer frente al déficit mundial de proteínas y a la crisis alimentaria global (Alagawany et al., 2021).

2.3.3.2 Origen

Arthrospira platensis (AP), a veces conocida como "spirulina", es un tipo de cianobacteria con capacidades fotosintéticas distintivas. Esta cianobacteria filamentosas gram negativa o alga verdeazulada es fuente de ficocianinas (compuesto bioactivo natural) (Braune et al., 2021).

Arthrospira spp. se encuentra en lagos subtropicales y tropicales con pH y alcalinidad elevada de Sudamérica, Asia y África, lo que dificulta enormemente la supervivencia de otros microorganismos. *A. platensis* crece fácilmente en aguas ricas en salinidad (>29 g/L) y de alta alcalinidad (pH de 8,6 - 10,9); también puede encontrarse en otros entornos como marismas, suelo, fuentes termales y agua dulce (Alagawany et al., 2021).

2.3.3.3 Clasificación taxonómica

El NLM (2009b), define como la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: Bacteria
- Filo: Cyanobacteria
- Orden: Oscillatoriales
- Familia: Microcoleaceae
- Género: *Arthrospira*
- Especie: *A. platensis*

2.3.3.4 Composición nutricional

La composición nutricional de la espirulina fresca según Jung et al. (2019), se describe en la tabla 8.

Tabla 8

Composición nutricional de espirulina fresca.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	5,92
Grasas	0,39
Carbohidratos	2,42
Fibra dietética	0,40
Hierro (mg)	15,0 – 279,0

Nota. Jung et al. (2019).

2.3.3.5 Usos y aplicaciones:

Espirulina se utilizó en la formulación y fortificación de varios productos en la industria de alimentos para obtener productos funcionales. En la formulación de galletas se utilizó desde el 5 al 15%, en estos productos existieron mejoras nutricionales como incremento en la calidad proteica y aumento de los ácidos grasos, como omega-3, omega-6, omega-7 y omega-9. En la formulación de pastas se agregó hasta el 4%, existiendo mejoras en el contenido nutricional, calidad sensorial y capacidades terapéuticas funcionales. En la formulación de helados se utilizó hasta un 5% obteniendo un aumento de la actividad antioxidante, cantidad de proteína y mejoras de atributos sensoriales. En productos lácteos como yogurt se agregó hasta el 1% p/p obteniendo un aumento del valor nutritivo y la mejora de las características sensoriales, así como mantener la viabilidad de las bacterias lácticas durante treinta días almacenado a refrigeración (Alfadhly et al., 2022).

Asimismo, es utilizada para la formulación de productos con efectos biológicos como la función neuroprotectora, antioxidante y anticancerígena y terapéuticos como la reducción de los niveles de azúcar en la sangre, la presión arterial, la disbiosis provocada por un desequilibrio de la flora intestinal, anticancerígeno, antioxidante, antibacteriano, antialérgico, antienvjecimiento, antiinflamatorio (Jung et al., 2019).

2.3.4 Espirulina deshidratada

Es el producto obtenido de la eliminación de la humedad por efecto del calor, que puede ser encontrado y comercializado en diferentes formas como polvo, cápsulas o tabletas. Estas presentaciones tienen gran acogida en varios continentes. Por su gran aporte nutricional es utilizado como ingrediente en la elaboración de varios productos

como snacks, sopas, concentrados proteicos, pasta, helado, leches saborizadas, galletas, salsas y otros. También es usado como suplemento brindando beneficios para la salud humana, incluyendo efectos probióticos, antioxidantes, antibacteriales, antivirales, anticancerígenos y antiinflamatorios (Bortolini et al., 2022).

2.3.4.1 Composición nutricional

La composición nutricional de la espirulina deshidratada se describe en la tabla 9.

Tabla 9

Composición nutricional de la espirulina deshidratada.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteínas	52,9 – 72,0
Grasas	1,3 – 8,0
Carbohidratos	13,2 – 25,0
Fibra	3,0 – 11,4
Hierro (mg)	58 – 180

Nota. Alfadhly et al. (2022).

2.4 GALLETAS.

La Norma Técnica Peruana 206.011:2016 define a las galletas como “productos obtenidos mediante el horneado apropiado de una masa (sólida o semisólida), de las figuras formadas del amasado de derivados del trigo u otras harinas sucedáneas, con otros ingredientes aptos para el consumo humano” (INDECOPI, 2016).

La elaboración de galletas incluye etapas de mezclado, amasado, reposado, laminado, cortado, horneado, enfriado y envasado. Se caracterizan por presentar alto contenido energético (400 - 490 Kcal/100g), siendo los carbohidratos, los componentes que se encuentran en mayor proporción y pueden contribuir con las raciones diarias del desayuno. Se pueden clasificar en galletas tipo María, tostadas y troqueladas; galletas craker y de aperitivo; barquillos con o sin relleno; pastas blandas y existen galletas tradicionales (García-Villanova & Guerra, 2010).

Las galletas son uno de los productos de panadería más consumidos, principalmente por su naturaleza lista para el consumo, su amplia variedad y su coste relativamente bajo. En las sociedades occidentales, el trigo es la principal fuente de harina para las galletas y, en consecuencia, la mayoría de las galletas de las sociedades occidentales contienen gluten. Cuando se prepara la masa para su uso en productos horneados, la adición de agua hace que la glutenina y la gliadina interaccionen para formar gluten.

Las proteínas del gluten proporcionan una función única y deseable en la mayoría de los productos horneados. Por ejemplo, las proteínas del gluten permiten la formación de una masa blanda y elástica que atrapa las burbujas de aire y, en última instancia, produce un pan blando. Encontrar un sustituto de la harina de trigo ha sido un reto para los investigadores alimentarios (Myers et al., 2022).

Actualmente, también se elaboran galletas libres de gluten, siendo la harina de arroz muy utilizada para estos fines, e incluso se utiliza junto con otras harinas, almidones, legumbres, pseudocereales y otros materiales vegetales para conseguir unas características óptimas de masa y calidad del producto horneado (Xu et al., 2020).

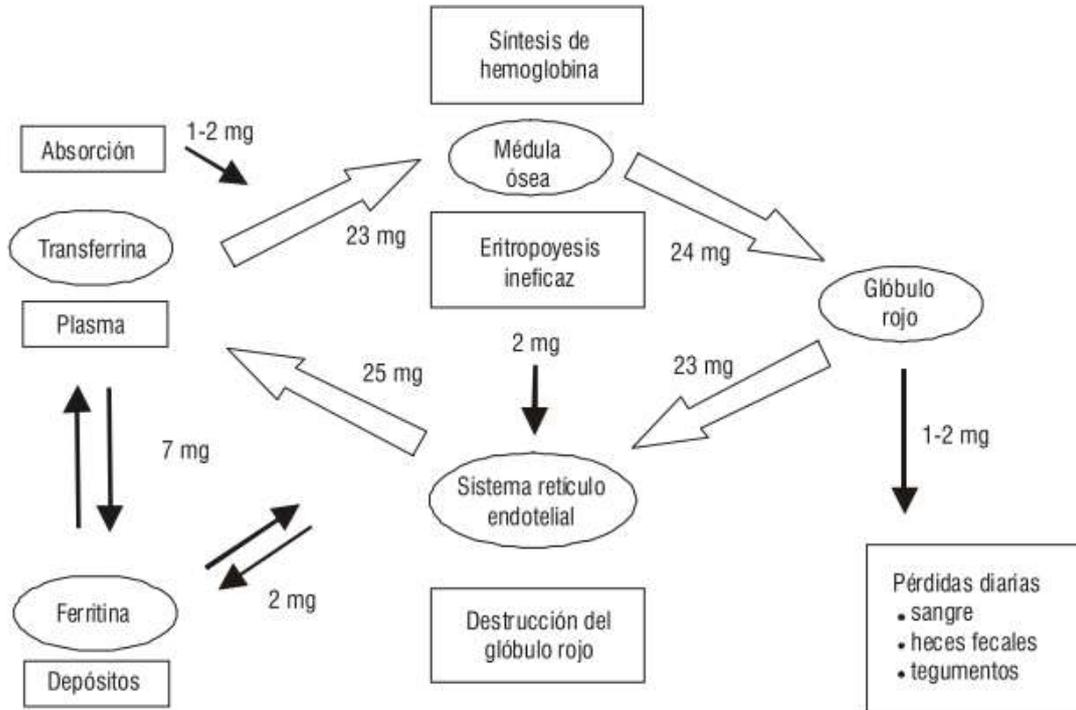
2.5 METABOLISMO DE LOS MACRONUTRIENTES DEL HIERRO

Es fundamental, conocer cómo se encuentra el hierro en los alimentos, ya que de esto dependerá el metabolismo de este mineral. En los alimentos de origen vegetal y en la mayoría de suplementos farmacéuticos se encuentra el hierro no hémico en forma de sales inorgánicas. A diferencia del hierro hémico, no está unido a un grupo hemo. En los alimentos de origen animal se encuentra el hierro hémico la cual forma parte de la hemoglobina, mioglobina, citocromos y otras proteínas. En estas proteínas, el hierro forma uniones coordinadas con un anillo orgánico complejo llamado protoporfirina, y una de las uniones está disponible para unirse a una molécula de oxígeno (Boccio et al., 2003).

El metabolismo del hierro aborda su absorción, su transporte, captación celular, almacenamiento y excreción, como se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Metabolismo del hierro



Nota. (Forrelat et al., 2000)

2.5.1 Absorción.

La absorción del hierro varía según el tipo y la cantidad de hierro en los alimentos, el estado de almacenamiento de hierro en el cuerpo y otros factores. El hierro inorgánico presente en los alimentos se convierte en una forma reducida llamada hierro ferroso en el estómago, que puede ser absorbida por las células de la mucosa intestinal. La transferrina en el citosol facilita la absorción del hierro inorgánico. El exceso de hierro que no puede ser transportado se almacena en forma de ferritina, y parte de él puede ser liberado en la circulación. Por otro lado, el hierro hemo presente en los alimentos de origen animal es absorbido en mayor medida que el hierro inorgánico. Después de que las proteasas descomponen la globina, el hierro hemo atraviesa la membrana celular en forma de metaloporfirina intacta. La hemoxigenasa libera el hierro del hemo en el citosol, y luego el hierro inorgánico entra en la sangre. La presencia de carne en la dieta facilita la absorción del hierro hemo. (Forrelat et al., 2000).

2.5.2 Transporte

El hierro es transportado en el cuerpo por una proteína llamada transferrina. La transferrina es sintetizada en el hígado y tiene la función de transportar el hierro liberado

por los macrófagos (células que destruyen los glóbulos rojos) o el hierro absorbido desde la mucosa intestinal, y hacerlo disponible para todos los tejidos que lo necesitan. Cuando todos los sitios de transporte de la transferrina están ocupados, se dice que está saturada, si toda la transferrina está saturada, el hierro que se absorbe no se fija y se deposita en el hígado. La mayoría del hierro transportado por la transferrina es captado por las células que producen los glóbulos rojos (células eritropoyéticas), mientras que el resto es utilizado por los tejidos para la síntesis de diferentes proteínas y enzimas que requieren hierro como cofactor, como los citocromos, la mioglobina y las peroxidasas (Forrelat et al., 2000).

2.5.3 Captación celular.

En todas las células y tejidos hay receptores específicos para la transferrina, que regulan la captación de hierro según las necesidades de la célula. Las células que producen los glóbulos rojos tienen la mayor concentración de receptores (80% del total en el cuerpo), ya que necesitan hierro para la síntesis de la hemoglobina. El receptor de transferrina juega un papel importante en el suministro de hierro a la célula. La afinidad del receptor por el complejo hierro-transferrina depende de la carga de hierro de la proteína y alcanza su máxima afinidad cuando la transferrina está en su forma diférrica. El complejo formado por el hierro, la transferrina y el receptor es llevado al interior de la célula mediante un proceso llamado endocitosis. El cambio de pH desde ligeramente alcalino en la sangre hasta ácido en las endosomas provoca la disociación del hierro de la transferrina. La transferrina se mantiene unida al receptor hasta que un cambio de pH opuesto cerca de la membrana provoca la separación del complejo y la liberación de la transferrina, que luego puede volver a unirse para captar y transportar hierro circulante. La liberación secuencial del hierro unido a la transferrina dentro de la célula ocurre mediante la acción del pH ácido del citosol para la primera molécula de hierro, mientras que la liberación de la segunda molécula de hierro requiere la presencia de ATP (Forrelat et al., 2000).

2.5.4 Almacenamiento.

Cuando tenemos demasiado hierro en nuestro cuerpo, se almacena en algunas células en forma de ferritina y hemosiderina. Se tratan de proteínas especiales que pueden contener muchos átomos de hierro. La ferritina tiene una estructura redonda y rodea los cristales de hierro, mientras que la hemosiderina es similar, pero es insoluble en agua. La ferritina está formada por diferentes partes llamadas subunidades, y cada una de ellas tiene un trabajo específico. Algunas subunidades ayudan a absorber el hierro rápidamente, mientras que otras promueven la formación de un núcleo de hierro en el

centro de la molécula. La ferritina garantiza que el hierro se almacene dentro de las células para usarlo más tarde en la producción de proteínas y enzimas. Cuando se necesita hierro, se libera rápidamente de las reservas y se convierte en una forma que puede ser transportada por una proteína llamada transferrina. La transferrina se encarga de distribuir el hierro a distintas partes del cuerpo (Forrelat et al., 2000).

2.5.5 Excreción.

La capacidad del organismo para eliminar hierro es limitada. Los hombres adultos pierden alrededor de 0,9-1,5 mg/día de hierro, lo que significa que cada día se pierden pequeñas cantidades. De estas pérdidas, aproximadamente 0,35 mg se excretan a través de las heces, 0,10 mg a través de la mucosa intestinal (ferritina), 0,20 mg a través de la bilis, 0,08 mg a través de la orina y 0,20 mg a través de la descamación de la piel. Para las mujeres en edad fértil, existe una pérdida adicional de hierro debida al sangrado menstrual, que aumenta la eliminación hasta al menos 1,6 mg/día. Los cambios en las reservas corporales de hierro tienen un efecto limitado sobre su eliminación. En caso de deficiencia de hierro, la pérdida diaria puede ser de 0,5 mg/día, mientras que en personas con sobrecarga de hierro la pérdida puede llegar a 1,5 mg/día. Aunque se dispone de poca información sobre lactantes y niños, se cree que las pérdidas a través del sistema digestivo pueden ser mayores en ellos que en los adultos. Algunos estudios sugieren que la pérdida media es de unos 2 mg/día en lactantes y de 5 mg/día en niños de 6 a 11 años. Otras causas importantes de pérdida de hierro son la donación de sangre y la infestación parasitaria (Forrelat et al., 2000).

2.6 BIODISPONIBILIDAD DEL HIERRO.

Los micronutrientes son los minerales y vitaminas que el cuerpo humano necesita en cantidades de miligramos o microgramos cada día. Un mineral esencial fácilmente accesible en los alimentos es el hierro (Fe). Las principales formas de hierro traza son la hemoglobina y la mioglobina, que se encuentran en la sangre y en el tejido muscular, respectivamente (Singh et al., 2016).

La absorción intestinal del hierro hemo sigue una ruta diferente a la del hierro no hemo, y las interacciones con otros componentes de la dieta tienen poco o ningún impacto en la absorción del hierro hemo; sin embargo, el hierro no hemo es la principal fuente de hierro, ya que el hierro hemo sólo constituye alrededor del 10-15% del hierro total de la dieta (Blanco-Rojo & Vaquero, 2019).

Un aspecto importante de la nutrición es la biodisponibilidad, que se describe típicamente como la porción de un nutriente que es accesible después de la ingestión

para su uso por el cuerpo. La estructura química de un nutriente en los alimentos, las formas de digerirlo y la existencia de potenciadores (como algunos aminoácidos) o inhibidores (como el ácido fítico y los taninos) afectan a su biodisponibilidad. Además, algunas variables específicas como la cantidad de un elemento en el organismo, la dieta consumida anteriormente, así como la edad, el sexo y el estado general de salud del consumidor, influyen en la eficacia con la que se absorbe un elemento de la dieta (Alegría-Torán et al., 2015; Koplík et al., 2011).

Para estudiar la biodisponibilidad se han utilizado técnicas tanto in vitro (condiciones estimuladas) como in vivo (con personas o animales) (Fairweather-Tait, 1987). Por tanto, el porcentaje de hierro consumido que es tomado por el intestino, utilizado a través de las rutas metabólicas regulares o retenido es la definición actual de biodisponibilidad del hierro (Aggett, 2010).

Sin embargo, los alimentos contienen una variedad de compuestos solubles e insolubles que pueden afectar a la biodisponibilidad de los minerales en el organismo y su asimilación, por tanto los cambios en la dieta pueden aumentar la absorción de micronutrientes y aumentar la biodisponibilidad (Singh et al., 2016).

2.7 ANÁLISIS SENSORIAL.

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria, y desde la infancia los seres humanos han aceptado o rechazado conscientemente los alimentos basándose en cómo se sienten al consumirlos. Como resultado, se han desarrollado criterios para la selección de alimentos que afectan a un aspecto de la calidad global de los alimentos, es decir, la calidad sensorial. La evaluación de la calidad sensorial se lleva a cabo mediante la disciplina científica del análisis sensorial, cuya herramienta de medición es el propio ser humano (Barcina, 2000).

En la actualidad, se dispone de métodos instrumentales físicos o químicos para medir cualidades de los alimentos como el color, la textura, el sabor, etc., que resultan muy útiles para el control rutinario en la industria alimentaria. Estos métodos se caracterizan por un efecto combinado sobre la calidad sensorial del producto, que puede ser definida como calidad sensorial, pero no se puede ignorar el hecho de que el éxito de un producto alimentario depende en última instancia de la respuesta totalmente subjetiva del consumidor, en definitiva, de la respuesta sensorial (Barcina, 2000).

En el análisis sensorial intervienen de un modo u otro, varias disciplinas. Entre ellas están la psicofisiología, que trata de explicar cómo se impresionan nuestros sentidos y cómo se interpretan y reaccionan en el cerebro; y la psicología, que traduce una técnica

aparentemente subjetiva en una herramienta de medición objetiva. Estadística, que ayuda a extraer conclusiones transformando y reduciendo la información total de los datos; y Sociología, que ayuda a interpretar los resultados depurados anteriores a la luz del perfil y los hábitos del grupo destinatario al que va dirigido el producto (Barcina, 2000).

Las pruebas utilizadas para evaluar la preferencia, aceptabilidad o grado en que gusta un producto son conocidas como pruebas orientadas al consumidor o pruebas cuantitativas de consumo, debido a que estas se llevan a cabo con jueces no entrenados.

Las pruebas de preferencia y las pruebas de aceptación son las más conocidas y pueden utilizarse indistintamente, pero son métodos diferentes. En las pruebas de preferencia, se pide a los consumidores que indiquen qué muestra prefieren. En cambio, en las pruebas de aceptación, se muestra el producto a los consumidores y se les pide que indiquen en una escala cuánto les gusta (Ramírez, 2012).

2.7.1 Pruebas de preferencia

Estas pruebas permiten a los consumidores elegir entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra a otra o si no tienen ninguna preferencia. La más sencilla dentro de las pruebas de preferencia es la prueba de preferencia pareada.

2.7.1.1 Prueba de preferencia por pares.

La comparación por pares fue probablemente el primer método formal desarrollado para evaluar la preferencia. En esta prueba, se pregunta a los panelistas cuál de dos muestras codificadas prefieren, y deben elegir una, aunque las dos muestras sean iguales para ellos. Ambas muestras se codifican con tres números aleatorios y se colocan en recipientes idénticos (Ramírez, 2012).

2.7.2 La prueba de aceptabilidad.

Las pruebas de aceptabilidad también se conocen como pruebas de nivel de agrado (hedónicas). Son un componente valioso y necesario de todos los programas sensoriales para determinar la aceptación de un producto por parte del consumidor y, dependiendo de su tipo, pueden medir cuánto gusta o disgusta un producto. Para determinar la aceptabilidad de un producto, pueden utilizarse pruebas de ordenamiento, escalas categorizadas, pruebas de comparación pareada entre otros. A continuación, se enumeran dos tipos de pruebas muy utilizadas.

2.7.2.1 Prueba de aceptabilidad por ordenamiento.

En esta prueba se pide a los panelistas que clasifiquen las muestras codificadas según su aceptabilidad. Normalmente, no se permitía colocar dos muestras en el mismo lugar. Para ello, se entregan a cada panelista tres o más muestras en el mismo recipiente, codificadas con un número aleatorio de tres cifras. Todas las muestras se presentan simultáneamente, en un orden balanceado o en un orden aleatorio (Ramírez, 2012)

2.7.2.2 Pruebas hedónicas

La escala más utilizada es la escala hedónica de nueve puntos, aunque existen algunas variaciones como las escalas de siete, cinco y tres puntos o la escala pictórica de caras sonrientes que se utiliza generalmente con los niños. Se trata de la prueba recomendada por la mayoría de los proyectos de investigación o de investigación estándar y su única finalidad es determinar si existen diferencias en la aceptación de distintos productos por parte de los consumidores. Los miembros del panel evalúan muestras codificadas de distintos productos, indicando cuánto les gusta cada muestra, marcando una categoría en la escala, que va desde "me gusta extremadamente" a "me disgusta extremadamente". Cabe señalar que la escala puede presentarse de forma gráfica, numérica o verbal, horizontal o vertical, y se utiliza para indicar las diferencias en el grado de agrado de los consumidores por un producto (Ramírez, 2012).

2.8 DISEÑO DE MEZCLAS.

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimientos sobre un sistema o proceso mediante pruebas planificadas adecuadamente. Este enfoque se ha integrado en un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería que permiten comprender mejor situaciones complejas, incluidas las relaciones causa-efecto (Gutiérrez & De la Vara, 2008)

Existen muchos diseños experimentales para estudiar el gran número de problemas o situaciones diferentes que se dan en la práctica. Tanto diseños hacen necesario saber elegir el más adecuado para una situación dada y, por tanto, es necesario entender cómo se realizan la clasificación de los diseños en función de sus objetivos y su alcance. Los cinco aspectos que más influyen en la elección del diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian suelen provocar un cambio en el diseño, son:

- El objetivo del experimento.
- El número de factores que deben estudiarse.
- El número de niveles que deben probarse para cada factor.
- El efecto (relación factor-respuesta) que se va a investigar.

- El costo, el tiempo y la precisión deseada del experimento.

Los objetivos del experimento se utilizaron como criterio general para clasificar el diseño experimental, mientras que los otros cuatro elementos ayudan a categorizar

En este sentido, en función de sus objetivos, y sin pretender ser exhaustivos, los diseños pueden clasificarse en:

- Diseños que comparan dos o más tratamientos.
- Diseños para estudiar el efecto de diversos factores en la reacción.
- Diseños para determinar el punto óptimo de funcionamiento del proceso.
- Diseños para la optimización de mezclas.
- Diseños para que los productos o procesos sean insensibles a factores incontrolables.

El diseño experimental con mezclas son diseños donde los componentes o ingredientes de las mezclas son los factores. Las variables de respuesta dependen de la proporción de sus componentes en la mezcla, más que de la cantidad de la mezcla.

Los objetivos de los experimentos de mezcla incluyen:

- Determinar qué componentes de una mezcla o sus interacciones tienen el mayor efecto sobre uno o varios de los componentes.
- Modelar las reacciones de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Utilice estos modelos para determinar qué porcentaje de cada ingrediente debe intervenir para conseguir las propiedades deseadas de la formulación. Cuando se planifican experimentos con mezclas, se toman decisiones sobre qué mezclas probar basándose en la comprensión del problema y los objetivos, de modo que se puedan analizar los resultados y responder a las preguntas. En otras palabras, no se trata de generar una receta que el experimentador tiene en mente y llevar a cabo una investigación de ensayo y error, sino de aplicar un método de planificación y análisis que garantice la obtención de conocimientos y soluciones.

Dentro del tipo de diseño de mezclas existen 4 tipos:

- Simplex reticular.
- Simplex con centroide.
- Mixto.
- Vértices extremos.

Se utiliza en los experimentos en los que el área experimental es un polígono irregular.

Los vértices de una región restringida se utilizan como base del diseño, junto con puntos entre el centroide global y el centroide de la región experimental (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES Y LUGAR DE EJECUCIÓN

3.1.1 Lugar de ejecución.

La formulación del presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Panificación de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Asimismo, la determinación de hierro y su biodisponibilidad, así como el análisis químico proximal del producto terminado se realizaron en el Laboratorio de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Agraria La Molina.

3.1.2 Materia prima e insumos. Ver anexo 1.

- Harina de maíz, marca Ethiquable (en adelante HM).
- Harina de quinua marca Wiraccocha (en adelante HQ).
- Harina de amaranto marca Wiraccocha.
- Cushuro en polvo marca la casa del cushuro (en adelante CP).
- Espirulina en polvo, marca Espirulina.
- Cacao en polvo, marca Wiraccocha.
- Azúcar impalpable, marca Umsha.
- Mantequilla, marca la danesa
- Agua potable.
- Lecitina de soya, marca Fitosana.
- Leche en polvo, marca Anchor.
- Sal, marca Emsal.
- Polvo de hornear, marca Royal.
- Esencia de chocolate, marca Fratello.

3.1.3 Equipos e instrumentos.

- Horno giratorio de panificación, marca ANLIN.
- Balanza analítica marca ADM, sensibilidad 0,001g
- Balanza de 5kg, marca Coretto.
- Rodillo.
- Moldes para galletas.
- Amasadora industrial de 25 kg.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Balanza analítica ADM con sensibilidad 0,01 g (para elaboración de galletas), capacidad máxima 220 g.

- Balanza analítica ADM con sensibilidad 0,0001 g (para análisis físicoquímicos), capacidad máxima 200 g.
- Campana desecadora.
- Equipo Kjeldahl.
- Equipo de Soxhlet.
- Estufa (103 +/- 2° C) (PCE Instruments).
- Mortero.
- Mufla.
- Potenciómetro digital.
- Jaulas metabólicas.

3.1.4 Materiales de laboratorio

- Probeta de 100 ml.
- Utensilio de uso doméstico.
- Mesa de acero inoxidable.
- Bagueta de Vidrio.
- Beakers.
- Pizeta.
- Crisol de Porcelana.
- Placas Petri.
- Espátula con mango de madera.
- Pipetas graduadas de 1, 2, 3 y 10 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 10, 50, 80, 100, 250 y 500 ml.
- Probetas de 100, 250 y 500 ml.
- Frasco de Vidrio Marca.
- Termómetro de -50/200 °C.
- Recipientes plásticos y jarra con medidas.

3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tuvo cuatro etapas. En la primera etapa se formularon las galletas mediante sustitución total de harina de trigo por harinas de maíz, quinua y cushuro en polvo, a través de la metodología de diseño de mezclas. En la segunda etapa se elaboraron las galletas. En la tercera etapa se realizó el análisis sensorial para determinar la galleta con buena aceptabilidad. En la cuarta etapa se determinó la cantidad de hierro, evaluó su biodisponibilidad, se realizó el análisis químico proximal y se determinó el contenido de gluten.

3.2.1 Etapa 1: Formulaci3n

3.2.1.1 Formulaci3n base para la galleta.

La tabla 10 muestra la formulaci3n modificada de las galletas que utiliz3 como f3rmula base lo descrito por Guti3rrez & Tello (2018).

Tabla 10

Formulaci3n base de una galleta con incorporaci3n de espirulina en polvo.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo	32,0
Harina de kiwicha	14,0
Espirulina en polvo	1,0
Az3car rubia	27,0
Mantequilla	12,9
Agua	6,0
Leche en polvo	5,4
Bicarbonato de sodio	1,0
Sal	0,4
Esencia de Vainilla	0,3

Nota. Guti3rrez & Tello (2018).

La tabla 11 indica el porcentaje (%) de cada uno de los ingredientes (matriz fija), as3 como los rangos m3nimos y m3ximos para HM, HQ y CP que sustituyeron al porcentaje (%) de la harina de trigo en la elaboraci3n de las galletas (matriz variable).

La matriz fija represent3 el 68% de la formulaci3n, siendo constante para todos los tratamientos; asimismo, la matriz variable represent3 el 32% de la formulaci3n y vari3 seg3n los tratamientos realizados.

Tabla 11

Sustituci3n total de harina de trigo por otros ingredientes en la formulaci3n base de una galleta.

Ingredientes	Porcentaje (%) *
Harina de kiwicha	14,0
Espirulina en polvo	1,0
Cacao en polvo	6,0
Az3car impalpable	20,0

Mantequilla	12,5
Agua	10,0
Lecitina de soya	0,30
Leche en polvo	3,0
Polvo de hornear	0,50
Sal	0,4
Esencia de chocolate	0,3
Matriz fija	68,0
Harina de maíz (HM)	5,0 – 20,0
Harina de quinua (HQ)	5,0 – 20,0
Cushuro en polvo (CP)	5,0 – 30,0
Matriz variable	32,0

Nota. (*) Porcentajes en base a la harina como 100%.

Para determinar los rangos máximos de las variables (HM y HQ) se utilizó como referencia la Tabla Composición Química Proximal de Sucedáneos del Trigo - Sustitución Parcial Fideos y Galletas (Reynoso, 1994; citado en Capurro & Huerta, 2016). Asimismo, para determinar los valores máximos del cushuro en polvo se utilizó como referencia lo indicado por (Defilippi, 2019).

3.2.1.2 Determinación de tratamientos.

Las proporciones adecuadas de HM, HQ Y CP se determinaron a través del diseño de mezclas de vértices extremos utilizando el programa estadístico Minitab versión 18. Se obtuvieron 11 tratamientos, con los rangos mínimos y máximos para HM, HQ y CP.

Las tablas 12, 13 y 14 muestran los porcentajes de sustitución de HM, HQ Y CP para los 11 tratamientos, considerando el porcentaje de la matriz variable (32%) y el porcentaje en base a la harina (100%), respectivamente.

Tabla 12

Tratamientos para la matriz variable.

Tratamientos	Cushuro en polvo (%)	Harina de quinua (%)	Harina de maíz (%)	Total (%)
1	5,00	20,00	7,00	32,00
2	22,00	5,00	5,00	32,00
3	5,00	7,00	20,00	32,00
4	7,00	5,00	20,00	32,00

5	7,00	20,00	5,00	32,00
6	5,00	13,50	13,50	32,00
7	14,50	5,00	12,50	32,00
8	14,50	12,50	5,00	32,00
9	6,00	20,00	6,00	32,00
10	6,00	6,00	20,00	32,00
11	9,20	11,40	11,40	32,00

Tabla 13

Tratamientos para la matriz variable en base a la harina.

Tratamientos	Cushuro en polvo (%)	Harina de quinua (%)	Harina de maíz (%)	Total
1	15,63	62,50	21,88	100,00
2	68,75	15,63	15,63	100,00
3	15,63	21,88	62,50	100,00
4	21,88	15,63	62,50	100,00
5	21,88	62,50	15,63	100,00
6	15,63	42,19	42,19	100,00
7	45,31	15,63	39,06	100,00
8	45,31	39,06	15,63	100,00
9	18,75	62,50	18,75	100,00
10	18,75	18,75	62,50	100,00
11	28,75	35,63	35,63	100,00

A continuación, se detallan los porcentajes de HM, HQ, CP y el resto de ingredientes para cada tratamiento, que fueron utilizados en la elaboración de las galletas para determinar su aceptabilidad

Tabla 14

Formulación de los 11 tratamientos para la preparación de galletas con sustitución total de harina de trigo por HM, HQ y CP.

Ingredientes	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		T9		T10		T11	
	(%)	peso (g)																				
Harina de cushuro	15,6	30,0	68,8	132,0	15,6	30,0	21,9	42,0	21,9	42,0	15,6	30,0	45,3	87,0	45,3	87,0	18,8	36,0	18,8	36,0	28,8	55,2
Harina de quinua	62,5	120,0	15,6	30,0	21,9	42,0	15,6	30,0	62,5	120,0	42,2	81,0	15,6	30,0	39,1	75,0	62,5	120,0	18,8	36,0	35,6	68,4
Harina de maíz	21,9	42,0	15,6	30,0	62,5	120,0	62,5	120,0	15,6	30,0	42,2	81,0	39,1	75,0	15,6	30,0	18,8	36,0	62,5	120,0	35,6	68,4
Harina de kiwicha	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0	14,0	84,0
Espirulina en polvo	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
Cacao en polvo	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0	6,0	36,0
Azúcar impalpable	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0	20,0	120,0
Mantequilla	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0	12,5	75,0
Agua	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0	10,0	60,0
Lecitina de soja	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8
Leche en polvo	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0	3,0	18,0
Polvo de hornear	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0	0,5	3,0
Sal	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4
Esencia de chocolate	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1,8
Total	168,0	600,0																				

Nota. Donde: T1, T2, T3. ...= Tratamientos

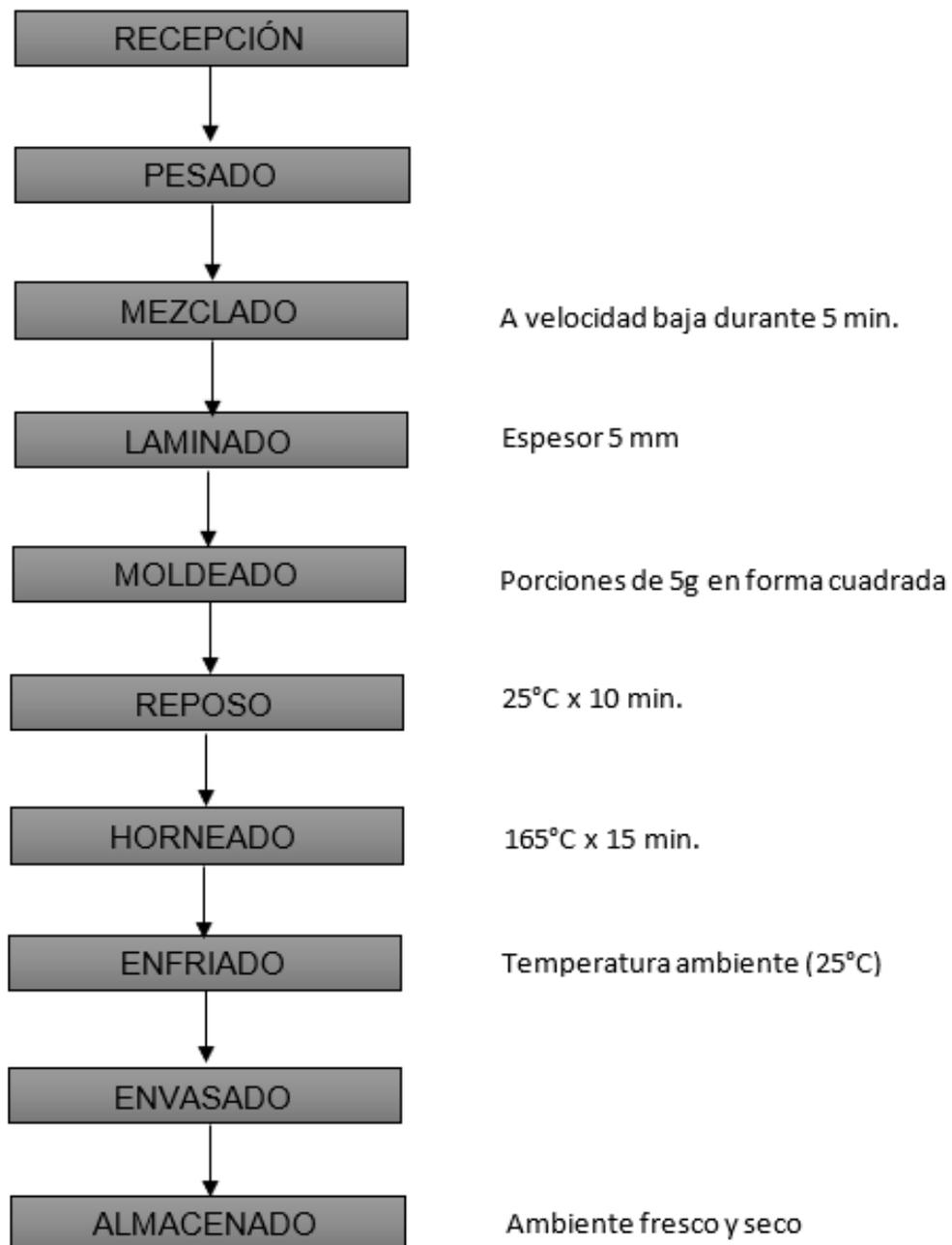
T1: 15,6% cushuro en polvo + 62,5% harina de quinua + 21,9% harina de maíz
T2: 68,8% cushuro en polvo + 15,6% harina de quinua + 15,6% harina de maíz
T3: 15,6% cushuro en polvo + 21,9% harina de quinua + 62,5% harina de maíz
T4: 21,9% cushuro en polvo + 15,6% harina de quinua + 62,5% harina de maíz
T5: 21,9% cushuro en polvo + 62,5% harina de quinua + 15,6% harina de maíz
T6: 15,6% cushuro en polvo + 42,2% harina de quinua + 42,2% harina de maíz
T7: 45,3% cushuro en polvo + 15,6% harina de quinua + 39,1% harina de maíz
T8: 45,3% cushuro en polvo + 39,1% harina de quinua + 15,6% harina de maíz
T9: 18,8% cushuro en polvo + 62,5% harina de quinua + 18,8% harina de maíz
T10: 18,8% cushuro en polvo + 18,8% harina de quinua + 62,5% harina de maíz
T11: 28,8% cushuro en polvo + 35,6% harina de quinua + 35,6% harina de maíz.

3.2.2 Etapa 2: Proceso de elaboración.

La elaboración de galletas utilizó el siguiente diagrama de flujo (figura 1), ver anexo 2.

Figura 2

Diagrama de flujo de la elaboración de galletas con sabor a chocolate.



Nota. Gutiérrez & Tello (2018).

A continuación, se describe las etapas del proceso:

- a) **Recepción:** los ingredientes y las materias primas se reciben y procede a verificar el lote y fecha de vencimiento.
- b) **Pesado:** los ingredientes y materias primas fueron pesados de acuerdo con las cantidades establecidas en la formulación general para cada tratamiento.
- c) **Mezclado:** los ingredientes y materias primas fueron combinados con la ayuda de una amasadora-sobadora en espiral.
- d) **Laminado:** la masa fue extendida con un rodillo hasta lograr un espesor aproximado de 5 mm
- e) **Moldeado:** la masa fue cortada en porciones de 5g. aproximadamente con moldes, luego fueron colocadas en una bandeja previamente cubierta con mantequilla y harina.
- f) **Reposo:** la masa cortada permaneció en reposo por 10 minutos a temperatura ambiente (25°C).
- g) **Horneado:** la masa reposada fue colocada en el horno rotatorio a 165°C por 15 minutos.
- h) **Enfriado:** las galletas permanecieron por 10 minutos a temperatura ambiente (25°C).
- i) **Envasado:** las galletas fueron envasadas en bolsas de polipropileno conteniendo 4 galletas por envase.
- j) **Almacenado:** las galletas fueron almacenadas en un ambiente fresco y seco.

3.2.3 Etapa 3: Evaluación de la aceptabilidad de las galletas.

La prueba de aceptabilidad evaluó atributos como el color, el olor, el sabor, y la textura con la participación de 30 jueces no entrenados (público en general), con edades comprendidas entre 24 a 45 años, ver anexo 3.

Los jueces no entrenados evaluaron la aceptabilidad de los tratamientos, utilizando la ficha de evaluación (Anexo 4), con la escala hedónica de 5 puntos, que va desde me disgusta mucho a me gusta mucho. Asimismo, los resultados de la prueba de aceptabilidad se muestran en el Anexo 5.

Luego, los resultados fueron tabulados y analizados, a través del análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Asimismo, se realizó prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre las medias de cada muestra.

3.2.4 Etapa 4: Determinación de hierro y evaluación de su biodisponibilidad; análisis químico proximal y determinación de gluten.

3.2.4.1 Análisis químico proximal: a continuación, se describe la metodología utilizada.

a) Determinación de proteína total.

Método oficial para proteína – AOAC (2005), 950.46. Se determinó el contenido proteico de las muestras estimando el nitrógeno total por el método de Kjeldahl.

b) Determinación de grasa.

Método oficial para grasa – AOAC (2005), 2003.05. Se calculó el contenido graso mediante la extracción realizada por el método Soxhlet.

c) Determinación de carbohidratos.

Método por diferencia. Se calculó el contenido por diferencia, al sumar los otros componentes y restar 100, el resultado obtenido es el contenido de carbohidratos (ELN).

d) Determinación de humedad

Determinación gravimétrica – AOAC (2005), 950.46. La muestra se secó en la estufa desecadora a 103 °C, hasta obtener peso constante; se calculó por diferencia de peso.

e) Determinación de cenizas.

Método directo – AOAC (2005), 942.05. La muestra se calcinó en la mufla; se calculó por diferencia de peso.

f) Determinación de fibra.

Método directo – AOAC (2005), 962.09. La muestra se digirió con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, se calcinó el residuo y comparó el peso final del calcinado con el peso inicial de la muestra.

3.2.4.2 Determinación de hierro

Método 985.35 – AOAC. La determinación de hierro se determinó por espectroscopía de absorción atómica (EAA). Adaptado de Official of Analysis 15th Edition (1990). A continuación, se describen los pasos:

- Preparación de la Muestra:

Se extrajo la muestra, se homogenizó y se pesó una muestra de 3 gramos luego se introdujo en una cápsula de porcelana la cual se cubrió con vidrio de reloj.

La cápsula que contenía la muestra se colocó en una placa eléctrica caliente y se precalentó a 100°C, después se aumentó la temperatura a 250° C con la finalidad de carbonizar la muestra.

Tras la carbonización, la cápsula fue transferida a un horno de mufla, a 550°C durante 8 horas, hasta formación de ceniza blanca.

-Preparación de la solución de muestra:

Una vez enfriada la ceniza blanca, se añadió 5 ml de ácido clorhídrico. A continuación, se colocaron las cápsulas en baño de maría y se calientan hasta que estén casi secas. A continuación, el residuo se volvió a disolver con 5 ml de ácido clorhídrico y se dejó reposar durante 5 minutos, se añadió agua desionizada para enfriar la solución y para llevar el volumen a 50mL.

-Construcción de la curva de calibración:

Se preparó soluciones patrón de concentraciones conocidas de hierro. Estas soluciones se utilizaron para construir una curva de calibración entre la concentración de hierro y la absorbancia.

-Medición de la muestra:

Se eligió una longitud de onda y con espectrofotómetro de absorción atómica se midió la cantidad de luz absorbida por el hierro en la muestra y se comparó con una solución patrón de hierro. Por último, utilizando la curva de calibración, se determinó la concentración de hierro en la muestra a partir de la absorbancia medida.

3.2.4.3 Biodisponibilidad de hierro

Se utilizó el método *in vivo*, según la metodología modificada de Díaz-Castro et al.,(2011). La cual consiste en dos etapas:

Etapa 1: Los animales de experimentación se eligieron utilizando pesos uniformes y se distribuyeron al azar en el grupo experimental. A continuación, se introdujeron en jaulas metabólicas separadas donde se les suministró 10 g. de la dieta experimental, la cual consistió en reformular al tratamiento ganador para que cubra el requerimiento calórico del animal y no afecte el contenido proteico, durante 28 días. Además, se realizaron controles diarios de consumo de alimento y de excretas (heces y orina), tomando en cuenta los datos recolectados en los últimos 7 días del ensayo. Se pesó a las ratas antes, durante y después de la prueba experimental para determinar el peso que habían ganado en total.

Etapa 2: A partir de la ingesta de hierro y la excreción de hierro en heces y orina, se calculó el balance metabólico del hierro (BM), el coeficiente de digestibilidad aparente

(CDA) y el porcentaje de retención de hierro (RF), que se emplearon para evaluar la biodisponibilidad del hierro. Las siguientes fórmulas fueron utilizadas para calcular los indicadores:

$$BM = Fe_{ingerido} - (Fe_{fecal} + Fe_{urinario})$$

$$CDA = \left(\frac{Fe_{ingerido} - Fe_{fecal}}{Fe_{ingerido}} \right) * 100$$

$$RF = \left[\frac{Fe_{ingerido} - (Fe_{fecal} + Fe_{urinario})}{Fe_{ingerido}} \right] * 100$$

Donde:

$Fe_{ingerido}$: Cantidad de hierro (g) proveído por la dieta

Fe_{fecal} : Cantidad de hierro (g) perdido por las heces.

$Fe_{urinario}$: Cantidad de hierro (g) perdido por la orina

3.2.4.4 Determinación de gluten

El gluten se determinó utilizando el Kit semicuantitativo GlutenTox® Pro. Este kit reconoce al péptido 33-mer, la porción del gluten que provoca la respuesta en los pacientes celíacos, el cual es reconocido por el anticuerpo G12, que se incluye en este kit.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES:

Después de desarrollar la metodología y basados en los datos de la información recopilada, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 Determinación del nivel óptimo de sustitución por diseño de mezclas de harina de maíz, harina de quinua y cushuro en polvo.

La fórmula base propuesta por Gutiérrez & Tello (2018), fue modificada mediante la adición y sustitución de algunos ingredientes, con la finalidad de mejorar las características sensoriales.

La proporción adecuada de la matriz variable, se determinó a través del Diseño de Mezclas de tipo vértices extremos del software estadístico MINITAB V. 18, el cual estableció 11 tratamientos con diferentes porcentajes (%) de sustitución.

La tabla 15 muestra a los ingredientes en dos grupos, la matriz fija que corresponde a los ingredientes con % definido y la matriz variable que corresponde a los ingredientes con porcentajes mínimos y máximos de HM, HQ y CP. Asimismo, la tabla 16 muestra el valor porcentual de cada ingrediente para cada tratamiento.

Tabla 15

Porcentaje de matriz fija y matriz variable.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de kiwicha	14,0
Espirulina en polvo	1,0
Cacao en polvo	6,0
Azúcar impalpable	20,0
Mantequilla	12,5
Agua	10,0
Lecitina de soya	0,30
Leche en polvo	3,0
Polvo de hornear	0,50
Sal	0,4
Esencia de chocolate	0,3
Matriz fija	68,0
Harina de quinua (HQ)	5,0 – 20,0
Harina de maíz (HM)	5,0 – 20,0
Cushuro en polvo (CP)	5,0 – 30,0

Tabla 16*Valor porcentual de los ingredientes para cada tratamiento.*

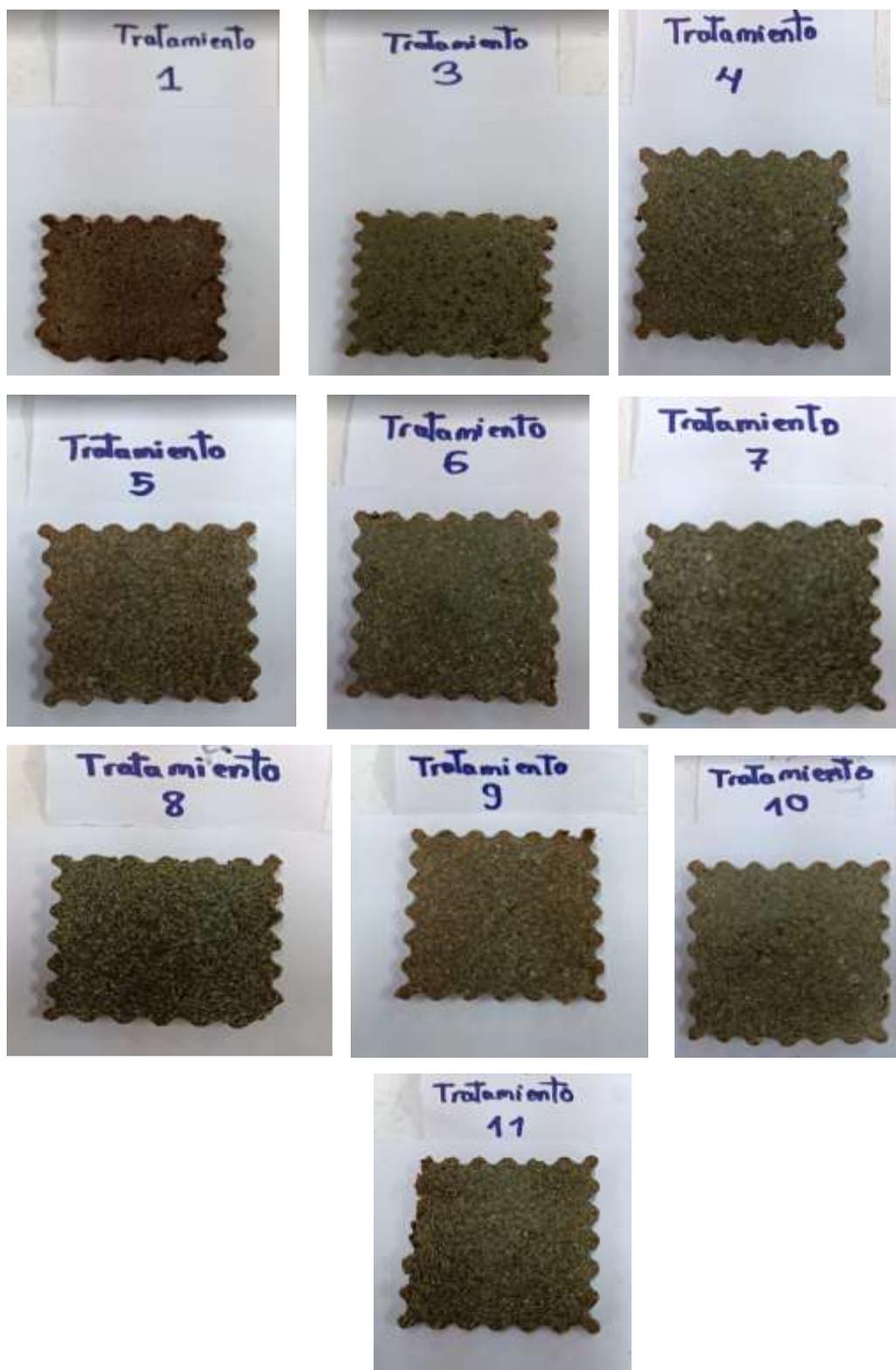
Ingredientes	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Polvo de cushuro	15,63	68,75	15,63	21,88	21,88	15,63	45,31	45,31	18,75	18,75	28,75
Harina de quinua	62,50	15,63	21,88	15,63	62,50	42,19	15,63	39,06	62,50	18,75	35,63
Harina de maíz	21,88	15,63	62,50	62,50	15,63	42,19	39,06	15,63	18,75	62,50	35,63
Harina de kiwicha	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Espirulina en polvo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cacao en polvo	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Azúcar impalpable	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Mantequilla	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Agua	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Lecitina de soya	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Leche en polvo	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Polvo de hornear	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Sal	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Esencia de chocolate	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

Dueñas et al. (2003), indica que, durante el mezclado de la masa, las proteínas de la harina, el almidón, y otros compuestos se hidratan y disuelven en la fase acuosa; y que el gluten de trigo produce una masa elástica y cohesiva. Asimismo, menciona que el mezclado está influenciado por factores como la absorción de agua de la harina y el tipo de formulación empleada en la mezcla. En esta misma línea, Marín et al. (2006), señala que la rehidratación de alimentos deshidratados presentan procesos simultáneos como la absorción de agua, la lixiviación de solutos y el hinchamiento del material; además existen factores intrínsecos como el líquido de rehidratación, la agitación, la temperatura de la solución y las características del producto; y factores extrínsecos como el pre tratamiento al secado, método, temperatura y velocidad de secado que influyen sobre el proceso de rehidratación. Esto explica que en el tratamiento N° 2, al sustituir completamente la harina de trigo (harina con gluten) y presentar un elevado contenido de cushuro en polvo (22% del total de la mezcla) ocasionó que, durante el mezclado, la masa no presente cohesividad y elasticidad, así como la presencia elevada de gránulos de cushuro hidratados por lo que este tratamiento fue descartado en la siguiente etapa.

La figura 3 muestra los 10 tratamientos, restantes, obtenidos después del horneado 65°C durante 15 minutos) para su posterior análisis sensorial.

Figura 3

Muestra de los 10 tratamientos después del horneado.



4.2 Evaluación del análisis sensorial (prueba de aceptabilidad).

La evaluación sensorial de las galletas utilizó la escala hedónica de 5 puntos, que considera el valor 1 “me disgusta mucho” hasta el valor 5 “me gusta mucho” para determinar el tratamiento con mayor aceptabilidad de los 10 tratamientos, restantes, con distinto porcentaje de sustitución de harina de maíz, harina de quinua y cushuro en polvo por la harina de trigo. El análisis de los puntajes numéricos para cada tratamiento utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para los resultados promedio de los atributos evaluados (color, olor, sabor y textura).

La Tabla 17 muestra los valores promedio de los 10 tratamientos, respecto al atributo color.

Tabla 17

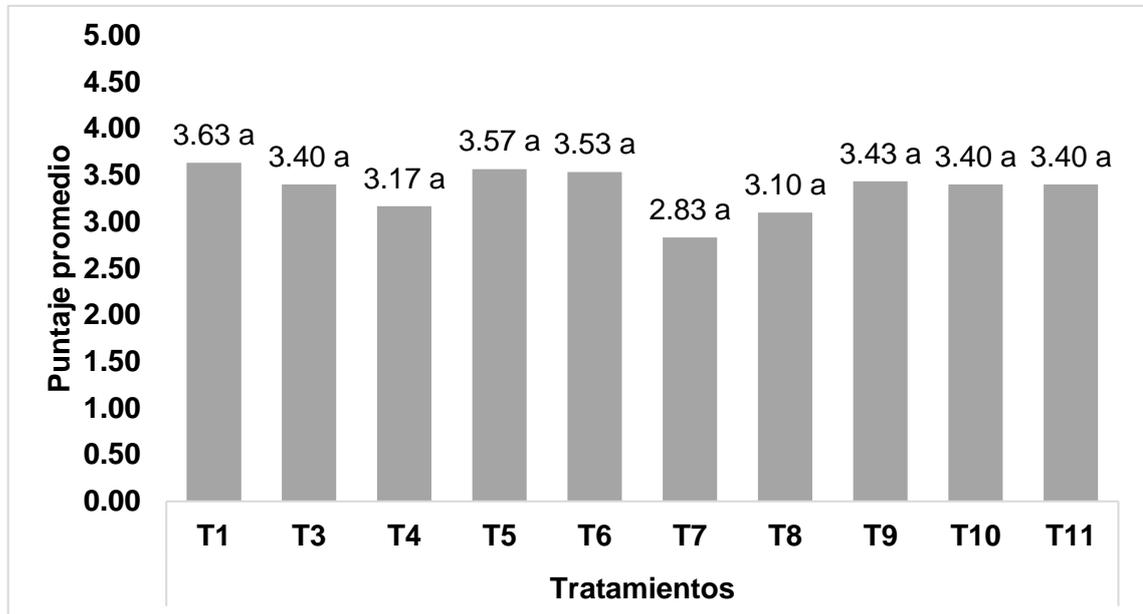
Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo color.

Atributo evaluado	Tratamientos	Promedio
Color	T1	3,63 ± 0,95 ¹ a ²
	T3	3,40 ± 1,05 ¹ a ²
	T4	3,17 ± 1,10 ¹ a ²
	T5	3,57 ± 1,05 ¹ a ²
	T6	3,53 ± 1,02 ¹ a ²
	T7	2,83 ± 1,00 ¹ a ²
	T8	3,10 ± 1,14 ¹ a ²
	T9	3,43 ± 0,88 ¹ a ²
	T10	3,40 ± 1,05 ¹ a ²
	T11	3,40 ± 1,11 ¹ a ²

Nota. (1) media ± D.S; n=30. (2) Letras minúsculas iguales muestran que no hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$), según la prueba de ANOVA (ver Anexo 6).

Figura 4

Gráfica de medias del color por tratamiento.



De la figura 4 se observa que los tratamientos T1 al T11 no presentaron diferencias significativas en calificación de color por parte de los panelistas, según el ANOVA (ver anexo 6). El valor obtenido en el tratamiento T11 fue el más alto y el valor obtenido en el tratamiento T7 fue el más bajo; sin embargo, al no existir diferencia significativa entre todos los tratamientos, se podría elegir cualquiera.

Se observa que a partir de una dosis de 7,0% HM, 20,0% HQ, y 5,0% CP (T1) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación mayor (3.63) y a partir de una dosis de 14,5% HM, 5,0% HQ, y 12,5% CP (T7) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación menor (2.83).

Chauhan et al. (2015), elaboró galletas sin gluten a partir de harina de amaranto (43,1%), mencionando que la coloración oscura obtenida en su producto final se debe a la Reacción de Maillard y al alto contenido de cenizas que presentó la harina de amaranto (2,91 – 3,40%). Es por esta razón que nuestro producto al utilizar también harina de amaranto en su elaboración (14,0%) al ser horneado se produjo la Reacción de Maillard y al presentar 3,12% de cenizas (mayor al 3,0% establecido en la NTP 206.001:2016) presentó la coloración oscura que le gusta moderadamente a los panelistas.

La Tabla 18 muestra los valores promedio de los 10 tratamientos, respecto al atributo olor.

Tabla 18

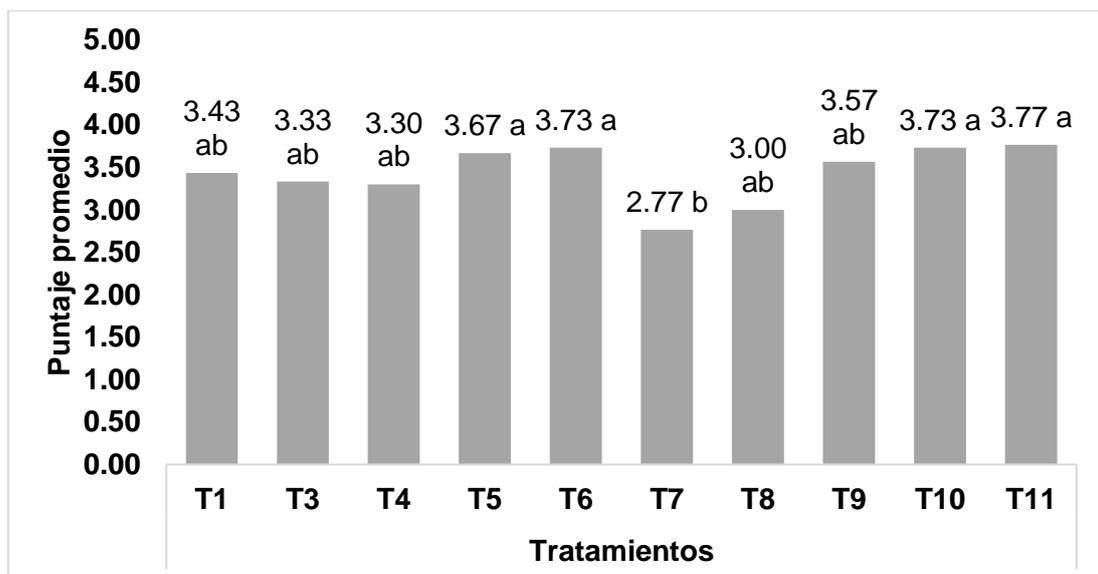
Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo olor.

Atributo evaluado	Tratamientos	Promedio
Olor	T1	3,43 ± 1,05 ¹ ab ²
	T3	3,33 ± 1,04 ¹ ab ²
	T4	3,30 ± 0,94 ¹ ab ²
	T5	3,67 ± 0,91 ¹ a ²
	T6	3,73 ± 0,77 ¹ a ²
	T7	2,77 ± 1,09 ¹ b ²
	T8	4,33 ± 0,93 ¹ ab ²
	T9	3,57 ± 0,96 ¹ ab ²
	T10	3,73 ± 1,06 ¹ a ²
	T11	3,77 ± 0,96 ¹ a ²

Nota. (1) media ± D.S; n=30. (2) Letras minúsculas diferentes muestran que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p<0.05), según la prueba de Tukey (ver Anexo 7).

Figura 5

Gráfica de medias del olor por tratamiento.



De la figura 5 se observa que los tratamientos T5, T6, T10 y T11 no presentaron diferencias significativas en calificación de olor por parte de los panelistas; asimismo, los tratamientos T1, T3, T4, T8, T9 tampoco presentaron diferencia significativa entre ellos; y el tratamiento T7 presentó diferencia significativa con los otros tratamientos, según el ANOVA y la prueba de Tukey (ver anexo 7). El valor obtenido en el tratamiento T7 fue el más bajo y los valores obtenidos en los tratamientos T5, T6, T10 y T11 fueron los más altos y al no existir diferencia significativa entre ellos, se podría elegir cualquiera.

Se observa que a partir de una dosis de 11,4% HM, 11,4% HQ, y 9,2% CP (T11) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación mayor (3.77) y a partir de una dosis de 14,5% HM, 5,0% HQ, y 12,5% CP (T7) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación menor (2.77).

La Tabla 19 muestra los valores promedio de los 10 tratamientos, respecto al atributo sabor.

Tabla 19

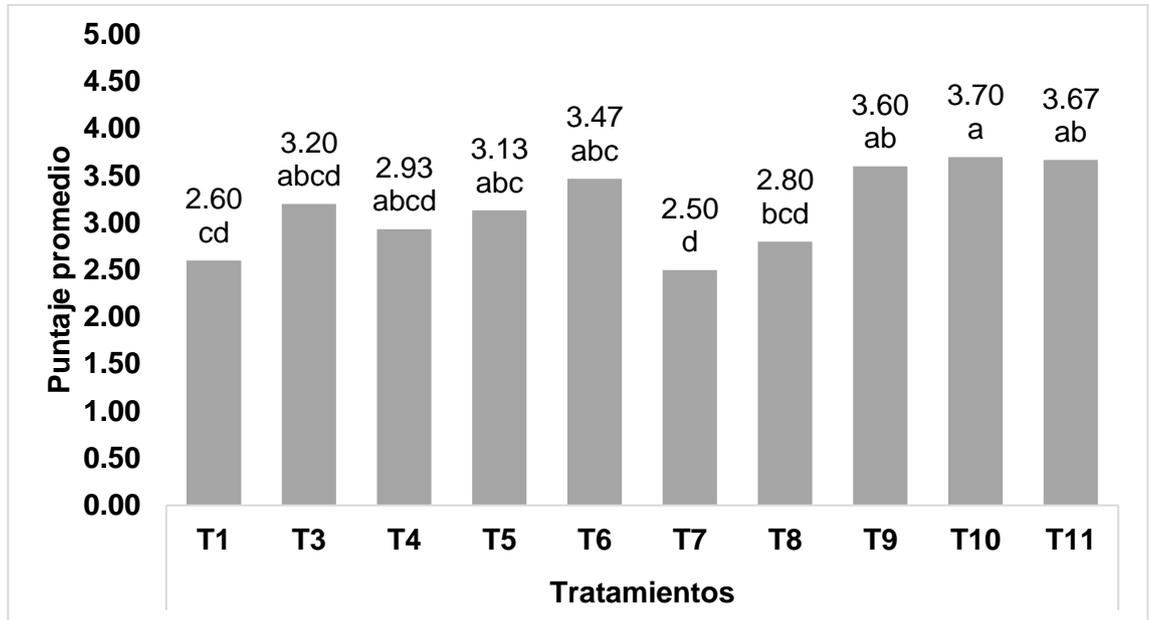
Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo sabor.

Atributo evaluado	Tratamientos	Promedio
Sabor	T1	2,60 ± 1,05 ¹ cd ²
	T3	3,20 ± 1,14 ¹ abcd ²
	T4	2,93 ± 1,09 ¹ abcd ²
	T5	3,13 ± 1,15 ¹ abc ²
	T6	3,47 ± 1,02 ¹ abc ²
	T7	2,50 ± 1,28 ¹ d ²
	T8	2,80 ± 0,91 ¹ bcd ²
	T9	3,60 ± 0,92 ¹ ab ²
	T10	3,70 ± 1,13 ¹ a ²
	T11	3,67 ± 0,98 ¹ ab ²

Nota. (1) media ± D.S; n=30. (2) Letras minúsculas diferentes muestran que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p<0.05), según la prueba de Tukey (ver Anexo 8).

Figura 6

Gráfica de medias del sabor por tratamiento.



De la figura 6 se observa que los tratamientos T3 y T4 no presentaron diferencias significativas, al igual que los tratamientos T5 y T6; sin embargo, sí presentan diferencias significativas con el resto de los tratamientos, en calificación de sabor por parte de los panelistas según el ANOVA y la prueba de Tukey (ver anexo 8). El valor obtenido en el tratamiento T7 fue el más bajo y los valores obtenidos en los tratamientos T10 y T11 fueron los más altos.

Se observa que a partir de una dosis de 11,4% HM, 11,4% HQ, y 9,2% CP (T11) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación mayor (3.67) y a partir de una dosis de 14,5% HM, 5,0% HQ, y 12,5% CP (T7) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación menor (2.50).

La Tabla 20 muestra los valores promedio de los 10 tratamientos, respecto al atributo textura.

Tabla 20

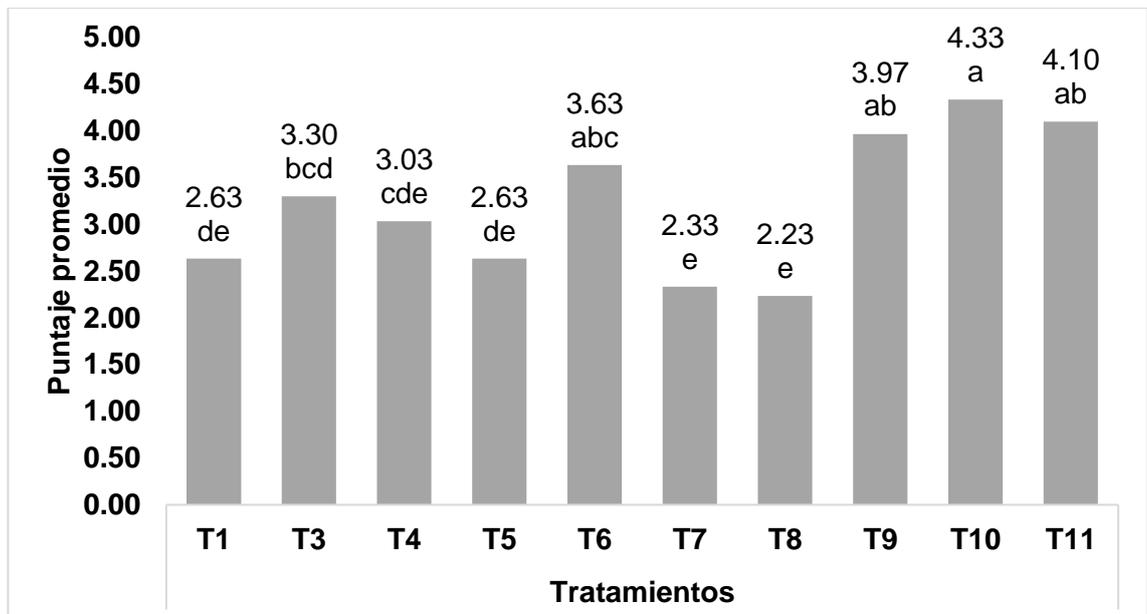
Resultados promedio del análisis sensorial respecto al atributo textura.

Atributo evaluado	Tratamientos	Promedio
Textura	T1	2,63 ± 1.14 ¹ de ²
	T3	3,30 ± 1.13 ¹ bcd ²
	T4	3,03 ± 1.17 ¹ cde ²
	T5	2,63 ± 1.22 ¹ de ²
	T6	3,63 ± 1,02 ¹ abc ²
	T7	2,33 ± 1,07 ¹ e ²
	T8	2,23 ± 1,15 ¹ e ²
	T9	3,97 ± 1,14 ¹ ab ²
	T10	4,33 ± 0,83 ¹ a ²
	T11	4,10 ± 0,87 ¹ ab ²

Nota. (1) media ± D.S; n=30. (2) Letras minúsculas diferentes muestran que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p<0.05), según la prueba de Tukey (ver Anexo 9).

Figura 7

Gráfica de medias de la textura por tratamiento.



De la figura 7 se observa que los tratamientos T9 y T11 no presentaron diferencias significativas; asimismo los tratamientos T1 y T5 tampoco presentaron diferencias

significativas, al igual que los tratamientos T7 Y T8; sin embargo, presentaron diferencias significativas respecto al resto de tratamientos en la calificación de textura por parte de los panelistas según el ANOVA y la prueba de Tukey (ver anexo 9). El valor obtenido en los tratamientos T7 y T8 fueron los más bajos (2.33 respectivamente) y los valores obtenidos en los tratamientos T10 y T11 fueron los más altos (4,33 y 4,10 respectivamente).

Se observa que a partir de una dosis de 20,0% HM, 6,0% HQ, y 6,0% CP (T10) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación mayor (4.33) y a partir de una dosis de 14,5% HM, 5,0% HQ, y 12,5% CP (T7) (respecto a la matriz variable) se obtuvo una calificación menor (2.77).

Por lo tanto, cualquiera de estos 2 tratamientos con altas puntuaciones (T10 y T11) a pesar de presentar diferencias significativas, pueden ser elegidos, teniendo en cuenta que la textura de las galletas depende principalmente del azúcar y la grasa para garantizar galletas crujientes y friables. Además, las galletas son fáciles formularlas sin gluten, ya que éste cumple un papel secundario durante la elaboración y en la calidad de las galletas sin gluten (Engleson & Atwell, 2008).

Finalmente, de acuerdo al análisis realizado, los tratamientos T10 y T11 obtuvieron las mejores puntuaciones respecto a los atributos evaluados de color, olor, sabor y textura por parte de los panelistas no entrenados; sin embargo, para elegir el tratamiento ganador se tuvo en cuenta el mayor contenido de hierro que se obtuvo mediante el balance teórico (Tabla 21), siendo el T11 el ganador para proceder a evaluar la biodisponibilidad del hierro y realizar el análisis de macronutrientes.

La tabla 21 muestra el balance teórico de nutrientes para los tratamientos T10 y T11.

Tabla 21

Balance teórico de nutrientes para el tratamiento T10 y T11.

Nutriente	Unidad	T10	T11
Grasa	g	13,65	13,43
Carbohidratos totales	g	53,42	52,43
Proteínas	g	8,62	9,47
Fibra	g	5,65	5,33
Hierro	mg	8,26	11,29

Nota. USDA (2021); Reyes et al. (2017).

De igual manera, otros estudios previos sobre la elaboración de galletas libres de gluten utilizaron 8.8% y 8% de HQ respectivamente en la elaboración de galletas con buena aceptabilidad sensorial (Contreras, 2015); sin embargo, también es posible utilizar 11.4% de HQ en la elaboración de una galleta libre de gluten con buena calificación sensorial.

De igual forma, Culqui & Guevara (2022), utilizó 6% de CP, para la elaboración de galletas, obteniendo un producto con buena calidad sensorial. Este porcentaje es menor al 9.2% utilizado; sin embargo, el producto terminado con este porcentaje obtuvo una buena calificación sensorial.

Capurro & Huerta (2016), emplearon 24% de harina de maíz en la elaboración de galletas, obteniendo un producto de buena calidad organoléptica. Este porcentaje utilizado es mayor respecto al 11.4% de HM utilizado en el presente trabajo; sin embargo, con ese porcentaje también se obtuvo un producto con buenas características organolépticas.

4.3 Análisis de macronutrientes, determinación de hierro y la evaluación de la biodisponibilidad; en la galleta con mayor aceptabilidad.

4.3.1 Macronutrientes:

La tabla 22 muestra los resultados del análisis químico proximal realizado al tratamiento ganador (T11), ver anexo 10.

Tabla 22

Análisis proximal del tratamiento ganador.

Componentes	Galleta óptima (T11)
Humedad (%)	3,36
Proteína (%)	12,96
Grasa (%)	11,46
Fibra cruda (%)	1,82
Cenizas (%)	3,12
Carbohidratos (%)	67,28
Energía (Kcal)	424,10

El contenido de humedad del tratamiento T11(3,36%) fue menor a lo establecido por la NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01, Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería, que establece como máximo 12 % de humedad DIGESA (2010) y la NTP 206.001, Galleta-Requisitos, que señala como máximo 12% de humedad (INDECOPI, 2016). Asimismo, nuestro resultado se asemeja al 3,33% de humedad obtenido en un estudio sobre la elaboración de galletas sin gluten a base de quinoa y almidón de maíz (Brito et al., 2015).

La galleta óptima presentó 3,12% de ceniza, resultado que se encuentra ligeramente superior al 3,0% establecido por la NTS N° 088-MINSA/DIGESA-V.01 (DIGESA, 2010), esto debido al alto contenido de minerales que aporta el cushuro según lo indicado por (Reyes et al., 2017).

El tratamiento elegido contiene 12,96% de proteína, debido al uso de buenas fuentes proteicas como son los pseudocereales (amaranto y quinua) y el cushuro (Huamanchumo, 2020; Reyes et al., 2017). Un trabajo de investigación determinó que una galleta enriquecida con cushuro, presentó de 11,97 – 14,27% de proteínas (Culqui & Guevara, 2022).

Por otra parte, se reportó 11,46% de grasas, resultado inferior al 20,81% de grasa reportado por Ibarra (2017), en una galleta con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de chía y haba; y al 17,80 – 18,30% de grasa encontrado en una galleta enriquecida con CP (Culqui & Guevara, 2022), siendo inversamente proporcional al contenido de CP en la galleta (a mayor contenido de CP, menor porcentaje de grasas en el producto final).

En cuanto a la fibra cruda, el presente estudio reportó 1,82%, valor superior al 1,25 - 1,50% reportado por Culqui & Guevara (2022); estos valores fueron directamente proporcionales al contenido de CP en la galleta (a mayor contenido de cushuro, mayor porcentaje de fibra cruda en el producto final).

Los carbohidratos reportados fueron de 67,28%, mientras que Silva (2021) reportó valores de 67,7%, 67,5% y 68,6% de carbohidratos en galletas sustituidas al 100% con harina de amaranto, quinua y maíz respectivamente.

4.3.2 Determinación de hierro.

El presente estudio reportó un 10,2 mg/100g de hierro obtenido en la galleta con mayor aceptabilidad. Este resultado es similar al 10,08 mg/100g de hierro reportado por Cárdenas-Quintana et al. (2021), en un alimento infantil fortificado con hierro.

4.3.3 Evaluación “in vivo” de la biodisponibilidad de hierro en la galleta con mayor aceptabilidad.

De acuerdo con la metodología modificada “in vivo” de Diaz-Castro et al. (2011), en primer lugar se debe calcular el total de alimento consumido, el total de excretas obtenidas (heces y orina) y la ganancia de peso de los roedores a partir del suministro de la ración (10 g.) durante 28 días de alimentación por roedor; sin embargo, la metodología indica que 21 días sirve para adaptación de los animales a la dieta y los últimos 7 días para la colección de excretas (heces y orina) y consumo del alimento (ver anexo 11, 12 y 13).

La tabla 23 muestra la cantidad ingerida, excretada, balance metabólico, coeficiente de digestibilidad y porcentaje de retención de hierro respectivamente de la dieta administrada a los ratones.

Tabla 23

Cantidad ingerida, excretada, balance metabólico, coeficiente de digestibilidad y porcentaje de retención de hierro respectivamente de la dieta ($X \pm DE$).

Características	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Dieta experimental
Ingesta de hierro (mg)	2,72	2,39	2,46	2,62	2,65	2,72	2,67	2,69	2,62±0,12
Excreción de hierro urinario (mg)	0,09	0,05	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05±0,02
Excreción de hierro fecal (mg)	3,73	2,41	3,61	3,08	2,57	4,35	2,50	3,12	3,17±0,69
Balance metabólico de hierro (mg)	-1,11	-0,07	-12,2	-0,52	0,04	-1,67	0,14	-0,48	-0,61±0,66
Coeficiente de digestibilidad (%)	-37,19	-0,79	-46,76	-17,66	3,03	-60,05	6,59	-16,36	-21,15±24,58
Retención de hierro (%)	-40,66	-2,78	-49,46	-19,75	1,50	-61,48	5,06	-17,88	-23,18±24,86

La tabla 23 muestra que la ingesta de hierro promedio fue de 2,62 mg.; sin embargo, la excreción de hierro fecal fue mayor (3,17 mg.) respecto a la excreción de hierro urinario 0,05 mg). Un estudio en humanos hace referencia que la excreción del hierro es limitada, del cual se excreta 0,35 mg/día de hierro fecal y 0,08 mg/día de hierro urinario (Forrelat et al., 2000).

El balance metabólico de hierro en los roedores N° 5 y N°7 mostraron valores positivos de 0,04 mg. y 0,14 mg. respectivamente; sin embargo, los demás roedores presentaron

valores negativos. De igual manera, el coeficiente de digestibilidad presentó valores positivos de 3,03% y 6,59% para los mismos roedores y valores negativos para los demás. Finalmente, el porcentaje de retención de hierro confirmó valores positivos de 1,50 y 5,06% solo para los roedores N° 5 y N°7; sin embargo, los demás evidenciando pérdidas en la retención de hierro.

Un estudio realizado por Cárdenas-Quintana et al. (2021), utilizando el método in vivo para determinar la biodisponibilidad del hierro en alimentos infantiles fortificados con hierro, reporta también datos negativos de -38.5 y -15,4 respecto al porcentaje de retención de hierro.

Por lo tanto, el resultado del estudio de la biodisponibilidad de hierro muestra un balance positivo desde 1,50% – 5,06%; sin embargo, los demás resultados también evidencian que existe una biodisponibilidad de hierro negativa. Este desbalance se debe a diversos factores como; la estructura química del nutriente, la forma de digerirlo, la existencia de potenciadores como algunos aminoácidos e inhibidores (fibra dietética, fitatos y los taninos) en el alimento. Además de algunas variables específicas como la cantidad de un elemento en el organismo, la dieta consumida anteriormente, edad, sexo y el estado general de salud del consumidor que influyen en la absorción del hierro. (Alegría-Torán et al., 2015).

Alegría-Torán et al. (2015), asevera que respecto a la evaluación de la biodisponibilidad “in vivo”, entre las principales ventajas de este método es su fácil aplicación en animales, sin exponer a los sujetos a radiaciones ionizantes; sin embargo, respecto a las desventajas, pueden producirse errores en las estimaciones del contenido de minerales en las dietas, la materia fecal y la orina, ya que se trata de niveles traza, y su determinación puede verse afectada por la sensibilidad del método y la presencia de contaminantes, produciendo errores en las estimaciones de absorción. Por tanto, la justificación de los resultados obtenidos experimentalmente en la evaluación de la biodisponibilidad “in vivo” del hierro en la galleta libre de gluten, se ajusta a lo indicado por dicha investigadora.

4.3.4 Evaluación de presencia de gluten en la galleta con mayor aceptabilidad.

El presente trabajo de investigación evaluó la presencia de gluten a través de una prueba inmunocromatográfica (test de flujo lateral), con un punto de corte < 5 ppm, obteniendo resultado negativo (ver anexo 14 y 15). Este resultado no excede los 20 mg/kg de gluten indicados en el Reglamento N° 828/2014 de la Unión Europea y en la

Comisión del Códex Alimentarius, referido a la ausencia o presencia reducida de gluten en los alimentos.(Comisión Europea, 2014 & Codex Alimentarius, 1979).

Por lo tanto, nuestro producto puede denominarse “sin gluten”, por no exceder los límites establecidos en las normativas legales.

V CONCLUSIONES:

- La galleta libre de gluten presentó 10,2 mg/100 g. de hierro y presentó desde 1.50% - 5.06% respecto a la biodisponibilidad de hierro.
- Se formuló una galleta sustituida con harina de quinua, harina de maíz y cushuro en polvo a través del Diseño de Mezclas de vértices extremos.
- Se elaboró una galleta libre de gluten con 11.4% de harina maíz, 11.4% harina de quinua y 9.2% cushuro en polvo, perteneciente al tratamiento 11, de buena aceptabilidad sensorial.
- La galleta libre de gluten presentó 3.36% de humedad, 12.96% de proteínas, 11.46% de grasa, 1.82% de fibra cruda, 3.12% de cenizas, 67.28% de carbohidratos.
- Se determinó que la galleta es “libre de gluten” al presentar < 5 ppm de gluten.

VI RECOMENDACIONES:

- Determinar la cantidad de inhibidores de hierro como la fibra dietética, taninos y fitatos presentes en materias primas para elaborar alimentos libres de gluten.
- Realizar el estudio de tiempo de vida útil en el tratamiento, con diferentes sistemas de empaque.
- Realizar el presente estudio en seres humanos para reducir las limitaciones que presenta el método empleado.

VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aggett, P. (2010). Population Reference Intakes and Micronutrient Bioavailability: a European Perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), 1433S-1437S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674C>
- Alagawany, M., Taha, A., Noreldin, A., El-Tarabily, K., & Abd El-Hack, M. (2021). Nutritional applications of species of Spirulina and Chlorella in farmed fish: A review. *Aquaculture*, 542(April), 736841. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736841>
- Alderete, N. (2022). "Situación Actual de las Importaciones y Producción Nacional del Maíz Amarillo Duro (*Zea mays* L.)" [Agraria La Molina, facultad de agronomía.]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5412/alderete-fernandez-noemi-mirian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alegría-Torán, A., Barberá-Sáez, R., & Cilla-Tatay, A. (2015). Bioavailability of Minerals in Foods. In M. De la Guardia & S. Garrigues (Eds.), *Handbook of Mineral Elements in Food* (pp. 41–67). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118654316.ch3>
- Alfadhly, N., Alhelfi, N., Altemimi, A., Verma, D., Cacciola, F., & Narayanankutty, A. (2022). Trends and Technological Advancements in the Possible Food Applications of Spirulina and Their Health Benefits: A Review. *Molecules*, 27(17), 5584. <https://doi.org/10.3390/molecules27175584>
- Baldera, K., Chaupis-Meza, D., Cárcamo, C., Holmes, K., & García, P. (2020). Seroprevalencia Poblacional de la Enfermedad Celíaca en Zonas Urbanas del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(1), 63–66. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.371.4507>
- Barcina, Y. (2000). Introducción al Análisis Sensorial. In F. Ibañez & Y. Barcina (Eds.), *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones* (p. 1). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wiSulMouZ-UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=análisis+sensorial+de+alimentos&ots=h3rES-x-1U&sig=rwoyBL2IL65Kaew1P28J4pEnFig#v=onepage&q=análisis sensorial de alimentos&f=false>
- Blanco-Rojo, R., & Vaquero, M. (2019). Iron Bioavailability from Food Fortification to Precision Nutrition. A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.015>
- Boccio, J., Salgueiro, J., Lysionek, A., Zubillaga, M., Goldman, C., Weill, R., & Caro, R. (2003). Metabolismo del Hierro: Conceptos Actuales sobre un Micronutriente Esencial. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*, 53, 119–132. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222003000200002&script=sci_arttext
- Bortolini, D., Maciel, G., Fernandes, I., Pedro, A., Vieira, F., Guiherme, I., & Isidoro, C. (2022). Functional properties of bioactive compounds from Spirulina spp.: Current status and future trends. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100134>
- Braune, S., Krüger-Genge, A., Kammerer, S., Jung, F., & Küpper, J. (2021). Phycocyanin from *Arthrospira Platensis* as Potential Anti-Cancer Drug: Review of In Vitro and In Vivo Studies. *Life*, 11(2), 91. <https://doi.org/10.3390/life11020091>
- Brito, I., Leite de Souza, E., Santos, S., Suely, M., Yamashita, F., & Magnani, M. (2015). Nutritional and Sensory Characteristics of Gluten-free quinoa (*Chenopodium*

- quinoa Willd)-Based Cookies Development Using an Experimental Mixture Design. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5866–5873. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1659-1>
- Capurro, J., & Huerta, D. (2016). *Elaboración de Galletas Fortificadas con Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harina de Kiwicha (Amaranthus caudatus), Quinoa (Chenopodium quinoa) y Maíz (Zea mays)* [Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2629/42894.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas-Quintana, H., Aparco, J., & Gómez, C. (2021). Evaluación “ In Vivo” de la Biodisponibilidad del Hierro en Alimentos Infantiles Fortificados con Hierro. *Nutricion Clínica y Dietética Hospitalaria*, 41(2), 137–143. <https://doi.org/10.12873/412cardenas>
- Chancahuaña, C. (2018). *Efectos Saludables de los Pseudocereales*. [Universidad Complutense de Madrid.]. <https://core.ac.uk/download/pdf/269014255.pdf>
- Chauhan, A., Saxena, D., & Singh, S. (2015). Total Dietary Fibre and Antioxidant Activity of Gluten free Cookies made from raw and Germinated Amaranth (Amaranthus spp.) Flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Choque-Quispe, D., Mojo-Quisani, A., Ligarda-Samanez, C., Calla-Florez, M., Ramos-Pacheco, B., Zamalloa-Puma, L., Peralta-Guevara, D., Solano-Reynoso, A., Choque-Quispe, Y., Zamalloa-Puma, A., Palomino-Malpartida, Y., Medina-Quiquin, L., & Kari-Ferro, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (Nostoc sphaericum). *Foods*, 11(11), 1640. <https://doi.org/10.3390/foods11111640>
- Codex Alimentarius. (1979). Norma Relativa a los Alimentos para Regímenes Especiales destinados a Personas Intolerantes al Gluten. *Normas Internacionales de Los Alimentos*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B118-1979%252FCXS_118s_2015.pdf
- Codex Alimentarius. (2019). Documento de debate para el etiquetado de alérgenos: CX/FL 19/45/8. *Normas Internacionales Del Codex Alimentarius*. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fmeetings%252FCX-714-45%252Fdocuments%252Ffl45_08s.pdf
- Cohen, Z. (1999). *Chemicals from Microalgae*. <https://books.google.com.pe/books?id=XuMVxsnVUR4C&pg=PA320&dq=nostoc+sphaericum&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiy6liNovn7AhWsLrkGHXRHBQgQ6AF6BAGKEAI#v=onepage&q=nostoc+sphaericum&f=false>
- Comisión Europea. (2014). Reglamento de Ejecución (UE) N o 828/2014 de la Comisión. *Diario Oficial de La Unión Europea*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0828&qid=1593533592389&from=ES>
- Contreras, L. (2015). *Desarrollo de una Galleta Dulce Enriquecida con Harina de Quinoa Blanca (Chenopodium quinoa) Utilizando Diseño de Mezclas*. [Universidad Agraria La Molina]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3012943>
- Corpus-Gomez, A., Alcantara-Callata, M., Celis-Teodoro, H., Echevarria-Alarcón, B., Paredes-Julca, J., & Paucar-Menacho, L. (2021). Cushuro(Nostoc sphaericum): Habitat, Physicochemical Characteristics, Nutritional Composition, Forms of

- Consumption and Medicinal Properties. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231–238. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>
- Culqui, Y., & Guevara, K. (2022). *Formulación de galletas sustituidas parcialmente con harina de algarroba (Prosopis pallida) y enriquecidas con algas cushuro (Nostoc sphaericum)* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.]. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893 BANCES PISCOYA-ROJAS PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893_BANCES_PISCOYA-ROJAS_PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Defilippi, P., Hurtado, V., Mendoza, H., Morales, N., & J., N. (2019). *Quri: Galletas de Avena Enriquecidas con Cushuro* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.]. <http://hdl.handle.net/10757/626268>
- Díaz-Castro, J., Muñoz, M., López-Aliaga, I., Nestares, T., & Campos, M. . (2011). Effect of Calcium-Fortified Milk-Rich Diets (either goat's or cow's milk) on Copper Bioavailability in Iron-Deficient Anemia. *Dairy Science & Technology*, 91(2), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s13594-011-0012-y>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2010). Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. *RM N°1020-2010/MINSA*. www.digesa.minsa.gob.pe
- Dodds, W., Gudder, D., & Mollenhauer, D. (1995). The Ecology of Nostoc. *Journal of Phycology*, 31(1), 2–18. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1995.00002.x>
- Dueñas, C., Bedolla, S., & Trujillo, M. (2003). Tecnología de Cereales. In *Introducción a la tecnología de alimentos*. (p. 108). Limusa. https://www.google.com.pe/books/edition/Introducción_a_la_Tecnología_de_Aliment/V2lqmVapJWkC?hl=es&gbpv=1&dq=etapa+del+mezclado+en+panificación&pg=PA108&printsec=frontcover
- Egea, J., Egea, J., Egea, I., & Rivera, D. (2015). *Cultivos Promisorios para Enfriar el Clima y Alimentar al Mundo. Una propuesta Agroecológica para Tierra de Íberos*. (Issue January 2016). <https://www.agroecologia.net/wp-content/uploads/2015/11/libro-cultivos-promisorios.pdf>
- Elli, L., Ferretti, F., Orlando, S., Vecchi, M., Monguzzi, E., Roncoroni, L., & Schuppan, D. (2019). Management of Celiac Disease in Daily Clinical Practice. *European Journal of Internal Medicine*, 61, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2018.11.012>
- Elli, L., Villalta, D., Roncoroni, L., Barisani, D., Ferrero, S., Pellegrini, N., Bardella, M., Valiante, F., Tomba, C., Carroccio, A., Bellini, M., Soncini, M., Cannizzaro, R., & Leandro, G. (2017). Nomenclature and Diagnosis of Gluten-related Disorders: A Position Statement by the Italian Association of Hospital Gastroenterologists and Endoscopists (AIGO). *Digestive and Liver Disease*, 49(2), 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2016.10.016>
- Engleson, J., & Atwell, B. (2008). Gluten-free Product Development. *Cereal Foods World*, 53(4), 180–184. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=20593818>
- Fairweather-Tait, S. J. (1987). The concept of bioavailability as it relates to iron nutrition. *Nutrition Research*, 7(3), 319–325. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(87\)80021-0](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(87)80021-0)
- Fernández, W., & Suyón, S. (2018). *Efecto del Secado Convectivo en el Valor Nutricional, Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante in Vitro del Nostoc sphaericum Vaucher ex Bornet & Flahault "cushuro" procedente de Recuay* [Tesis

- de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/9833>
- Food and Agriculture Organisation. (2011). La Quinua: Cultivo Milenario para Contribuir a la Seguridad Alimentaria Mundial. *Oficina Regional Para America Latina y El Caribe, FAO*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>
- Forrelat, M., Défaix, H., & Fernández, N. (2000). Metabolismo del Hierro. *Cubana Hematol Inmunol Hemoter*, 16(3), 149–160. <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v16n3/hih01300.pdf>
- García-Villanova, B., & Guerra, E. (2010). Cereales y Productos Derivados. In A. Gil & M. Ruiz (Eds.), *Tratado de Nutrición* (2nd ed., pp. 97–138). https://www.google.com.pe/books/edition/Tratado_de_Nutrición/hcwBJ0FNvqYC?hl=es&gbpv=1
- Grand View Research. (2022). *Gluten-free Bakery Market Size & Share Report, 2022-2030*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gluten-free-bakery-market-report>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. (2nd ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez, K., & Tello, L. (2018). *Evaluación de la Incorporación de Espirulina sobre las Propiedades Nutricionales y Sensoriales de una Galleta a base de Harina de Trigo y Kiwicha* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.]. <http://hdl.handle.net/10757/624916>
- Huamanchumo, W. (2020). *Pseudocereales Andinos: Valor Nutritivo Y Aplicaciones Para Alimentos Libres De Gluten*. [Universidad Politécnica de Valencia.]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151184/Huamanchumo_Pseudocereales_andinos_valor_nutritivo_y_aplicaciones_para_alimentos_libres_de_glu....pdf?sequence=1
- Ibarra, K. (2017). *Evaluación de la Aceptabilidad de las Galletas con Sustitución Parcial de Harina de Trigo (Triticum astivum) por Harinas de Chía (Salvia hispánica L.) y Haba (Vicia faba) Mediante Optimización por Diseño de Mezclas*. Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo.”
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2013). Granos andinos. Harina de Quinua. Requisitos. *Norma Técnica Peruana*. <file:///C:/Users/hp/Downloads/NTP-011451-Harina-de-Quinua.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2016). *Panadería, Pastelería y Galletería. Galletas. Requisitos*.
- Jiménez, A., Martínez, R., Quiles, M., Majid, J., & González, M. (2016). Enfermedad Celiaca y Nuevas Patologías Relacionadas con el Glúten. *Nutrición Hospitalaria.*, 33, 44–48. <https://doi.org/10.20960/nh.345>
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J.-H. (2019). Spirulina Platensis, a Super Food? *Journal of Cellular Biotechnology*, 5(1), 43–54. <https://doi.org/10.3233/JCB-189012>
- Koplík, R., Linková, M., & Mestek, O. (2011). Changes of Phosphorus and Trace Elements Species in Rye and Oat Flakes and Oat Porridge Induced by Simulated Digestion. *European Food Research and Technology*, 232(6), 1007–1016. <https://doi.org/10.1007/S00217-011-1471-3/METRICS>

- Mapes, E. (2015). El Amaranto. *Ciencia*, 8–15. http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición.*, 33(3), 527–538. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>
- Matias, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., & Ramirez, L. (2018). Usos Actuales y Potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.) Current and potential uses of Amaranth (*Amaranthus* spp.). *Journal of Negative & No Positive Results*, 3(6), 423–436. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Maureen, L., Sapone, A., Catassi, C., & Fasano, A. (2017). Celiac Disease and Nonceliac Gluten Sensitivity. *JAMA*, 318(7), 647. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9730>
- Mera, C. (2015). *Sustitución Parcial de la Harina de Trigo por Harina de Maíz y su Efecto en las Propiedades Fisicoquímicas del Pan Tipo Molde* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/88699/D-88052.pdf>
- Myers, J. S., Bean, S., Aramouni, F., Wu, X., & Schmidt, K. (2022). Textural and Functional Analysis of Sorghum Flour Cookies as Ice Cream Inclusions. *Grain & Oil Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.12.002>
- National Library of Medicine. (2009a). *Taxonomy Browser*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=63459>
- National Library of Medicine. (2009b). *Taxonomy Browser*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=118562>
- National Library of Medicine. (2009). *Taxonomy Browser*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=4577>
- National Library of Medicine. (2009). *Taxonomy Browser*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=3567>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Paliwal, R., Honor, G., & Violic, A. (2001). *El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO. <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm>
- Pérez-Lloréns, J. (2020). Microalgae: From Staple Foodstuff to Avant-garde Cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100221>
- Ponce, E. (2014). Nostoc: un Alimento Diferente y su Presencia en la Precordillera de Arica. *IDESIA*, 32(2), 115–118. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v32n2/art15.pdf>
- Potts, M. (2000). Nostoc. *The Ecology of Cyanobacteria*. https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7_17
- Ramírez, J. (2012). *Análisis Sensorial: Pruebas Orientadas al Consumidor*. Recitela. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4_TNm-72U7MC&oi=fnd&pg=PA85&dq=pruebas+de+aceptación+sensorial&ots=lc7SSOKFvz&sig=qv4V0zx1n9T43H7GZqdXqzL0CqU#v=onepage&q=pruebas de aceptación sensorial&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4_TNm-72U7MC&oi=fnd&pg=PA85&dq=pruebas+de+aceptación+sensorial&ots=lc7SSOKFvz&sig=qv4V0zx1n9T43H7GZqdXqzL0CqU#v=onepage&q=pruebas+de+aceptación+sensorial&f=true)
- Reyes, R., Gómez-Sanchez, I., & Espinoza, C. (2017). Tablas de Composición de

- Alimentos de Perú. In *Istituto Nacional de Salud* (Issue 56). <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Silva, R. (2021). *Desarrollo de Galletas Libres de Glúten Evaluando sus Parámetros Fisicoquímicos y Sensoriales*. Universidad Peruana Unión.
- Singh, P., Prasad, S., & Aalbersberg, W. (2016). Bioavailability of Fe and Zn in Selected Legumes, Cereals, Meat and Milk Products Consumed in Fiji. *Food Chemistry*, 207, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.029>
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87–96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). Guía de Campo de los Cultivos Andinos. In *FAO; ANPE-Perú*.
- United States Department of Agriculture. (2019). *Food Data Central*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168920/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2021). *Food Data Central*. <https://agclass.nal.usda.gov/mtwdk.exe?k=glossary&l=60&w=12706&s=5&t=2>
- Wada, N., Sakamoto, T., & Matsugo, S. (2013). Multiple Roles of Photosynthetic and Sunscreen Pigments in Cyanobacteria Focusing on the Oxidative Stress. *Metabolites*, 3(2), 463–483. <https://doi.org/10.3390/metabo3020463>
- Woomer, J., & Adedeji, A. (2021). Current Applications of Gluten-free Grains – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 14–24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1713724>
- Xu, J., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2020). Advanced Properties of Gluten-free Cookies, Cakes, and Crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 200–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.017>

VIII LISTA DE ABREVIATURAS:

HM: Harina de maíz.

HQ: Harina de quinua.

CP: Cushuro en polvo.

ONU: Organización de las naciones unidas.

EC: Enfermedad celiaca.

NLM: National library of medicine.

NCBI: National center for biotechnology information.

USDA: United States Departamento of Agriculture.

FAO: Food and Agriculture Organization.

NTP: Norma técnica peruana.

INDECOPI: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

ANOVA: Análisis de varianza.

DS: Desviación estándar.

DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria.

MINSA: Ministerio de salud.

ELISA: Enzyme – Linked Immuno Sorbet Assay.

IX GLOSARIO:

- **Biodisponibilidad.**

La biodisponibilidad se define como la fracción de nutriente en una dieta o un alimento, que puede ser utilizada por el organismo.

- **Celiaquía.**

Es una enfermedad de afección autoinmune que daña al revestimiento del intestino delgado. Este daño proviene de una reacción a la ingestión de gluten.

- **Cohesividad.**

Acción y efecto de atraerse o adherirse dos moléculas.

- **Gluten.**

Proteína de reserva nutritiva que se encuentra en las semillas de las gramíneas junto con el almidón.

- **Pseudocereal.**

Son alimentos que reciben este nombre por presentar características nutricionales muy parecidas a los cereales

- **Sucedáneos.**

Que tiene propiedades parecidas a las de otra y puede sustituirla con un grado menor de calidad.

X ANEXOS:

10.1 Anexo 1. Panel fotográfico de los ingredientes utilizados en la elaboración de las galletas:

Cushuro en polvo	Harina de quinua	Harina de maíz	Harina de amaranto
			
Azúcar impalpable	Polvo de cacao	Espirulina en polvo	Sal
			
Leche en polvo	Esencia de chocolate	Lecitina de soya	Polvo de hornear
			
Margarina			
			

10.2 Anexo 2. Panel fotográfico de la elaboración de las galletas.

Mezclado	Laminado	Moldeado
		
Reposo	Horneado	Enfriado
		
Envasado y almacenado		
		

10.3 Anexo 3: Panel fotográfico del análisis sensorial hedónico.





10.4 Anexo 4. ficha de análisis sensorial



FICHA DE ANÁLISIS SENSORIAL HEDÓNICA

"EVALUACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIERRO EN GALLETAS LIBRES DE GLUTEN SUSTITUIDAS CON HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), HARINA DE MAÍZ (*Zea mayz* L.) Y CUSHURO EN POLVO (*Nostoc sphaericum*)".

PRUEBA DE ACEPTABILIDAD

Nombre:

Edad:

Fecha:

INSTRUCCIONES:

- Evalúe las muestras en el orden establecido en la tabla.
- Espere al menos 30 segundos para la degustación de la siguiente muestra y beba agua.
- Para evaluar cada uno de los atributos, la puntuación será del 1 al 5 según la siguiente escala:

DESCRIPCIÓN	VALOR
Me disgusta mucho	1
Me disgusta moderadamente	2
Ni me gusta ni me disgusta	3
Me gusta moderadamente	4
Me gusta mucho	5

TRATAMIENTO	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA
T1				
T3				
T4				
T5				
T6				
T7				
T8				
T9				
T10				
T11				

10.5 Anexo 5. Resultados del análisis sensorial.

JUECES	COLOR											OLOR											SABOR											TEXTURA										
	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11				
1	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	5	3	4	3	5	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5					
2	2	3	3	3	3	2	2	4	4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	4	4	4	2	3	4	4	4	2	3	3	2	4	3	4	4	5	5					
3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	3	5	5	5	4	5	5	4	5	3	4	5	5	5						
4	4	3	4	2	5	3	4	4	4	4	4	2	4	3	5	3	2	3	5	4	4	2	5	4	5	3	2	4	5	4	3	3	5	3	5	3	1	5	5	5				
5	4	2	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	5	5	4	4	3	4	4	5	5	5					
6	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	2	4	4	4	4	2	5	2	4	3	4	2	2	4	4	3	4	3	2	4	3	2	4	4	2	4	4	4					
7	3	3	2	3	4	2	3	4	4	4	3	3	3	3	4	2	3	3	4	4	1	3	3	2	4	1	3	2	4	4	2	3	3	1	4	2	2	4	4	4				
8	5	5	5	5	2	2	2	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	2	2	2	2	3	2	3	4	4	4					
9	4	4	2	4	4	2	3	5	5	5	3	4	3	4	4	2	4	4	5	5	3	4	2	5	4	3	3	3	4	5	3	3	2	3	4	1	2	4	5	4				
10	2	3	2	3	3	3	3	3	4	3	4	3	2	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	1	3	3	4	4	4	3	2	1	4	2	1	1	4	3					
11	4	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	5	2	3	3	4	4	3	3	4	4	4	1	2	2	2	3	1	1	4	5	4				
12	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	5	5	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	3	4	4	2	3	5	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	5				
13	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	4	2	2	2	1	1	4	2	3	1	3	1	2	2	2	2	3	2	2				
14	4	3	4	4	5	3	4	4	5	5	4	3	2	4	5	3	4	5	5	5	4	3	2	3	5	2	3	5	5	4	3	3	3	3	5	2	2	5	5	4				
15	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	2	2	3	3	2	2	4	3	4	2	2	3	2	4	2	2	5	5	5					
16	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	2	2	3	4	3	2	2	3	4	4	2	2	3	4	4	1	2	3	5	4	1	1	4	1	2	1	2	4	5	5				
17	4	2	3	4	4	2	2	4	3	4	2	2	4	4	4	2	3	4	3	4	3	4	4	4	4	2	3	4	4	4	2	4	4	4	5	2	1	5	5	4				
18	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2	2	1	1	2	1	2	3	3	4	1	2	2	1	2	1	1	3	3	3				
19	5	5	4	5	4	4	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	2	4	3	3	3	2	3	4	4	3	2	4	2	1	3	2	1	5	5	4				
20	3	3	3	4	2	4	4	4	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	3	2	3	4	4	3	2	2	1	3	2	1	2	4	4				
21	4	3	1	3	4	3	4	3	4	4	3	2	2	4	4	2	4	3	4	4	3	2	1	2	4	1	1	4	3	5	2	2	1	3	4	1	1	4	4	4				
22	3	3	3	4	4	2	4	4	4	5	4	4	3	4	4	3	4	5	5	5	4	4	4	5	4	2	2	5	4	5	3	5	4	5	4	3	2	5	5	5				
23	3	4	4	5	3	5	1	4	3	4	4	3	3	2	3	1	2	1	1	2	3	2	2	3	3	3	3	4	5	4	2	3	2	1	2	1	2	5	5	4				
24	4	5	4	3	4	2	2	4	5	2	4	4	4	4	5	2	3	4	3	4	1	4	2	3	2	5	4	4	2	2	2	4	2	3	3	2	4	4	3	2				
25	4	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5	2	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5				
26	3	2	2	4	2	4	5	2	2	2	2	3	4	4	4	5	4	4	4	3	1	2	3	3	3	2	3	2	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	3					
27	4	4	4	2	2	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	4	2	5	5	5	1	1	4	1	1	2	4	2	1	1	5	5	5	4	5	4	2	5	5	4				
28	4	2	2	2	4	1	1	2	4	2	1	4	4	5	3	1	2	2	5	4	2	4	3	2	2	1	1	2	4	2	2	4	4	4	3	2	1	2	4	4				
29	5	4	4	5	2	3	3	2	2	1	4	5	4	2	3	1	2	3	4	3	1	2	2	1	2	1	3	2	2	3	4	3	2	3	1	3	2	3	3					
30	4	4	2	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	5	4	3	2	4	5	5	5	5	5	4	5	4	3	4	5	4	5	5	4	5	3	2	5	5	5					
SUMA	109	102	95	107	106	85	93	103	102	102	103	100	99	110	112	83	130	107	112	113	78	96	88	94	104	75	84	108	111	110	79	99	91	79	109	70	67	119	130	123				
MEDIA	3.63	3.40	3.17	3.57	3.53	2.83	3.10	3.43	3.40	3.40	3.43	3.33	3.30	3.67	3.73	2.77	4.33	3.57	3.73	3.77	2.60	3.20	2.93	3.13	3.47	2.50	2.80	3.60	3.70	3.67	2.63	3.30	3.03	2.63	3.63	2.33	2.23	3.97	4.33	4.10				

10.6 Anexo 6. Anova para el atributo color para los 10 tratamientos.

Planteamiento de hipótesis

H_0 : Las medias de las muestras de color son iguales

H_1 : Las medias de las muestras de color no son iguales

Nivel de significancia α : 0,05

Tabla 24

Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor f	Valor p
Tratamientos	9,000	16,150	1,794	1,610	0,113
Error	290,000	323,800	1,117		
Total	299	339,950			

La tabla 24 muestra el valor $f < f_t$ ($1,610 < 1,912$), a un nivel de significancia del 5%, aceptando la hipótesis nula. Asimismo, el valor p ($0,113 > 0,05$) indica que no existe diferencia significativa respecto al atributo color entre los tratamientos.

Al no existir diferencia significativa entre los tratamientos no se realizó la prueba con el método de Tukey.

10.7 Anexo 7. Anova y tukey para el atributo olor para los 10 tratamientos.

Planteamiento de hipótesis

H_0 : Las medias de las muestras de olor son iguales

H_1 : Las medias de las muestras de olor no son iguales

Nivel de significancia α : 0,05

Tabla 25

Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo olor.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor f	Valor p
Tratamientos	9,000	30,700	3,411	3,470	0,000
Error	290,000	284,830	0,982		
Total	299,000	315,530			

La tabla 25 muestra el valor $f < f_t$ ($3,470 > 1,912$), a un nivel de significancia del 5%, aceptando la hipótesis alterna. Asimismo, el valor p ($0,000 < 0,05$) indica que sí existe diferencia significativa respecto al atributo olor entre los tratamientos.

Al existir diferencia significativa entre los tratamientos se realizó la prueba con el método de Tukey con una confianza del 95% para determinar los tratamientos con medias similares o diferentes significativamente.

Tabla 26

Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T11	30,000	3,767	A
T6	30,000	3,733	A
T10	30,000	3,733	A
T5	30,000	3,667	A
T9	30,000	3,567	A B

T1	30,000	3,433	A	B
T3	30,000	3,333	A	B
T4	30,000	3,300	A	B
T8	30,000	3,000	A	B
T7	30,000	2,767		B

La tabla 26 muestra diferencia significativa entre las agrupaciones. Los tratamientos T5, T6, T10 y T11 no presentaron diferencias significativas entre ellos; los tratamientos T1, T3, T4, T8 y T9 tampoco presentaron diferencias significativas entre ellos; sin embargo, el tratamiento T7 presentó diferencia significativa respecto a los otros tratamientos.

Las medias obtenidas en T5, T6, T10 y T11 fueron las más altas (con medias mayor o igual a 3,667), por tanto, cualquiera de estas podría ser elegida.

10.8 Anexo 8. Anova y tukey para el atributo sabor para los 10 tratamientos.

Planteamiento de hipótesis

H₀: Las medias de las muestras de sabor son iguales

H₁: Las medias de las muestras de sabor no son iguales

Nivel de significancia α : 0,05

Tabla 27

Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor f	Valor p
Tratamientos	9,000	53,050	5,895	4,950	0,000
Error	290,000	345,270	1,191		
Total	299,000	398,320			

La tabla 27 muestra el valor $f < f_t$ ($4,950 > 1,912$), a un nivel de significancia del 5%, aceptando la hipótesis alterna. Asimismo, el valor p ($0,000 < 0,05$) indica que sí existe diferencia significativa respecto al atributo sabor entre los tratamientos.

Al existir diferencia significativa entre los tratamientos se realizó la prueba con el método de Tukey con una confianza del 95% para determinar los tratamientos con medias similares o diferentes significativamente.

Tabla 28

Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T10	30,000	3,700	A
T11	30,000	3,667	A B
T9	30,000	3,600	A B
T6	30,000	3,467	A B C
T3	30,000	3,200	A B C D

T5	30,000	3,133	A B C D
T4	30,000	2,933	A B C D
T8	30,000	2,800	B C D
T1	30,000	2,600	C D
T7	30,000	2,500	D

La tabla 28 muestra diferencia significativa entre las agrupaciones. Los tratamientos T9 y T11, no presentaron diferencias significativas entre ellos; los tratamientos T3, T4 y T5, tampoco presentaron diferencias significativas entre ellos; sin embargo, los tratamientos T1, T7, T8 Y T10 presentaron diferencias significativas respecto a los otros tratamientos.

La media obtenida en T10 fue la más alta (con media de 3,700), por tanto, este tratamiento fue el elegido.

10.9 Anexo 9. Anova y tukey para el atributo textura para los 10 tratamientos.

Planteamiento de hipótesis

H₀: Las medias de las muestras de sabor son iguales

H₁: Las medias de las muestras de sabor no son iguales

Nivel de significancia α : 0,05

Tabla 29

Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo textura.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	9,000	156,900	17,440	14,000	0,000
Error	290,000	350,500	1,209		
Total	299,000	507,500			

La tabla 29 muestra el valor $f < f_t$ ($14,000 > 1,912$), a un nivel de significancia del 5%, aceptando la hipótesis alterna. Asimismo, el valor p ($0,000 < 0,05$) indica que sí existe diferencia significativa respecto al atributo textura entre los tratamientos.

Al existir diferencia significativa entre los tratamientos se realizó la prueba con el método de Tukey con una confianza del 95% para determinar los tratamientos con medias similares o diferentes significativamente.

Tabla 30

Agrupación de tratamientos utilizando el método de Tukey.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T10	30,000	4,333	A
T11	30,000	4,100	A B
T9	30,000	3,967	A B
T6	30,000	3,633	A B C
T3	30,000	3,300	B C D

T4	30,000	3,033	C D E
T5	30,000	2,633	D E
T1	30,000	2,633	D E
T7	30,000	2,333	E
T8	30,000	2,233	E

La tabla 30 muestra diferencia significativa entre las agrupaciones. Los tratamientos T9 y T11, no presentaron diferencias significativas entre ellos; los tratamientos T1 y T5 no presentaron diferencias significativas entre ellos; los tratamientos T7 y T8 tampoco presentaron diferencias significativas entre ellos; sin embargo, los tratamientos T3, T4, T6 Y T10 presentaron diferencias significativas entre ellos y respecto a los otros tratamientos.

La media obtenida en T10 fue la más alta (con media de 4,333), por tanto, este tratamiento fue el elegido.

10.10 Anexo 10. Informe de ensayo de análisis proximal de la galleta ganadora.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

INFORME DE ENSAYO LENA N°. 0912/2022

CLIENTE : KATY BETZABE AEDO ARANGO
NOMBRE DEL PRODUCTO : GALLETA CON QUINUA, MAIZ Y CUSHURO
(Nombre proporcionado por el cliente)
MUESTRA : 01 MUESTRA
FECHA DE RECEPCIÓN : 05/09/2022
PRESENTACION : Muestra en contenedor de plástico.
IDENTIFICACION : AQ22-0912

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CÓDIGO	AQ22-0912
MUESTRA	PAN CON QUINUA, MAIZ Y CUSHURO
a.- HUMEDAD, %	3.36
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	12.96
c.- GRASA, %	11.46
d.- FIBRA CRUDA, %	1.80
e.- CENIZA, %	3.12
f.- ELN ¹ , %	67.30

ELN¹ = EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

Métodos utilizados:

- a.- Humedad: AOAC (2005), 950.46
- b.- Proteína total: AOAC (2005), 984.13
- c.- Grasa: AOAC (2005), 2003.05
- d.- Fibra cruda: AOAC (2005), 962.09
- e.- Ceniza: AOAC (2005), 942.05

Atentamente,

Ing. Mg. Sc. Alejandrina Sotelo Méndez
Jefe del Laboratorio de Evaluación
Nutricional de Alimentos



Molina, 20 de Setiembre del 2022

10.11 Anexo 11. Procedimiento para evaluar la biodisponibilidad de hierro.

La dieta experimental se reformuló para llegar al balance proteico. La tabla 31 muestra la composición de la dieta experimental por ración para cada roedor.

Tabla 31

Composición de la dieta experimental.

Componentes	Porcentaje (%)
Proteína de la galleta en estudio	77,2
Maicena	4,3
Grasa	4,5
Fibra	5
Vitaminas	5
Minerales	4

Se emplearon 8 ratas recién destetadas las cuales se alimentaron con 10 g. diarios de la dieta experimental, por el periodo de 28 días.

Los animales fueron colocados en jaulas metabólicas para determinar el consumo de la dieta y las excretas diariamente. Las heces y la orina fueron recolectadas en los últimos 7 días del ensayo. Las ratas fueron pesadas al inicio y al término del ensayo para determinar la ganancia de peso.

La biodisponibilidad de hierro se evaluó a través del balance metabólico de hierro (BM), coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y porcentaje de retención del hierro (RI), las cuales se calcularon a partir de la ingestión del hierro y de su excreción por heces y orina, según las siguientes fórmulas:

$$BM = Fe_{ingerido} - (Fe_{fecal} + Fe_{urinario})$$

$$CDA = \left(\frac{Fe_{ingerido} - Fe_{fecal}}{Fe_{ingerido}} \right) * 100$$

$$RI = \left[\frac{Fe_{ingerido} - (Fe_{fecal} + Fe_{urinario})}{Fe_{ingerido}} \right] * 100$$

Donde:

Fe ingerido: Cantidad de hierro (g) proveído por la dieta

Fe fecal: Cantidad de hierro (g) perdido por las heces.

Fe urinario: Cantidad de hierro (g) perdido por la orina

10.12 Anexo 12. Informe de análisis de hierro en tratamiento ganador y dieta experimental.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : KATY BETZABE AEDO ARANGO
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : ALIMENTO
REFERENCIA : H.R. 78797
BOLETA : 5562
FECHA : 18/01/2023

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm
119	T11	102.00
120	DIETA	42.50

Metodología empleada:
Hierro total: Espectrofotometría de absorción atómica.
Es adaptado de Official Methods of Analysis 15th edition (1990).



Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

10.13 Anexo 13. Informe de análisis de hierro en heces de roedores.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : KATY BETZABE AEDO ARANGO
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : HECES DE RATA
REFERENCIA : H.R. 78714
BOLETA : 5562
FECHA : 18/01/2023

N° LAB	CLAVES	Fe ppm
965	R1	850.00
966	R2	619.25
967	R3	681.75
968	R4	629.00
969	R5	718.50
970	R6	763.75
971	R11	561.50
972	R12	703.25

Metodología empleada:
Hierro total: Espectrofotometría de absorción atómica.
Es adaptado de Official Methods of Analysis 15th edition (1990).


Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

10.14 Anexo 14. Informe de análisis de hierro en orina de roedores.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : KATY BETZABE AEDO ARANGO
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : ORINA DE RATA
REFERENCIA : H.R. 78713
BOLETA : 5582
FECHA : 05/01/2023

N° LAB	CLAVES	Fe Total mg/L
957	R1	1.90
958	R2	1.65
959	R3	1.80
960	R4	1.18
961	R5	1.03
962	R6	1.00
963	R11	1.10
964	R12	0.98

Metodología empleada:
Hierro total: Espectrofotometría de absorción atómica.
Es adaptado de Official Methods of Analysis 15th edition (1990).



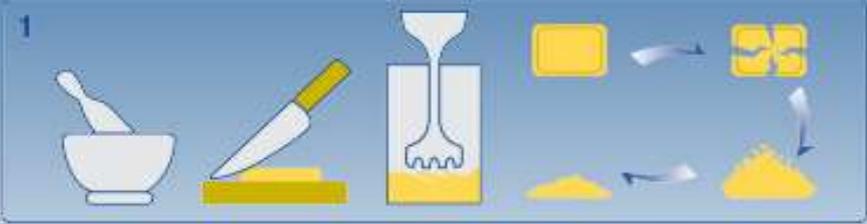
Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

10.15 Anexo 15. Instructivo de prueba de gluten.

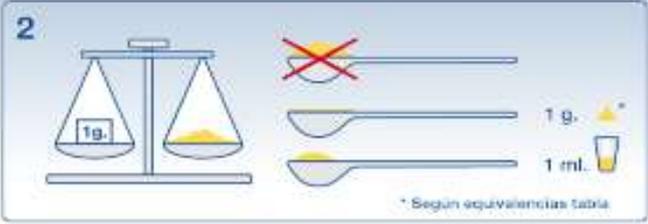
GlutenTox[®] Pro

Preparación y análisis de las muestras

1



2



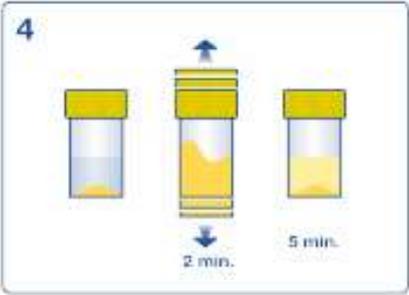
1 g.
1 ml.

* Según equivalencias tabla

3

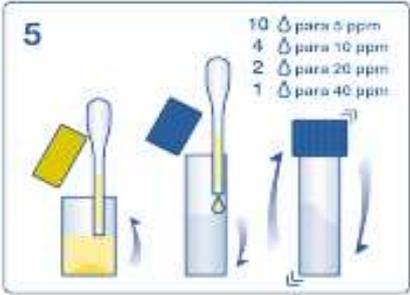


4



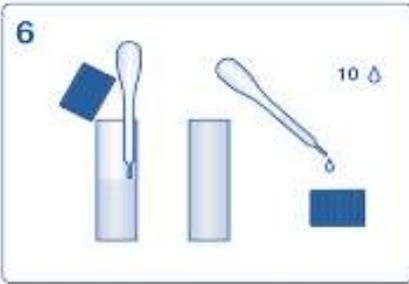
2 min. 5 min.

5



10 Δ para 5 ppm
4 Δ para 10 ppm
2 Δ para 20 ppm
1 Δ para 40 ppm

6



10 Δ

7

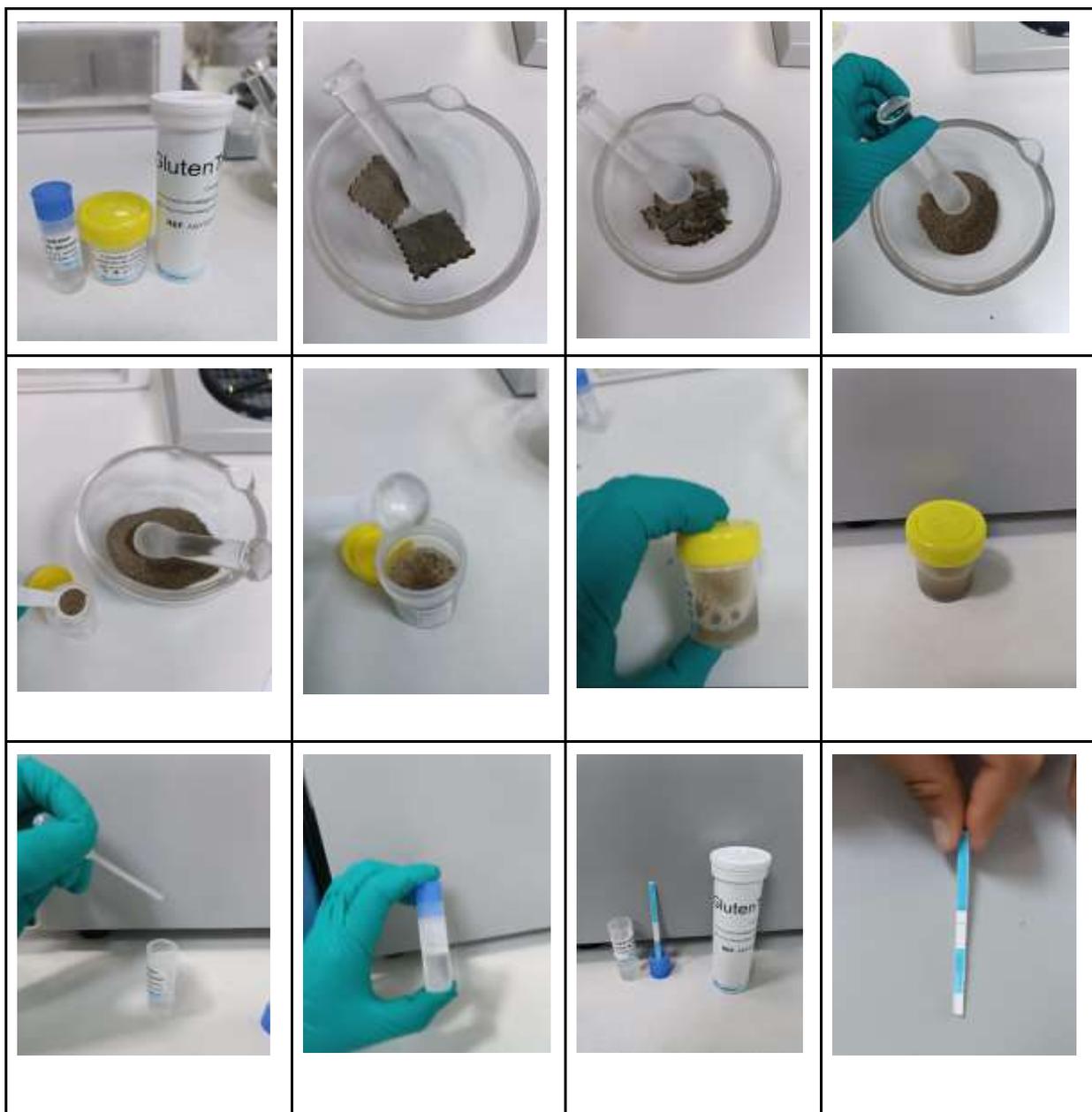


10 minutos

Negativo Positivo Inválido

PRD-MPB-3004ES-REV A

10.16 Anexo 16. Panel fotográfico de la determinación del contenido de gluten.



**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

“EVALUACION DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIERRO EN GALLETAS LIBRES DE GLUTEN SUSTITUIDAS CON HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa), HARINA DE MAIZ (Zea mays L.) Y CUSHURO EN POLVO (Nostoc sphaericum)”**Expositora: Katy Betzabe AEDO ARANGO
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial**

Expediente N° 2341707.

Resolución Decanal N° 095-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 01-08-2023.

- 01 -

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las tres de la tarde con cinco minutos del día jueves tres de agosto del año dos mil veintitrés, se reunieron la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Katy Betzabe AEDO ARANGO**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, Mg. Eusebio DE LA CRUZ FERNANDEZ e Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA, bajo la Presidencia de la Dra. Alcira Irene CORDOVA MIRANDA (Decana(e) de la FIQM), Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. José Alberto CUEVA VARGAS (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, la Presidenta del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **“EVALUACION DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIERRO EN GALLETAS LIBRES DE GLUTEN SUSTITUIDAS CON HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa), HARINA DE MAIZ (Zea mays L.) Y CUSHURO EN POLVO (Nostoc sphaericum)”**, presentado por la Bachiller **Katy Betzabe AEDO ARANGO**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 095-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, la Presidenta del Jurado invitó a la Bachiller **Katy Betzabe AEDO ARANGO**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, la Presidenta invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA, Mg. Eusebio DE LA CRUZ FERNANDEZ y Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA. Luego la Presidenta invitó al Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyo con esta etapa la Dra. Alcira Irene CORDOVA MIRANDA, en su condición de Presidenta.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS:

“EVALUACION DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIERRO EN GALLETAS LIBRES DE GLUTEN SUSTITUIDAS CON HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa), HARINA DE MAIZ (Zea mays L.) Y CUSHURO EN POLVO (Nostoc sphaericum)”

Expositora: Katy Betzabe AEDO ARANGO
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 2341707.

Resolución Decanal N° 095-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 01-08-2023.

- 02-

Culminada la etapa de preguntas, la Presidenta del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16).**

Finalmente la Presidenta del Jurado dispuso que se invite a la Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Katy Betzabe AEDO ARANGO**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las cuatro de la tarde con cincuenta y cinco minutos se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

Dra. Alcira Irene CORDOVA MIRANDA
Presidenta(e)

Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Miembro

Mg. Eusebio DE LA CRUZ FERNANDEZ
Miembro

Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA
Miembro

Mg. José Alberto CUEVA VARGAS
Secretario – Docente

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros del jurado para el acto público de sustentación del trabajo de suficiencia profesional, cuyo título es: "Evaluación de la biodisponibilidad de hierro en galletas libres de gluten sustituidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de maíz (*Zea mayz l.*) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*)". Presentado por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial Katy Betzabe Aedo Arango, el cual fue sustentado el día 03 de agosto del 2023, en merito a la resolución decanal N° 095-2023-UNSCH-FIQM/D, damos la conformidad del trabajo final corregido, aceptamos la publicación final del mencionado trabajo de elaboración, sustentación de una tesis y declaramos el documento apto para que pueda iniciar sus gestiones administrativas que conduzca a la expedición y entrega del título profesional de Ingeniera Agroindustrial.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA	28308932	
Mg. Jack Edson HERNANDEZ MAVILA	41886792	
Mg. Eusebio DE LA CRUZ FERNÁNDEZ	07272511	

Ayacucho, 16 de agosto del 2023.

**UNSCH**FACULTAD DE
**INGENIERIA QUÍMICA
Y METALURGIA**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°006-2023-UNSCH-FIQM/EPIA**

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD** por parte del Asesor de la Tesis Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021UNSCH-CU**; cuyos resultados son:

Tesis “Evaluación de la biodisponibilidad de hierro en galletas libres de gluten sustituidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de maíz (*Zea mayz l.*) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*)”

Nombre y Apellido : Bach. Katy Betzabé Aedo Arango
Identificador de entrega : 2147785912
Fecha : 18-ago-2023 07:27p.m. (UTC-0500)
Archivo : TESIS_final_Katy_Aedo_A._EPIA.pdf (1.18M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 17 % de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 23 de agosto del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
E.F.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Ing. Saúl R. Chuqui Diestra
DIRECTOR

C.c.
Archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Evaluación de la biodisponibilidad de hierro en galletas libres de gluten sustituidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de maíz (*Zea mays* L.) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*)

Fecha de entrega: 18-ago-2023 07:27 p.m. (UTC-0500)
por Katy Betzabé Aedo Arango

Identificador de la entrega: 2147785912

Nombre del archivo: TESIS_final_Katy_Aedo_A._EPIA.pdf (1.18M)

Total de palabras: 20970

Total de caracteres: 110884

Evaluación de la biodisponibilidad de hierro en galletas libres de gluten sustituidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de maíz (*Zea mayz* L.) y cushuro en polvo (*Nostoc sphaericum*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	revista.nutricion.org Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.yumpu.com Fuente de Internet	1%

9	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
12	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
15	apptransparencia.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	dissislovenia.splet.arnes.si Fuente de Internet	<1 %
17	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	"Evaluación de las propiedades ópticas en hojas de plantas de lechuga (Lactuca sativa L.) para el diagnóstico temprano de déficit de	<1 %

nutrientes", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2022

Publicación

20 Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS $<1\%$
Trabajo del estudiante

21 Submitted to Unidad Educativa Atenas $<1\%$
Trabajo del estudiante

22 bdigital.zamorano.edu $<1\%$
Fuente de Internet

23 scielo.sld.cu $<1\%$
Fuente de Internet

24 www.materiniciativa.com $<1\%$
Fuente de Internet

25 Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica $<1\%$
Trabajo del estudiante

26 Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE $<1\%$
Trabajo del estudiante

27 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga $<1\%$
Trabajo del estudiante

28 ebuah.uah.es $<1\%$
Fuente de Internet

www.lamolina.edu.pe

29

Fuente de Internet

<1 %

30

www.mindmeister.com

Fuente de Internet

<1 %

31

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

32

erevistas.uacj.mx

Fuente de Internet

<1 %

33

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

34

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo